

UNIVERSITEIT TWENTE.



HET VERLAGEN VAN DE
VOORRADEN BIJ
AERONAMIC ALMELO

BEGELEIDERS UNIVERSITEIT TWENTE

L.L.M. van der Wegen
J.M.G. Heerkens

BEGELEIDER AERONAMIC ALMELO

R. Groothuis

Naam	S.A. Sieverink
Studentnummer	S1380583
Universiteit	Universiteit Twente
Studie	Technische bedrijfskunde
Datum	Juli 2015

Samenvatting

Binnen Aeronamic heeft de voorraad een waarde van 25% van de omzet. Het management vindt deze waarde te hoog en vraagt zich af hoe het voorraadniveau kan worden verlaagd. De hoofdvraag die in dit onderzoek centraal staat is:

'Welke mogelijkheden zijn er om de voorraden binnen Aeronamic te verlagen zonder dat het serviceniveau wordt aangetast?'

Dit onderzoek richt zich alleen op de inputvoorraden bij Aeronamic.

Om deze vraag te kunnen beantwoorden is in kaart gebracht hoe de huidige voorraadsituatie er bij Aeronamic uit ziet. Naar aanleiding hiervan is in een probleemkluwen in kaart gebracht wat de oorzaken zijn van de te hoge voorraad. Het blijkt dat de bestelstrategie (wanneer en hoeveel koop je in) van de inkopers het grootste probleem is dat kan worden beïnvloed.

Binnen Aeronamic wordt op twee manieren voorraad ingekocht, namelijk volgens een r,Q-model of R,S-model. Bij een r,Q-model wordt op een variabel bestelmoment een vaste bestelgrootte besteld. Bij een R,S-model wordt op een vast bestelmoment, in dit geval één keer per kwartaal, een variabele bestelgrootte besteld. Om de optimale bestelstrategie te berekenen is met een r,Q-model gewerkt, omdat dit model het meest geschikt is om het gemiddelde voorraadniveau te minimaliseren.

Door het uitvoeren van een ABC voorraad classificatie is in kaart gebracht welke artikelen een groot deel van de totale waarde van het verbruik representeren. Voor de top 20 artikelen uit deze lijst, samen met enkele artikelen met een hoge gemiddelde voorraadwaarde is de optimale bestelstrategie berekend.

Met de optimale bestelstrategie wordt bedoeld dat er zo laat mogelijk, zo min mogelijk wordt besteld, zodat de gemiddelde voorraad minimaal is. Dit moet zodanig gebeuren dat er wordt voldaan aan een bepaald service level en de totale jaarlijkse kosten, bestaande uit bestelkosten, voorraadkosten en tekortkosten, zo laag mogelijk zijn.

Er is voor 27 artikelen de optimale bestelstrategie bepaald. Deze delen worden in de huidige situatie volgens het R,S-model aangestuurd. Voor de huidige en optimale situatie zijn de totale jaarlijkse kosten berekend. Wanneer de inkopers deze strategie gaan volgen, dalen de totale jaarlijkse kosten voor deze artikelen met ruim €26.000. Bovendien daalt de gemiddelde voorraadwaarde van deze artikelen met 28% en liggen er gemiddeld 27.000 minder onderdelen op voorraad. Het service level (SLM3, percentage bestelcycli zonder stockout) stijgt van 91,1% naar 93,3%.

Daarnaast is de optimale bestelstrategie berekend voor vijf artikelen die in de huidige situatie al volgens het r,Q-model worden besteld. De totale kosten per jaar kunnen voor deze artikelen met ruim €110.000 dalen. Deze besparing komt vooral door één artikel met zeer hoge tekortkosten in de huidige situatie. De gemiddelde voorraadwaarde daalt voor deze artikelen met 14%. Gemiddeld stijgt het service level van 93,3% naar 99,4%.

Naast het toepassen van de optimale bestelstrategie zijn er nog enkele aanbevelingen:

- De push-pull boundary verplaatsen door consignment stock aan te houden.
- Overtollige voorraden verwijderen uit de paternosters.
- Afhandeling van voorraden van aflopende projecten.
- Duidelijke regels opstellen en naleven en hierover communiceren.
- Vier voorraadtellings per jaar voor type A artikelen.
- Variabiliteit van de klantvraag verminderen door een patroon af te leiden uit de voorspellingen.
- Efficiëntere verdeling van de artikelen over de inkopers.
- Beter itembeheer door niet iedereen edit-rechten te geven.

Voorwoord

In het kader van mijn studie Technische Bedrijfskunde, die ik aan de Universiteit Twente volg, heb ik een bachelor opdracht uitgevoerd binnen de hoofdvestiging van het bedrijf Aeronamic B.V. in Almelo. Het uitvoeren van de opdracht was voor mij een leerzaam proces. Daarom wil ik alle medewerkers van Aeronamic bedanken die mij hebben geholpen, met in het bijzonder Rolf Groothuis. Graag wil ik hem bedanken voor de tijd en moeite die hij heeft genomen om mij te begeleiden tijdens de opdracht. Daarnaast wil ik ook graag mijn begeleiders van de Universiteit Twente bedanken, Leo van der Wegen en Hans Heerkens. Dankzij hun feedback en begeleiding heb ik dit verslag kunnen maken, ter afsluiting van mijn bachelor Technische Bedrijfskunde.

Sophie Sieverink
Juli, 2015

Inhoudsopgave

SAMENVATTING.....	3
VOORWOORD.....	5
LIJST MET AFKORTINGEN	8
HOOFDSTUK 1 – INLEIDING	9
1.1 Aanleiding van dit onderzoek.....	9
1.2 Probleemidentificatie	9
1.3 Probleemaanpak.....	10
HOOFDSTUK 2 – THEORETISCH KADER	13
2.1 Soorten voorraad	13
2.2 Nadelen van het houden van voorraad	14
2.3 Ordergrootte en bestelmoment	14
2.4 Voorraadbeheer en analyse	18
2.5 Conclusie	19
HOOFDSTUK 3 – DE VOORRAADSITUATIE BIJ AERONAMIC	21
3.1 Soorten voorraad bij Aeronamic.....	21
3.2 Voorraad verbruik en verantwoordelijkheid	21
3.3 Bestelgrootte en bestelmoment bij Aeronamic	22
3.4 Voorraad van Aeronamic	25
3.5 Conclusie	27
HOOFDSTUK 4 – OORZAKEN VAN DE HOGE VOORRAAD.....	29
4.1 Probleemkluwen	29
4.2 Conclusie	32
HOOFDSTUK 5 – HET VERLAGEN VAN DE VOORRAAD.....	33
5.1 Problemen.....	33

5.2 Oplossing van het grootste probleem	35
5.3 Conclusie.....	44
HOOFDSTUK 6 - CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN	47
6.1 Conclusie.....	47
6.2 Aanbevelingen.....	49
BIBLIOGRAFIE	52
BIJLAGE 1 - VARIABELEN BESTELGROOTTE.....	53
BIJLAGE 2 – KANBANKAARTJE.....	54
BIJLAGE 3 – OMLOOPSNELHEDEN	55
BIJLAGE 4 – EXTRA VOORRAADGEGEVENS (VERTROUWELIJK*)	56
BIJLAGE 5 - FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS (FMEA) (VERTROUWELIJK*)	57
BIJLAGE 6 – SCHAAL VOOR 'SEVERITY' EN 'DETECTION' BIJ FMEA	58
BIJLAGE 7 – OTD SCORES (*VERTROUWELIJK)	59
BIJLAGE 8 – TABEL VAN DE STANDAARD NORMALE VERDELING VOOR POSITIEVE Z-SCORES.....	60
BIJLAGE 9 – OMLOOPSNELHEDEN HUIDIGE EN NIEUWE SITUATIE	61

*Enkele bijlagen zijn verwijderd uit de openbare versie van dit verslag, omdat deze vertrouwelijke informatie bevatten.

Lijst met afkortingen

Afkorting	Uitleg
CONWIP	Constant Work in Progress
COPQ	Cost of Poor Quality
EH&S	Environment, Health & Safety
EOQ	Economic Order Quantity
ERP	Enterprise Resource Planning
ETNL	Enrichment Technology Nederland
FIFO	First In First Out
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
KPI	Key Performance Indicator
LE	Lead Engineer
LSM	Large Series Manufacturing
MRP	Material Requirements Planning
OEM	Original Equipment Manufacturing
OTD	On Time Delivery
QDE	Quality Development Engineer
R&O	Repair & Overhaul
RFQ	Request for Quotation
RPN	Risk Priority Number
SKU	Stock Keeping Unit
SSC	Supplier Score Card
SSM	Small Series Manufacturing
UAe	Urenco Aerospace
VMI	Vendor Managed Inventory
VV	Veiligheidsvoorraad
VVP	Vaste Verreken Prijs

Hoofdstuk 1 – Inleiding

Aeronamic is een Nederlands bedrijf dat subsystemen voor de luchtvaartindustrie ontwikkelt, produceert, test en onderhoudt. Hierbij valt te denken aan load compressoren, koeling turbines en starters. In 2005 is Aeronamic onafhankelijk geworden van de Urenco Group. Het bedrijf groeide en in 2008 is de bedrijfshal dan ook uitgebreid. In 2010 is een nieuwe productievestiging opgezet in Sibiu, Roemenië. Hier worden onder andere oppervlaktebehandelingen uitgevoerd. In totaal heeft Aeronamic 150 medewerkers binnen deze twee vestigingen (Aeronamic, 2015).

Dit onderzoek heeft betrekking op de inputvoorraden binnen de productieafdelingen in de vestiging Almelo. Er zijn drie productieafdelingen te onderscheiden:

- Large Series Manufacturing (LSM).
Hier worden nieuwe producten geproduceerd voor twee klanten, Enrichment Technology Nederland (ETNL) en Parker. Het productieproces van deze afdeling vindt plaats in een hal van het gebouw dat niet door alle medewerkers mag worden betreden. Hoewel alle medewerkers een geheimhoudingsverklaring hebben getekend, wordt deze hal als extra veiligheidsmaatregel afgeschermd.
- Assembly.
Deze afdeling is te verdelen in Repair & Overhaul (R&O) en Original Equipment Manufacturing (OEM). Op de afdeling R&O voert men reparaties en onderhoud uit aan geretourneerde subsystemen. Na een bepaald aantal vliegreizen dienen de subsystemen onderhouden en eventueel gerepareerd te worden. Op de afdeling OEM vindt de assemblage van nieuwe subsystemen plaats.
- Small Series Manufacturing (SSM).
Hier wordt ruw materiaal bewerkt tot onderdelen die worden gebruikt op de assemblage afdelingen. Bij ruw materiaal valt te denken aan plaatwerk, gietdelen (castings) en smeedstukken (forgings).

1.1 Aanleiding van dit onderzoek

In het kader van deze bachelor opdracht kijken we naar het voorraadbeheer binnen Aeronamic Almelo. Dit onderzoek betreft alleen de inkoopdelen. Dit zijn de onderdelen die gebruikt worden bij de productie, of verkocht worden als reserveonderdeel.

De voorraad heeft een waarde van 25% van de omzet. Het management vindt dit te hoog en vraagt zich af hoe het voorraadniveau kan worden verlaagd. Aeronamic moet in de toekomst geld investeren in nieuwe projecten, zoals de aanschaf van nieuwe machines. Wanneer het voorraadniveau naar beneden wordt gebracht, kan het geld dat op dit moment zit 'opgesloten' in de voorraad worden gebruikt voor nieuwe projecten.

1.2 Probleemidentificatie

Met dit onderzoek hopen we een bijdrage te leveren aan het bieden van inzicht in de voorraadstrategie van de vestiging in Almelo. Daarnaast willen we mogelijkheden in kaart brengen om de voorraad te beheren en te verlagen. De hoofdvraag voor dit onderzoek luidt als volgt:

'Welke mogelijkheden zijn er om de voorraden binnen Aeronamic te verlagen zonder dat het serviceniveau wordt aangetast?'

Onder serviceniveau verstaan we dat de maximale kans dat er een tekort optreedt tijdens een bestelcyclus kleiner is dan een door Aeronamic vast te leggen kans. Als Aeronamic deze kans vastlegt op 5%, dan betekent dit dat er in maximaal 1 op de 20 bestelcycli een tekort optreedt. Dit is de enige randvoorwaarde waaraan moet worden voldaan.

1.3 Probleemaanpak

Om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden dient in kaart te worden gebracht hoe het huidige voorraadbeheersingsproces eruit ziet, zodat dit kan worden vergeleken met de literatuur. Daarnaast zijn er aan de hand van het boek van Slack (2010) enkele deelvragen opgesteld. Dit is een boek, bekend van mijn studie, dat op een systematische wijze het voorraadbeheer analyseert. De volgende deelvragen dienen te worden onderzocht:

1. Wat zegt de theorie over voorraadbeheer?
 - 1.1 Welke soorten voorraden zijn er volgens de theorie en waar dienen zij voor?
 - 1.2 Wat zijn de nadelen van het houden van voorraad?
 - 1.3 Hoe kunnen de optimale bestelgrootte en het bestelmoment worden bepaald?
 - 1.4 Hoe kunnen voorraden worden beheerd en geanalyseerd?
2. Hoe ziet de huidige situatie bij Aeronamic eruit met betrekking tot voorraadbeheer?
 - 2.1 Welke soorten voorraden beheert Aeronamic?
 - 2.2 Hoe ziet het verbruik van, en de verantwoordelijkheid voor de voorraad eruit?
 - 2.3 Hoe worden de bestelgrootte en het bestelmoment bij Aeronamic bepaald?
 - 2.4 Wat blijkt uit de voorraadanalyses over de voorraad van Aeronamic?
3. Wat zijn oorzaken van de te hoge voorraad bij Aeronamic?

Deelvraag 1 met bijbehorende sub-vragen zal beantwoord worden aan de hand van literatuur. Deelvraag 2.1 zal worden beantwoord door de literatuur te vergelijken met de soorten voorraden van Aeronamic. Het verbruik van de voorraden op de verschillende afdelingen, deelvraag 2.2, wordt in kaart gebracht door (productie)medewerkers te interviewen en informatie uit het Enterprise Resource Planning (ERP) systeem te verkrijgen. Deelvraag 2.3 wordt beantwoord door gesprekken te houden met inkoopmedewerkers en door te kijken hoe zij inkooporders aanmaken in het ERP systeem. De gevonden analyses van deelvraag 1.4 zullen bij de beantwoording van deelvraag 2.4 worden toegepast op de situatie van Aeronamic. Hiervoor is informatie nodig uit het ERP systeem. Voor deelvraag 3 worden medewerkers van verschillende afdelingen gevraagd naar hun vermoedens over de oorzaken van de te hoge voorraad. De hoofdvraag wordt beantwoord door literatuur toe te passen op de situatie bij Aeronamic, in combinatie met gegevens uit het ERP systeem en informatie van medewerkers. De manier waarop informatie wordt verzameld, is overzichtelijk weergegeven in Tabel 1. Ten slotte worden mogelijke oplossingen uitgewerkt om de voorraden bij Aeronamic te verlagen. In Tabel 2 is een leeswijzer te vinden, met een overzicht van welke deelvragen in welk hoofdstuk worden beantwoord.

Tabel 1. Informatieverzameling.

Deelvraag	Omschrijving	Literatuur	Medewerkers	ERP
1	1.1 Theorie	X		
	1.2	X		
	1.3	X		
	1.4	X		
2	2.1 Huidige situatie voorraadbeheer	X	X	
	2.2	X	X	X
	2.3		X	X
	2.4	X		X
3	Oorzaken te hoge voorraad		X	X
Hoofdvraag	Voorraad verlagen	X	X	X

Tabel 2. Leeswijzer.

Hoofdstuk	Inhoud	Beantwoorde deelvragen
1	Inleiding. Aanleiding onderzoek, probleemidentificatie en probleemaanpak.	
2	Theoretisch kader.	Deelvraag 1 (1.1 t/m 1.4).
3	Vorraadsituatie Aeronamic.	Deelvraag 2 (2.1 t/m 2.4).
4	Oorzaken hoge voorraad.	Deelvraag 3.
5	Het verlagen van de voorraad.	
6	Conclusies en aanbevelingen.	

Hoofdstuk 2 – Theoretisch kader

In dit hoofdstuk zullen de deelvragen 1.1 tot en met 1.4 worden beantwoord, om uiteindelijk antwoord te geven op deelvraag 1: 'Wat zegt de theorie over voorraadbeheer?'

2.1 Soorten voorraad

In deze paragraaf wordt deelvraag 1.1 beantwoord: 'Welke soorten voorraden zijn er volgens de theorie en waar dienen zij voor?'

Voorraden kunnen zich op verschillende plaatsen in een productieproces bevinden. De ruwe materialen en componenten worden ook wel 'inputvoorraad' genoemd. Deze materialen gaan door verschillende stappen van het productieproces en worden dan gezien als 'onderhandenwerk'. Vervolgens zijn de producten bewerkt en worden deze opgeslagen als 'gereed product' (Slack, Chambers, & Johnston, 2010) (Durlinger, 2013).

Voorraad is het opslaan van transformerende resources. Het houden van voorraad kan flexibiliteit geven, want er is keuze uit verschillende producten. Daarnaast kan men voorraad houden wanneer artikelen een bepaalde gunstige kwaliteit en/of prijs hebben. Voorraden worden gehouden om het verschil in de timing van vraag en aanbod te overbruggen. Op die manier kan aan een bepaalde betrouwbaarheid van leveringen worden voldaan. Dit is de meest voorkomende reden voor het houden van voorraad (Slack, Chambers, & Johnston, 2010).

Er zijn verschillende oorzaken voor het verschil in timing van vraag en aanbod, daarom worden ook verschillende soorten voorraden onderscheiden: buffervoorraad, cyclusvoorraad, ontkoppelingsvoorraad, anticipatievoorraad en pijplijnvoorraad (Slack, Chambers, & Johnston, 2010).

Buffervoorraad wordt ook wel veiligheidsvoorraad genoemd. Deze voorraad wordt gehouden om onverwachte vraag- en leverfluctuaties op te vangen. Voorspellingen van de vraag zullen nooit de werkelijke vraag perfect weergeven. Er wordt een bepaald voorraadniveau als buffer- of veiligheidsvoorraad gesteld om te kunnen blijven leveren wanneer de vraag naar een product groter is dan verwacht tijdens de levertijd. Deze voorraad wordt ook aangehouden om onzekerheden in het leverproces op te vangen, zoals onbetrouwbare leveranciers of onzekere levertijden.

Cyclusvoorraad wordt gehouden wanneer een bedrijf verschillende producten in batches produceert. Wanneer product A wordt gemaakt, kunnen producten B en C niet worden geproduceerd. Wanneer product B of C wordt gemaakt, moet er voldoende van product A zijn geproduceerd om er voor te zorgen dat het product niet op raakt. Er wordt dus een batch geproduceerd die voldoende producten moet opleveren om aan de vraag te voldoen tot de volgende productiebatch is gemaakt.

Ontkoppelingsvoorraad wordt gehouden tussen twee processtappen. Het houden van deze voorraad maakt het mogelijk om onafhankelijke planningen te maken tussen processtappen (Slack, Chambers, & Johnston, 2010).

Wanneer een bedrijf te maken heeft met grote, voorspelbare vraagfluctuaties wordt anticipatievoorraad aangehouden. Hiervan is vaak sprake bij seizoensgebonden vraag. Er wordt niet geproduceerd wanneer er vraag is, maar gedurende het hele jaar. De producten worden op voorraad gehouden totdat er vraag naar is.

Materiaal kan nooit direct van de leverancier naar de klant worden gebracht. Hier ontstaat pijplijnvoorraad. Vanaf het moment dat een leverancier producten heeft toegewezen aan een klant, totdat de klant daadwerkelijk de voorraad in het magazijn heeft liggen, zijn de producten pijplijnvoorraad. Een andere reden waardoor deze voorraad ontstaat, is wanneer de layout van een bedrijf geografisch gezien ver uit elkaar ligt. De materialen die onderweg zijn van de ene naar de andere vestiging vallen ook onder pijplijnvoorraad (Slack, Chambers, & Johnston, 2010) (Durlinger, 2013).

2.2 Nadelen van het houden van voorraad

In deze paragraaf wordt deelvraag 1.2 beantwoord: 'Wat zijn de nadelen van het houden van voorraad?'

Volgens Slack et al. (2010) zitten er een aantal negatieve aspecten aan het houden van voorraad. Het inkopen van de voorraden kost geld. Dit geld kan op dat moment niet worden gebruikt voor andere doeleinden. Daarnaast is er sprake van opslagkosten, administratiekosten en verzekeringskosten, maar het houden van voorraad kost niet alleen geld. De voorraden nemen ook ruimte in binnen het bedrijf die op dat moment niet kan worden gebruikt voor andere doeleinden.

Daarnaast kan de voorraad beschadigd, kwijt of verouderd raken, wat een verlies oplevert. Bovendien kunnen voorraden schade aanrichten aan het bedrijf. Wanneer er bij een bedrijf bijvoorbeeld chemicaliën worden opgeslagen, dienen er extra veiligheidsmaatregelen te worden getroffen om schade voorkomen, ook dit kost geld.

Wanneer we de voorraden bij Aeronamic willen minimaliseren dienen we dus niet alleen te kijken naar de hoeveelheid voorraad, maar ook naar de overige kosten die hierbij komen kijken. Bovendien kost het geld wanneer er te weinig voorraad aanwezig is. We willen dus de voorraad minimaliseren, maar vooral een goede balans vinden tussen de bestelkosten, opslagkosten en tekortkosten.

2.3 Ordergrootte en bestelmoment

In deze paragraaf wordt deelvraag 1.3 beantwoord: 'Hoe kan volgens de theorie de optimale bestelgrootte en het bestelmoment worden bepaald?'

Medewerkers van de afdeling Inkoop plaatsen orders bij leveranciers om onderdelen te bestellen. Twee belangrijke vragen die hierbij moeten worden gesteld zijn: Hoeveel moet er per product worden besteld? En wanneer moeten bestellingen worden geplaatst? De vraag naar producten kan op voorhand bekend (deterministisch) of onbekend (stochastisch) zijn.

De bestelgrootte is afhankelijk van enkele variabelen die de ordergrootte zowel positief als negatief kunnen beïnvloeden. Dit zijn bijvoorbeeld de kosten voor het plaatsen van een order, eventuele kortingen of extra kosten bij een grote of kleine order, opslagkosten en verouderingskosten van de voorraad. Daarnaast kost het ook geld als er te weinig voorraad aanwezig is. Wanneer een klant niet (op tijd) kan worden beleverd is er sprake van tekortkosten. Zie Bijlage 1 voor een uitgebreide toelichting.

Door gebruik te maken van 'consignment stock' is het mogelijk dat de organisatie niet zelf alle bovengenoemde kosten hoeft te betalen. De leverancier levert voorraad aan de klant, maar deze betaalt er pas voor wanneer ze de voorraad daadwerkelijk verbruiken (Slack, Chambers, & Johnston, 2010).

2.3.1 Deterministische vraag

Wanneer de vraag naar producten deterministisch is, wordt de Economic Order Quantity (EOQ) formule gebruikt voor het bepalen van de optimale bestelgrootte (Winston, 2003). Deterministische vraag wil zeggen dat de vraag op voorhand bekend is. Met de EOQ formule wordt evenwicht gevonden tussen bestelkosten en voorraadkosten voor de cyclusvoorraad.

Om de optimale bestelgrootte te bepalen moet berekend worden hoeveel het kost één artikel één jaar op voorraad te houden (h). Daarnaast dienen de bestelkosten voor het plaatsen van één order (K) in kaart te worden gebracht. Als de vraag per jaar D is, kan de optimale bestelgrootte (q) als volgt worden bepaald (Slack, Chambers, & Johnston, 2010) (Winston, 2003):

$$q = EOQ = \sqrt{\frac{2KD}{h}}$$

Hierin is
 q: optimale bestelgrootte.
 K: bestelkosten.
 D: vraag per jaar.
 h: de kosten om een product één jaar op voorraad te houden.

Als de optimale bestelgrootte bekend is kan de tijd tussen twee orders worden berekend door de EOQ te delen door de jaarvraag:

$$Tijd\ tussen\ twee\ orders = \frac{EOQ}{D}$$

In één jaar dienen er dan $\frac{D}{EOQ}$ orders te worden geplaatst.

De EOQ formule blijkt zeer ongevoelig te zijn voor eventuele afwijkingen in bestelgrootte. Wanneer er 30% wordt afgeweken van de optimale bestelgrootte, heeft dit nauwelijks gevolgen voor de totale kosten (maximaal 10%). De EOQ formule is daarom zeer geschikt als eerste indicator voor het bepalen van de bestelgrootte. Daarnaast zal een kleine afwijking in de voorraadkosten (h) of bestelkosten (K) niet resulteren in een significante verandering van de optimale bestelgrootte (Slack, Chambers, & Johnston, 2010) (Durlinger, 2013).

2.3.2 Stochastische vraag

Wanneer de vraag op voorhand niet bekend is, wordt dit stochastische vraag genoemd. Hierbij moet niet alleen rekening worden gehouden met de bestelkosten en voorraadkosten, maar ook met de mogelijke tekortkosten. Aangezien de vraag niet bekend is, kan het voorkomen dat de vraag groter is dan verwacht en de voorraad op raakt.

Het bestellen van nieuwe voorraad kan in het geval van stochastische vraag op verschillende manieren plaatsvinden. Zo kan een bedrijf er voor kiezen om een variabel of vast bestelmoment te nemen en daarbij een vaste of variabele bestelgrootte te bestellen. Volgens Winston (2003) zijn er de volgende modellen te onderscheiden:

- (s,S)-model. Wanneer het minimale niveau s wordt bereikt, wordt er een aantal besteld zodanig dat de hoeveelheid tot niveau S wordt aangevuld.
- (r,Q)-model. Wanneer het minimale voorraadmiveau r wordt bereikt wordt er de vaste hoeveelheid Q van dat product besteld.
- (R,S)-model. Elke periode R wordt de voorraadstand bekeken en bijbesteld tot het niveau S.
- (R,Q)-model. Elke periode R wordt ordergrootte Q besteld. Zie Tabel 3.

Tabel 3. Bestelstrategieën.

Bestelgrootte	Bestelmoment	
	Variabel	Vast
	Variabel	Vast
Variabel	s,S-model	R,S-model
Vast	r,Q-model	R,Q-model

In paragraaf 3.3 zal blijken dat er bij Aeronamic wordt besteld volgens het R,S-model of het r,Q-model. Daarnaast kan een r,Q-model het best worden gebruikt om voorraad te minimaliseren (Winston, 2003). Hieronder wordt voor beide modellen uitgelegd hoe de voorraadmiveaus en bestelhoeveelheden worden bepaald, de overige modellen worden buiten beschouwing gelaten.

2.3.3 r,Q-model

We berekenen een bestelmoment r , zodanig dat de totale kosten worden geminimaliseerd. De totale kosten bestaan uit de bestelkosten, voorraadkosten en tekortkosten. Op het moment dat de voorraad is gedaald tot niveau r , wordt er een vaste hoeveelheid Q van het product besteld. De vaste bestelgrootte Q wordt benaderd met de EOQ formule, besproken in paragraaf 2.3.1. Daarmee is een balans gevonden tussen de bestelkosten en voorraadkosten. Daarnaast moeten we bepalen hoe groot de kans is, dat de vraag tijdens de levertijd groter is dan de voorraad op het bestelmoment r en er dus een voorraadtekort optreedt tijdens een bestelcyclus.

De kans dat de voorraad op raakt (vraag tijdens levertijd is groter dan de voorraad op bestelmoment):

$$P(X \geq r) = \frac{h * q}{c_B * E(D)}$$

Hierin is q : de optimale bestelgrootte berekend met de EOQ formule.
 c_B : de kosten per unit die worden gemaakt als gevolg van een stockout (voorraad is op).
 $E(D)$: verwachte vraag per jaar.

Om fluctuaties in de stochastische vraag op te vangen moet een veiligheidsvoorraad worden aangehouden. Dit is afhankelijk van de vraag tijdens de levertijd, met standaarddeviatie en de kans dat er geen stockout plaats vindt tijdens een bestelcyclus:

$$\text{Verwachte vraag tijdens levertijd: } E(X) = E(D) * L$$

Hierin is L : levertijd in fractie van een jaar.

$$\text{Standaarddeviatie van de vraag tijdens de levertijd: } \sigma_X = \sqrt{L} * \sigma_D$$

Hierin is σ_D : standaarddeviatie van de vraag per jaar.

Als de vraag normaal verdeeld is kan de veiligheidsvoorraad als volgt berekend worden:

$$VV = \text{NORMINV}(SL, E(X), \sigma_X) - E(X)$$

Hierin is SL : $SLM3 = (1 - P(x \geq r))$

$SLM3$ (Service Level Measure) is de kans dat de vraag tijdens de levertijd niet groter is dan de voorraad op het bestelmoment, oftewel de kans dat er geen stockout plaats vindt tijdens een bestelcyclus.

Het voorraadniveau op bestelmoment r :

$$r = \text{NORMINV}(SL, E(X), \sigma_X)$$

Aan de hand hiervan kan worden bepaald wat het verwachte tekort zal zijn:

$$E(B_r) = \sigma_X \text{NL}\left(\frac{r - E(X)}{\sigma_X}\right)$$

Hierin is NL : normal loss function.

$\frac{r - E(X)}{\sigma_X}$ wordt ook wel de z-score genoemd. Dit is het maximale aantal standaarddeviaties dat de vraag van het gemiddelde af mag liggen.

Daarnaast kan er ook nog een ander service level worden uitgerekend, $SLM1$. Dit is de fill rate, het verwachte percentage van het verbruik dat uit voorraad kan worden geleverd.

$$SLM1 = \left(1 - \frac{E(B_r)}{q}\right)$$

De minimale voorraad is de veiligheidsvoorraad, deze wordt in principe niet gebruikt. De maximale voorraad is de veiligheidsvoorraad plus de bestelde hoeveelheid q . De gemiddelde voorraad is dan de veiligheidsvoorraad plus de helft van de optimale

bestelgrootte. Vervolgens wordt de gemiddelde voorraad (in aantallen) vermenigvuldigd met de prijs van het artikel om de waarde van de gemiddelde voorraad te berekenen.

Nu kan worden berekend wat de totale kosten per jaar zijn voor een artikel. De totale kosten per jaar bestaan uit de jaarlijkse bestelkosten, voorraadkosten en tekortkosten.

$$\begin{aligned}\text{Bestelkosten per jaar} &= K * \frac{E(D)}{q} \\ \text{Voorraadkosten per jaar} &= h * \left(\frac{q}{2} + VV\right) \\ \text{Tekortkosten per jaar} &= c_B * E(B_r) * \frac{E(D)}{q}\end{aligned}$$

$$\text{Totale kosten per jaar} = \text{Bestelkosten per jaar} + \text{Voorraadkosten per jaar} + \text{Tekortkosten per jaar}$$

2.3.4 r,Q model met een bepaald servicelevel

Naast de methode die in de vorige paragraaf is behandeld, is het ook mogelijk het bestelmoment r en de veiligheidsvoorraad uit te rekenen aan de hand van een bepaald servicelevel. Dit wil zeggen dat de inkoper bepaalt wat het servicelevel SLM3 mag zijn.

Hierbij wordt de ordergrootte wederom bepaald met de EOQ formule.

In de vorige paragraaf werd z berekend met $\frac{r-E(X)}{\sigma_X}$. Echter, z wordt nu niet berekend, maar bepaald aan de hand van het gekozen servicelevel door de inkoper. Daarmee kan het bestelmoment r worden berekend met:

$$r = z * \sigma_X + E(X)$$

Hierin is z afhankelijk van het gekozen servicelevel (SLM3). Wanneer de inkoper kiest voor een SLM3 van 96%, mag maximaal in 4% van de ordercycli een tekort optreden. In Bijlage 8 is te zien dat een servicelevel van 0,96 een z -score oplevert van 1,75.

De veiligheidsvoorraad kan wederom worden berekend met:

$$VV = r - E(X)$$

Het voordeel van een r,Q -model is dat deze de totale kosten minimaliseert, een nadeel is dat het lastig te implementeren is. De inkopers moeten constant in de gaten houden of het voorraadvolume is gedaald tot het bestelmoment r .

2.3.5 R,S-model

Voor dit model bepaalt de inkoper hoe vaak hij wil bestellen per jaar. Wanneer men er voor kiest om vier keer per jaar te bestellen, is de tijd tussen het plaatsen van 2 orders ($R=1/4=$) 0,25 jaar. Wederom wordt de gemiddelde vraag per jaar bepaald $E(D)$, met bijbehorende standaarddeviatie (σ_D). Bij dit model moet niet alleen de vraag tijdens de levertijd bepaald worden, maar de vraag tijdens de levertijd plus de reviewperiode, omdat er pas bij de volgende reviewperiode weer een nieuwe order kan worden geplaatst. Met de verwachte jaarvraag $E(D)$, de levertijd (L) en de reviewperiode (R) kan dan de vraag tijdens de levertijd plus reviewperiode ($E(D_{L+R})$) worden bepaald met de bijbehorende standaarddeviatie ($\sigma_{D(L+R)}$). Daarnaast dienen de volgende variabelen te worden bepaald of berekend: bestelkosten (K), kosten voor het op voorraad houden van één product per jaar (h), het verwachte tekort ($E(B_S)$) en de kosten per unit die worden gemaakt als gevolg van een stockout (voorraad is op) (c_B). Deze worden op gelijke wijze bepaald als bij het r,Q -model. De EOQ formule is in dit geval $R * E(D)$, want als er vier keer per jaar een order wordt geplaatst, moet er in elke order $1/4$ van de totale jaarvraag worden besteld.

Met deze gegevens kan de kans dat de vraag tijdens de levertijd plus reviewperiode groter is dan S (voorraad op moment van bestellen) als volgt bepaald worden:

$$P(D_{L+R} \geq S) = \frac{R * h}{c_B}$$

Het verwachte tekort is dan:

$$E(B_S) = \sigma_{D(L+R)} * NL(z)$$

Hierin is z: maximale aantal standaarddeviaties dat de vraag van het gemiddelde af mag liggen.

NL: normal loss function.

Wederom kunnen de totale kosten worden bepaald:

$$\text{Bestelkosten per jaar} = K * R$$

$$\text{Voorraadkosten per jaar} = h(S - E(D_{L+R})) + \frac{E(D) * R}{2}$$

$$\text{Tekortkosten per jaar} = c_B * \frac{E(B_S)}{R}$$

$$\text{Totale kosten per jaar} = \text{Bestelkosten per jaar} + \text{Voorraadkosten per jaar} + \text{Tekortkosten per jaar}$$

Het voordeel van een R,S-model is dat dit model eenvoudiger is te implementeren dan een r,Q-model. De inkopers bekijken op een vast moment het voorraadniveau en hoeven niet de voorraad continu in de gaten te houden. Een nadeel is dat het gemiddelde voorraadniveau hoger ligt dan bij een r,Q-model. Er worden grotere aantallen besteld, omdat er genoeg voorraad moet zijn totdat de volgende reviewperiode aanbreekt.

De inkopers kunnen er dus voor kiezen om op een vast of variabel moment een bestelling te plaatsen. Daarnaast kan er voor worden gekozen om een vaste of variabele bestelgrootte te bestellen. Bij een R,S-model ligt het gemiddelde voorraadniveau hoger, omdat er bij deze methode niet zo min mogelijk wordt besteld. Er dient genoeg besteld te worden tot de volgende bestelling plaats vindt.

In Tabel 4 is een overzicht te vinden met de variabelen die verschillen per model.

Tabel 4. Verschillende variabelen per model.

r,Q-model		R,S-model	
Variabele	Omschrijving	Variabele	Omschrijving
r	Voorraadhoogte op bestelmoment r.	R	Aantal tijdseenheden tussen reviewmomenten.
Q	Bestelgrootte.	S	Order-up level.
L	Levertijd	L+R	Levertijd plus reviewperiode
E(D)	Jaarvraag	E(D _{L+R})	Vraag tijdens de levertijd plus reviewperiode

2.4 Voorraadbeheer en analyse

Met voorgaande informatie weten we hoe de voorraden kunnen worden ingekocht. Nu gaan we bekijken hoe we de voorraad kunnen beheren als ze eenmaal in het magazijn liggen. In deze paragraaf wordt deelvraag 1.4 beantwoord: 'Hoe kunnen voorraden worden beheerd en geanalyseerd?' Er worden analysemethoden beschreven die veel worden gebruikt bij bedrijven die hun voorraadbeheer analyseren.

De ABC voorraad classificatie is een veel gebruikte methode. Bedrijven moeten meestal voor duizenden artikelen hun voorraad beheren. Het is niet mogelijk aan elk artikel individueel aandacht te besteden om een optimaal voorraadbeleid op te stellen. Slack (2010) raadt aan om de ABC voorraad classificatie toe te passen. Hiermee kan een klein percentage artikelen onderscheiden worden dat een groot aandeel in het verbruik heeft. De artikelen worden in drie klassen verdeeld: type A, type B en type C. De type A artikelen representeren 20% van het aantal die doorgaans 60% tot 80% van de totale waarde van het verbruik vertegenwoordigen. De volgende 20% of 30% van de artikelen representeert nog eens 10% tot 20% van het totale verbruik. Deze artikelen worden als type B geclassificeerd. De overige artikelen vallen onder type C (Slack, Chambers, & Johnston, 2010) (Winston, 2003) (van Goor, Kruijtzter, & Esmeijer, 2000).

Door de artikelen op deze manier te verdelen kan in kaart worden gebracht welke artikelen een groot deel van het totale verbruik representeren en daarom extra goed gemonitord dienen te worden. De aanwezigheid van type A artikelen is extra relevant, daarom zou er vier keer per jaar een voorraad telling plaats moeten vinden van type A artikelen. Voor type B artikelen is twee maal per jaar tellen voldoende, voor type C artikelen een keer per jaar (SCDigest Editorial Staff, 2009). Met de ABC voorraad classificatie wordt inzicht gecreëerd in de artikelen. Type A artikelen zijn relatief duur en/of hebben een hoog verbruik en dienen daarom vaker geteld te worden dan de overige artikelen. Daarnaast hebben type C artikelen een laag verbruik in waarde. Het kan zijn dat deze artikelen goedkoop zijn en/of inderdaad weinig worden verbruikt, maar de kans is ook groot dat type C artikelen niet meer worden verbruikt en verouderd zijn geraakt.

De omloopsnelheid wordt volgens een onderzoek van het Amerikaanse consultancy bureau Tompkins Associates bij 84% van de onderzochte bedrijven gebruikt als een key performance indicator (KPI) om de voorraad te beheren (Beerens, 2014). De omloopsnelheid geeft aan hoe vaak de voorraad wordt verbruikt in een bepaalde periode. Een zeer lage omloopsnelheid kan er op wijzen dat een voorraad verouderd raakt.

De omloopsnelheid van de voorraad kan berekend worden door:

$$\text{Omloopsnelheid voorraad} = \frac{\text{Vraag per jaar}}{\text{Gemiddelde voorraad per jaar}}$$

(Slack, Chambers, & Johnston, 2010)

Uit datzelfde onderzoek van Tompkins Associates blijkt dat er nog enkele veelgebruikte KPI's zijn om voorraden te beheren, namelijk: voorraadwaarde, aantal dagen voorraad, leverbetrouwbaarheid, percentage orders dat op tijd compleet is, voorraadbetrouwbaarheid, aantal keren buiten voorraad, percentage stock keeping units (SKU's) op voorraad, naleveringen, incurante voorraad, bruto marge op geïnvesteerde euro's, voorraadkosten en het voorraadpercentage waarvoor nog niet is betaald. Een stock keeping unit is een artikel dat volledig is gedefinieerd naar functie, vorm, afmeting, kleur, verpakking, locatie, enz (van Goor, Kruijtzter, & Esmeijer, 2000).

2.5 Conclusie

De deelvragen en antwoorden die zijn besproken in dit hoofdstuk zijn:

1.1 'Welke soorten voorraden zijn er volgens de theorie en waar dienen zij voor?'

Voorraden worden aangehouden om verschil in timing van vraag en aanbod op te vangen. Verschillende soorten voorraden die onderscheiden kunnen worden zijn: buffervoorraad, cyclusvoorraad, ontkoppelingsvoorraad, anticipatievoorraad en pijplijnvoorraad. Voorraden kunnen zich op verschillende plaatsen in het productieproces bevinden, inputvoorraad, onderhandenwerk voorraad of gereed product.

1.2 'Wat zijn de nadelen van het houden van voorraad?'

Het aanschaffen van voorraden kost geld, maar daarnaast is er sprake van opslagkosten, administratiekosten en verzekeringskosten. Bovendien kost het houden van voorraad ruimte, die op dat moment niet kan worden gebruikt voor andere doeleinden.

1.3 'Hoe kan volgens de theorie de optimale bestelgrootte en het bestelmoment worden bepaald?'

Bij het bestellen van voorraadonderdelen dient men te bepalen op welk moment de bestelling wordt geplaatst en wat de bestelgrootte is. Het bestelmoment en de bestelgrootte kunnen vast of variabel zijn. Een bestelling vindt plaats op het bestelmoment, dit is het moment dat de voorraad is gedaald tot een bepaald niveau. Ook kan er voor gekozen worden een vast bestelmoment te nemen, bijvoorbeeld eens per

kwartaal. De bestelgrootte kan worden benaderd met de EOQ formule. Vervolgens kan aan de hand van de jaarvraag, in combinatie met de EOQ, worden bepaald hoeveel orders er per jaar zouden moeten worden geplaatst en welke veiligheidsvoorraad moet worden aangehouden. Volgens de theorie dient een r,Q -model te worden gebruikt om de voorraad te minimaliseren. Hierbij wordt een vaste bestelhoeveelheid besteld wanneer de voorraad is gedaald tot het niveau r .

1.4 'Hoe kunnen voorraden worden beheerd en geanalyseerd?

Het analyseren van voorraden wordt vaak gedaan door de ABC voorraad classificatie toe te passen en de omloopsnelheid van de voorraad te berekenen. Op deze manier wordt in kaart gebracht welke artikelen extra relevant zijn en daarom extra goed gemonitord dienen te worden.

Bij het verlagen van de voorraden van Aeronamic gaan we kijken naar de volgende variabelen:

- Kosten (bestelkosten, voorraadkosten en tekortkosten).
- Bestelgrootte (hoeveel moet er per keer worden besteld?).
- Bestelmoment (wanneer moet er worden besteld?).
- Waarde van het verbruik van de artikelen (ABC voorraad classificatie).
- Omloopsnelheid van de voorraad.
- Niveau van de gemiddelde- en veiligheidsvoorraad.

Hoofdstuk 3 – De voorraadsituatie bij Aeronamic

In dit hoofdstuk worden de deelvragen 2.1 tot en met 2.4 beantwoord, om uiteindelijk deelvraag 2 te kunnen beantwoorden: 'Hoe ziet de huidige situatie bij Aeronamic eruit met betrekking tot voorraadbeheer?'

3.1 Soorten voorraad bij Aeronamic

In deze paragraaf wordt deelvraag 2.1 beantwoord: 'Welke soorten voorraden beheert Aeronamic?'. De theorie uit het vorige hoofdstuk wordt toegepast op de situatie bij Aeronamic.

Binnen Aeronamic worden er grofweg 2 manieren voor het inkopen van productieonderdelen onderscheiden, namelijk Kanban of MRP gestuurd. Kanban gestuurde delen worden ingekocht volgens een r,Q -model. Bij een bepaald voorraadniveau krijgt de inkoper een signaal uit de productie dat een onderdeel moet worden ingekocht. MRP gestuurde delen worden volgens een R,S -model ingekocht, dit gebeurt op basis van voorspellingen. Dit zal nader worden toegelicht in paragraaf 3.3.

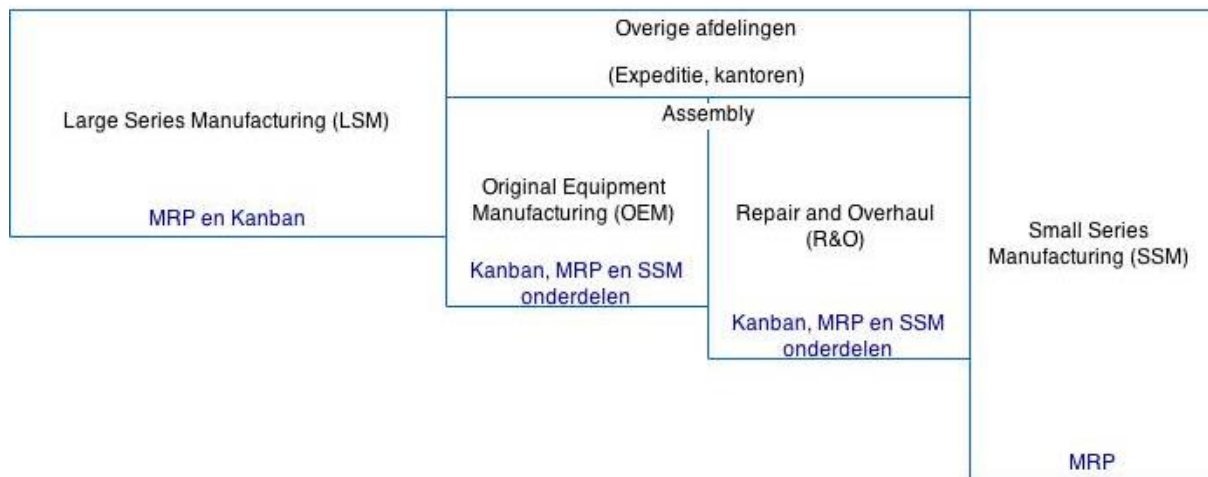
Voorraden worden opgeslagen in paternosters en stellingen. Een paternosterkast is een geautomatiseerd opbergsysteem dat bestaat uit verschillende draaibare lades met daarin bakken. Door het gebruik van paternosters kan men veel voorraad opslaan op een relatief kleine ruimte. In de paternosters zijn bakken geplaatst die voor de Kanban gestuurde onderdelen verdeeld zijn in vakken (two-bin Kanban). In één van deze bakken zit een buffervoorraad (veiligheidsvoorraad) om te anticiperen op vraagfluctuaties. De overige voorraad in de Kanbanbakken en de voorraad MRP gestuurde delen kan gezien worden als ontkoppelingsvoorraad.

Dit onderzoek gaat over de ruwe materialen en componentenvoorraad, oftewel 'inputvoorraad'. Andere vormen van voorraad komen ook voor binnen het bedrijf, maar worden niet meegenomen in dit onderzoek.

3.2 Voorraad verbruik en verantwoordelijkheid

In deze paragraaf wordt deelvraag 2.2 beantwoord: 'Hoe ziet het verbruik en de verantwoordelijkheid van de voorraad eruit?' We zullen in kaart brengen welke voorraden op welke afdelingen worden verbruikt en wie, wanneer verantwoordelijk is voor welke voorraden.

Zoals beschreven in Hoofdstuk 1 zijn er drie productieafdelingen te onderscheiden: LSM, Assembly (bestaande uit OEM en R&O) en SSM. Een overzicht hiervan is te zien in Figuur 1, hierbij staat per afdeling aangegeven welke voorraad zij verbruiken. Op de afdelingen LSM en SSM gebruikt men vooral MRP gestuurde voorraad. Deze voorraad bestaat uit ruw materiaal zoals plaatwerk. Daarnaast gebruikt de afdeling LSM ook Kanban gestuurde voorraad. Op de afdeling Assembly worden zowel Kanban als MRP gestuurde voorraad gebruikt. Bovendien wordt hier ook gebruik gemaakt van onderdelen die geproduceerd zijn op de afdeling SSM.



Figuur 1. Schets productieafdelingen.

Binnen Aeronamic zijn de inkopers verantwoordelijk voor het bestellen van de Kanban en MRP gestuurde voorraden. Bij Aeronamic bestaat de afdeling Inkoop uit vier inkopers. Grofweg is de verdeling per inkoper als volgt. Inkoper 1 is verantwoordelijk voor het bestellen van het grootste gedeelte van de Kanban onderdelen. Hieronder vallen niet de 'maakdelen'. Deze onderdelen worden namelijk ingekocht door Inkoper 2. Bovendien is Inkoper 2 verantwoordelijk voor het inkopen van onderdelen (volgens MRP) die benodigd zijn voor de productieorders uit de CONWIP (constant work in progress). Inkoper 3 bestelt eens per kwartaal een groep onderdelen volgens MRP. Inkoper 4 woont en werkt vanuit Amerika en is verantwoordelijk voor het bestellen van alle voorraden, zowel Kanban als MRP gestuurd, bij Amerikaanse bedrijven. Inkoper 4 werkt vanuit Amerika, omdat hij ook de Amerikaanse leveranciers regelmatig bezoekt. Hij bezoekt deze leveranciers, omdat Aeronamic relatief kleine orders bij deze bedrijven plaatst. Door regelmatig bij deze leveranciers langs te gaan en het belang van deze orders te benadrukken wordt voorkomen dat de orders van Aeronamic worden uitgesteld.

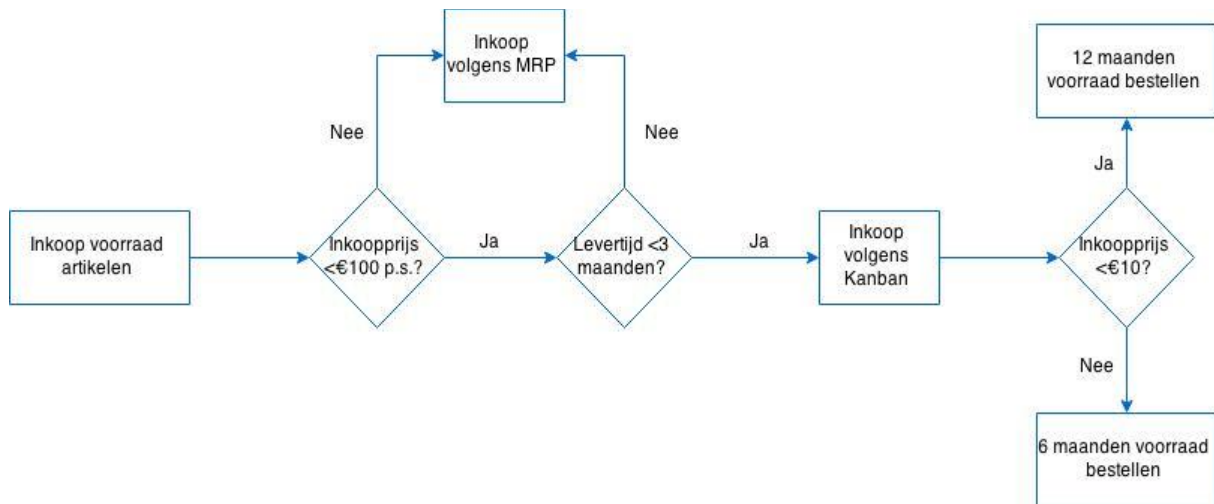
Wanneer de voorraden in de paternosters liggen zijn de medewerkers van de productieafdeling (LSM, Assembly of SSM) verantwoordelijk voor de voorraden. Zij verbruiken de voorraden, boeken deze af en geven een bestelsignaal naar de inkoper in de vorm van een Kanbankaartje. Echter, de verantwoordelijkheid voor de voorraad is niet voor iedereen duidelijk.

Op de afdeling SSM wordt alleen MRP gestuurde voorraad verbruikt, op de afdeling LSM ook Kanban gestuurde delen. De afdeling Assembly verbruikt zowel Kanban als MRP gestuurde delen, bovendien gebruiken zij onderdelen die op de afdeling SSM zijn geproduceerd. Binnen Aeronamic zijn er regels over de verantwoordelijkheid van de voorraad, echter zijn deze regels niet voor iedereen duidelijk.

3.3 Bestelgrootte en bestelmoment bij Aeronamic

In deze paragraaf wordt deelvraag 2.3 beantwoord: 'Hoe worden bij Aeronamic de bestelgrootte en het bestelmoment bepaald?'

Binnen Aeronamic worden er grofweg 2 manieren van het inkopen van voorraad onderscheiden, Kanban of MRP gestuurd. Ten eerste zijn er onderdelen die minder dan €100 per stuk kosten en een levertijd van korter dan 3 maanden hebben. Deze onderdelen worden via Kanban aangestuurd. De overige onderdelen worden als MRP artikel ingekocht, zie Figuur 2.



Figuur 2. Inkoop volgens Kanban of MRP.

Het bestelmoment voor Kanban gestuurde delen ligt niet vast, maar is afhankelijk van de vraag (en dus van de productie). De bestelhoeveelheid ligt vast en is afhankelijk van het verbruik. Voor producten die goedkoper zijn dan €10 per stuk wordt een hoeveelheid genoeg voor één jaar productie ingekocht. Voor producten die meer dan €10 per stuk kosten wordt voor een half jaar aan voorraad besteld. Hier is dus sprake van een (r,Q)-model.

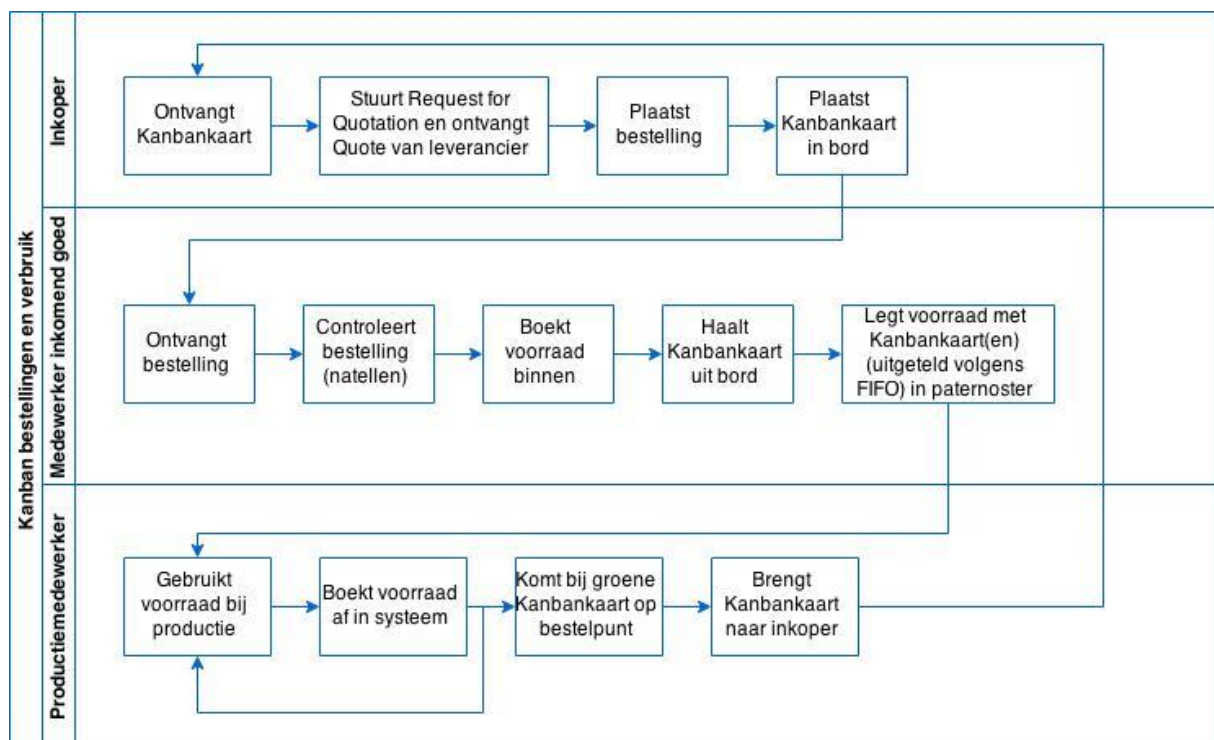
Voor de MRP gestuurde delen wordt er op een vast moment, eens per kwartaal, bekeken hoeveel er van dat artikel dient te worden besteld voor de komende periode. In Isah (het ERP systeem van Aeronamic) is per artikel te zien hoeveel er op voorraad ligt. De voorspelde vraag wordt in het ERP systeem geladen, waaruit zichtbaar wordt wanneer de voorraad in de toekomst op gaat raken. Aan de hand hiervan worden de bestellingen gedaan. Er is dus een vast bestelmoment met een variabele bestelgrootte, een (R,S)-model, waarbij de S elk kwartaal opnieuw wordt bepaald aan de hand van voorspellingen van de vraag.

De Kanban aangestuurde onderdelen liggen op voorraad in paternosters. Elk artikel heeft een rood en een groen Kanbankaartje in zijn voorraadbak. Op dit kaartje staat een foto en het artikelnummer van het betreffende artikel, zie Bijlage 2. Bovendien staat op de kaartjes wat de bestelhoeveelheid is, wat het bestelmoment is (voorraadniveau op het moment van bestellen) en hoeveel de veiligheidsvoorraad moet zijn. Ook staat de locatie van het product (de bak en lade in welke paternoster) op het kaartje genoteerd. In de eerste bak ligt de 'grijpvoorraad'. Hierna staat een groen kaartje in de bak dat naar de inkoper wordt gebracht zodra deze grijpvoorraad op is. De inkoper bestelt voor 6 of 12 maanden aan voorraad van dat artikel, zoals staat aangegeven op het kaartje. Dit is afhankelijk van de waarde van het product (Figuur 2). De inkoper stuurt een Request for Quotation (RFQ) naar één of meerdere leveranciers. Een RFQ wordt vaak aangevraagd voor meerdere artikelen tegelijk. De leveranciers sturen dan binnen enkele dagen een Quote terug. Hierin staat de prijs en levertijd die zij kunnen bieden per product. Bij de leverancier die het beste aanbod heeft wordt een bestelling geplaatst. Als de inkoper de bestelling heeft geplaatst, wordt het groene kaartje in een bord gezet waarop te zien is wanneer de bestelling naar verwachting binnen komt.

Achter het groene kaartje ligt voldoende voorraad voor drie maanden productie. Hierna staat het rode kaartje in de bak. Deze wordt naar de inkoper gebracht als alle voorgaande voorraad is verbruikt. Het rode kaartje dient als extra controle signaal voor de inkoper. Als de bestelling die is gedaan bij het groene kaartje nog niet is binnen gekomen, informeert de inkoper bij de leverancier waarom de bestelling nog niet is gearriveerd. Het kan zijn dat er iets fout is gegaan in de verzending waardoor de levertijd langer wordt of dat de bestelling al binnen is maar nog niet is ingeboekt in het systeem,

dan wel in de paternoster is geplaatst. Wanneer de bestelling nog niet binnen is wordt het rode kaartje in het bord geplaatst. De medewerkers gaan dan de veiligheidsvoorraad aanspreken. Deze veiligheidsvoorraad is groot genoeg voor drie maanden productie.

Zodra de bestelling binnenkomt wordt deze ingeboekt en haalt men het kaartje (of kaartjes) uit het bord en plaatst deze samen met de producten in de paternoster. Hierbij is het van belang dat er volgens het 'First In First Out' (FIFO) principe wordt gewerkt. Wanneer een voorraad binnenkomt wordt deze in de veiligheidsvoorraad geplaatst en de huidige voorraad wordt doorgeschoven naar de bakken ervoor. De expeditie-medewerker telt de voorraad uit volgens de niveaus die aangegeven zijn op de Kanbankaartjes. Er wordt gebruik gemaakt van FIFO, omdat een product dat in de paternoster ligt, verschillende lotnummers kan hebben. Door te werken met FIFO worden eerst de oudere lotnummers verbruikt zodat er zo min mogelijk lotnummers per artikel zijn. Onderdelen worden bij binnenkomst voorzien van een lotnummer, zodat ze beter te traceren zijn. Wanneer er van één of meerdere onderdelen blijkt dat ze van slechte kwaliteit zijn, kan men aan de hand van de lotnummers achterhalen welke producten nog meer in deze bestelling hebben gezeten. In Figuur 3 is het bestel- en verbruiksproces van de Kanban gestuurde onderdelen weergegeven.



Figuur 3. Kanban-bestel-systeem.

Met een half jaar voorraad achter het groene en rode kaartje samen en een bestelling van een half jaar kan er dus maximaal voor één jaar aan voorraad liggen voor producten die meer dan €10 per stuk kosten en maximaal anderhalf jaar aan voorraad van de producten die minder kosten dan €10. In principe hoeft de veiligheidsvoorraad nooit te worden aangesproken als het bestelproces verloopt zoals beoogd. De niveaus achter het rode en groene kaartje zijn bepaald aan de hand van de levertijd. De maximale levertijd voor Kanban gestuurde delen is drie maanden. Aan de hand hiervan is het bestelmoment op twee keer de maximale levertijd gesteld.

De MRP gestuurde onderdelen hebben een waarde van meer dan €100 per stuk en/of een levertijd van meer dan drie maanden. Deze onderdelen worden besteld aan de hand van de voorspelde van de vraag. Deze voorspellingen worden gemaakt aan de hand van het historisch verbruik of soms samen met de klant. Echter zijn er ook uitzonderingen; zo

zijn er producten waarvan de leverancier eist dat er minimaal 250 stuks per bestelling worden ingekocht. Dit aantal is al genoeg voor één jaar en er hoeft dus niet elk kwartaal te worden besteld. Er wordt op basis van voorspellingen van de vraag (en niet op basis van concrete orders) besteld, omdat er aan deze onderdelen lange levertijden zitten (6 tot 9 maanden).

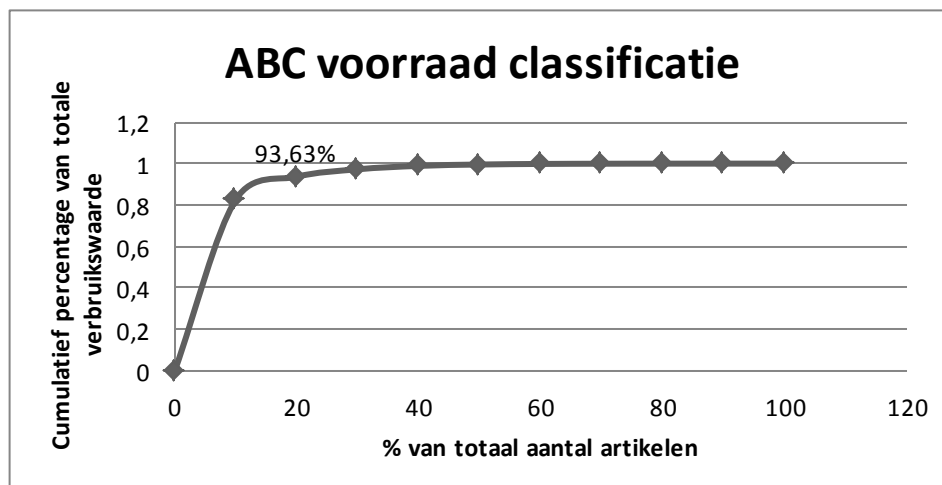
Kortom, voor de Kanban gestuurde onderdelen wordt aan de hand van het verbruik de bestelgrootte bepaald, namelijk genoeg voor 6 of 12 maanden productie (afhankelijk van de prijs van het product). Het Kanbansysteem is zo ingericht dat het bestelmoment variabel is, afhankelijk van het verbruik. Wanneer de voorraad is gedaald tot het punt dat er nog voor 6 maanden productie ligt, wordt een bestelling geplaatst, dit is volgens een r,Q-model. De MRP delen hebben een vast bestelmoment, één keer per kwartaal. De bestelhoeveelheid is afhankelijk van de voorspellingen van de vraag, dit is volgens een R,S-model. Wanneer Aeronamic de voorraad wil minimaliseren dienen beide soorten voorraad te worden aangestuurd volgens een r,Q-model. De Kanban gestuurde delen worden al via het r,Q-model aangestuurd, maar de hoogtes van de veiligheidsvoorraad en bestelgrootte zijn voor alle producten gelijk gesteld, bovendien is er niet genoeg rekening gehouden met de levertijd, prijs en het verbruik van het artikel.

3.4 Voorraad van Aeronamic

In deze paragraaf wordt deelvraag 2.4 beantwoord: 'Wat blijkt uit de voorraadanalyses over de voorraad van Aeronamic?'. De analyses genoemd in paragraaf 2.4 zullen worden toegepast op de voorraden van Aeronamic, te weten: de ABC voorraad classificatie, de omloopsnelheid van de voorraad, de waarde van de voorraad en verouderde voorraad, aantal op tijd geleverde orders, voorraadbetrouwbaarheid en de voorraadkosten.

3.4.1 ABC voorraad classificatie

De vraag naar producten is niet constant, daarom hebben we de vraag van 2012 tot en met 2014 gemiddeld om een reëel beeld te schetsen van de vraag (Durlinger, 2013). Vervolgens is de gemiddelde vraag per jaar vermenigvuldigd met de vaste verreken prijs (VVP, de inkoopwaarde) van het artikel. Dit geeft de waarde voor het gemiddelde verbruik in één jaar. Deze waarden worden omgerekend naar percentages van het totale verbruik. Vervolgens worden de cumulatieve percentages van het verbruik uitgezet tegen het percentage artikelen (zie Figuur 4). Uit Figuur 4 blijkt dat 20% van de artikelen 94% van de waarde van het verbruik representeren, terwijl dit volgens de theorie rond de 80% zou liggen. Hieruit blijkt dat een relatief klein aantal artikelen een zeer grote waarde van verbruik representeren. Deze groep artikelen wordt geclassificeerd als type A onderdelen. De volgende 30% van het aantal artikelen representeert 6% van de waarde van het verbruik (type B artikelen), de laatste 50% artikelen omvat minder dan 1% van de verbruikswaarde (type C artikelen).



Figuur 4. ABC voorraad classificatie.

Bij Aeronamic wordt minstens één keer per jaar een voorraad telling gehouden. Voor de 240 artikelen die zijn geclassificeerd als type A zou dit moeten worden verhoogd naar vier keer per jaar, voor type B artikelen is twee maal per jaar voldoende, voor type C artikelen één keer per jaar. Het tellen van de voorraad kan ook steekproefsgewijs plaatsvinden (SCDigest Editorial Staff, 2009).

3.4.2 Omloopsnelheid van de voorraad

In Isah is geen lijst met omloopsnelheden van alle artikelen te vinden. Daarom is er voor gekozen om de gemiddelde voorraad te berekenen aan de hand van de historische voorraadwaarde. Voor 24 achtereenvolgende maanden is de voorraadstand op de 15^e van de maand bepaald. Met deze 24 waarden is de gemiddelde voorraadstand bepaald. In overleg met Vice President Finance is gekozen voor voorraadstand op de 15^e van de maand, omdat de eerste en laatste dag van de maand minder representatief zijn. Aan het eind van de maand worden veel zendingen verstuurd, waardoor de voorraadstand op de laatste en ook eerste dag van de maand lager zou kunnen uitvallen. Door de 12 voorraadwaarden van één jaar op te tellen en te delen door 12 is de gemiddelde voorraad bepaald voor dat artikel in dat jaar.

Vervolgens is met informatie uit het ERP systeem bepaald wat het verbruik van de artikelen in de laatste 5 jaar is geweest. Dit verbruik bestaat uit het productie verbruik en het aantal verkopen als reserveonderdeel.

Het management van Aeronamic wil streven naar een gemiddelde voorraad van 75 dagen. Als de gemiddelde voorraad voldoende is voor 75 dagen productie, betekent dit dat de omloopsnelheid 4,87 (365/75) moet zijn. 75 dagen is zelfs hoger dan de norm van 30-60 dagen (Koophandel, 2014). De omloopsnelheid is afhankelijk van de branche, wat zou kunnen verklaren waarom er wordt gestreefd naar een hoge omloopsnelheid.

De gewenste omloopsnelheid van 4,87 is vooral relevant voor dure delen (MRP gestuurd). Dit zijn dure artikelen waarvan het logisch is dat het management ze niet te lang op voorraad wil hebben liggen, omdat zowel de artikelen zelf als de voorraadkosten ervan hoog zijn. De prijs van deze artikelen kan oplopen naar enkele duizenden Euro's per stuk. Echter, de Kanban gestuurde delen zijn goedkoop dus waarschijnlijk is het goedkoper om relatief veel op voorraad te houden van deze artikelen, omdat de kosten bij een voorraadtekort waarschijnlijk vele malen hoger liggen. De gewenste omloopsnelheid voor deze artikelen zal daarom lager liggen dan die voor de dure MRP gestuurde delen.

Om er voor te zorgen dat niet elk artikel even zwaar meeweegt in de berekeningen vermenigvuldigen we de gemiddelde voorraad en het verbruik met de VVP. Op die manier weegt een goedkoop artikel niet even zwaar mee als een duurder artikel. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de VVP van 2015, omdat de historische VVP niet meer terug is te vinden in het systeem. Hieruit blijken de volgende resultaten:

Tabel 5. Omloopsnelheden.

	2013	2014
Kanban	2,30	1,60
MRP	2,25	2,54
Totaal	2,26	2,29
Gewenste omloopsnelheid: 4,87		

In Tabel 5 is te zien dat de omloopsnelheid van de Kanban gestuurde delen van 2013 naar 2014 is gedaald van 2,30 naar 1,60. Dit is het gevolg van een groeiende voorraad in combinatie met een dalend verbruik. De stijgende voorraadwaarde is mede ontstaan door nieuwe projecten. Aeronamic is bezig met twee nieuwe projecten. Voor het ene project zijn al artikelen op voorraad genomen, maar de productie van dit project is nog niet gestart. Aeronamic moet deze voorraad wel aanhouden, zodat tijdig kan worden

gestart met de productie. Bovendien heeft men vaak te maken met lange levertijden. Voor een tweede project is de productie gedeeltelijk gestart. Dit project wordt in de komende maanden uitgebreid tot volledige productie. Ook hiervan is voorraad aanwezig dat (nog) niet wordt verbruikt. De omloopsnelheid van de MRP gestuurde delen is juist gestegen, omdat de voorraad is gedaald maar het verbruik is gestegen.

Naast de onderverdeling in omloopsnelheden tussen Kanban en MRP, is in Bijlage 3 een overzicht te vinden van de omloopsnelheden per inkoper, project en prijs. In het laatste geval zijn er vier groepen te onderscheiden: de goedkope Kanban onderdelen ($<€10$), de dure Kanban onderdelen ($€10 < \text{prijs} \leq €100$), de goedkope MRP onderdelen ($€100 < \text{prijs} \leq €1.000$) en de dure MRP onderdelen ($>€1.000$). Het blijkt dat de duurste groep de hoogste omloopsnelheid heeft. Dit is te verklaren doordat Aeronamic de dure delen beter en vaker monitort dan de goedkopere delen.

Kanban gestuurde onderdelen hebben een minimale voorraad van 3 maanden, de veiligheidsvoorraad. Het bestelmoment ligt op 6 maanden en de bestelgrootte is, afhankelijk van de prijs, voor 6 of 12 maanden productie. Voor onderdelen goedkoper dan €10 is de maximale voorraad 18 maanden. De gemiddelde voorraad is gelijk aan de veiligheidsvoorraad plus de helft van de ordergrootte. Voor de goedkope onderdelen is de gemiddelde voorraad genoeg voor $(3 + 0,5 \cdot 12 =) 9$ maanden productie. In theorie is hier de omloopsnelheid gelijk aan 1,33 ($12/9$). Voor onderdelen die meer dan €10 kosten is de maximale voorraad 12 maanden. De gemiddelde voorraad is dan $(3 + 0,5 \cdot 6 =) 6$ maanden met een omloopsnelheid van 2 ($12/6$). Met de huidige veiligheidsvoorraad en bestelgroottes kan de omloopsnelheid van 4,87 niet worden behaald.

Eigenlijk ligt de gemiddelde voorraad hoger dan hier is geschetst. Hierboven wordt uitgegaan van een levertijd van drie maanden. Echter is de levertijd voor deze artikelen vaak lager, waardoor het niveau van de veiligheidsvoorraad nog niet is bereikt wanneer een bestelling binnen komt.

In Bijlage 4 zijn extra voorraadgegevens te vinden. Hier is te zien hoe Aeronamic scoort op de overige KPI's die door veel bedrijven worden gebruikt, zoals de waarde van de voorraad, de betrouwbaarheid van de voorraad en de kosten van de voorraad.

3.4.3 Verouderde voorraad

In Bijlage 4 is beschreven hoe een indicatie is gemaakt van de hoeveelheid verouderde voorraad. Hieruit is gebleken dat er 241 artikelen kunnen worden beschouwd als verouderd. Deze artikelen hebben namelijk in de laatste 5 jaar geen voorraadtransacties gehad. Van de 241 artikelen liggen ruim 56.000 artikelen op voorraad met een totale waarde van ruim €400.385. Deze artikelen zijn een oorzaak van het lage verbruik van de onderste (type C) artikelen uit de ABC voorraad classificatie en van de lage omloopsnelheid.

3.5 Conclusie

De deelvragen en antwoorden die zijn besproken in dit hoofdstuk zijn:

2.1 'Welke soorten voorraden beheert Aeronamic?'

De voorraden binnen Aeronamic kunnen worden gezien als buffer- of veiligheidsvoorraad en ontkoppelingsvoorraad. De voorraad worden via Kanban of MRP aangestuurd. Alleen bij de Kanban gestuurde voorraad is er op dit moment sprake van een veiligheidsvoorraad.

2.2 'Hoe ziet het verbruik van, en de verantwoordelijkheid voor de voorraad eruit?'

In Tabel 6 is te zien hoe en door wie de voorraad wordt aangestuurd en op welke afdelingen ze worden verbruikt.

Tabel 6. Overzicht voorraadaansturing, inkopers, bestelstrategie en verbruik.

Voorraad aansturing	Inkopers	Bestelstrategie	Verbruik afdelingen
Kanban	Inkopers 1, 2, 4	(r,Q)-model	LSM, OEM en R&O
MRP	Inkopers 2, 3, 4	(R,S)-model	SSM, OEM en R&O

2.3 'Hoe worden de bestelgrootte en het bestelmoment bij Aeronamic bepaald?'

Voor de Kanban gestuurde onderdelen wordt, afhankelijk van de prijs van het artikel, voor 6 of 12 maanden aan voorraad besteld. De voorraad achter het rode en groene Kanbankaartje samen is genoeg voor 6 maanden productie. Voor de MRP delen wordt de bestelhoeveelheid eens per kwartaal bepaald op basis van de voorspelde vraag.

2.4 'Wat blijkt uit de voorraadanalyses over de voorraad van Aeronamic?'

Uit de ABC voorraad classificatie blijkt dat 20% van het aantal artikelen een zeer grote waarde van verbruik representeren, namelijk 94%. Verder is de omloopsnelheid lager dan de gewenste 4,87. In 2013 was de omloopsnelheid van de voorraad 2,26; in 2014 was deze 2,29. De lage omloopsnelheid is mede te wijten aan de 56.028 onderdelen die hoogstwaarschijnlijk als overtoollig kunnen worden bestempeld en verwijderd zouden moeten worden uit de paternosters.

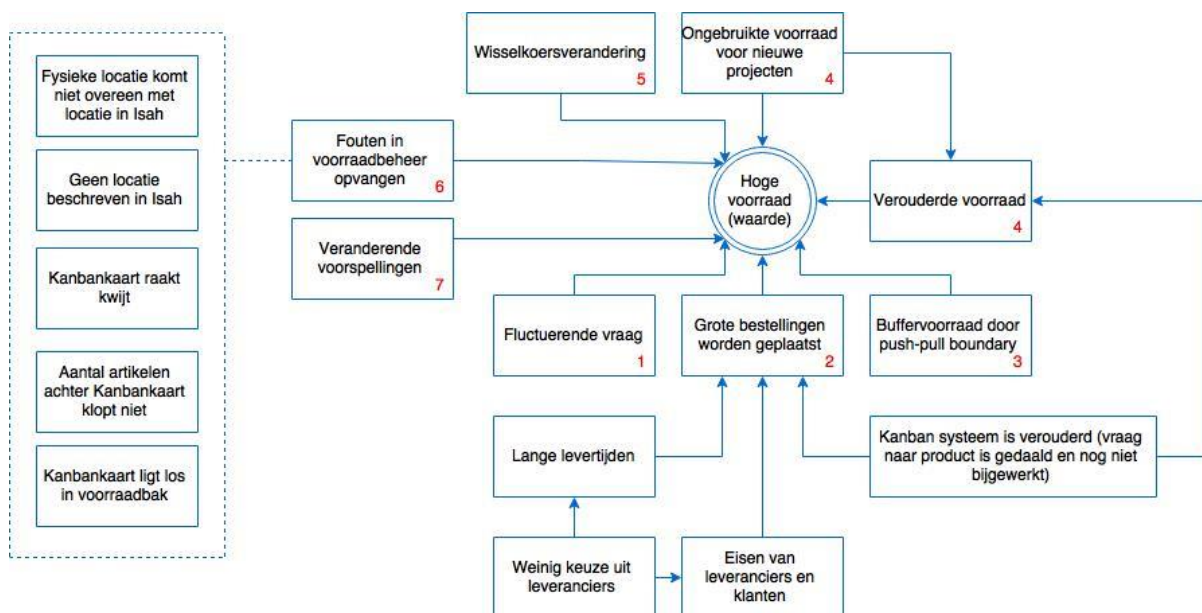
Nu we weten welke voorraden er worden aangehouden en hoe en door wie deze worden aangestuurd, kunnen we dit vergelijken met de literatuur. Hier kunnen we uit halen wat de mogelijke oorzaken van de hoge voorraad zijn. Dit wordt in het volgende hoofdstuk besproken.

Hoofdstuk 4 – Oorzaken van de hoge voorraad

In dit hoofdstuk wordt deelvraag 3 beantwoord: 'Wat zijn de oorzaken van de te hoge voorraad bij Aeronamic?'.

4.1 Probleemkluwen

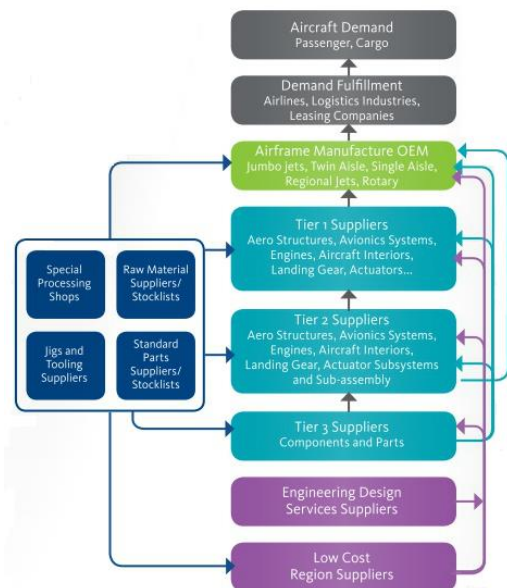
Om in één oogopslag duidelijk te maken wat de oorzaken van de hoge voorraad en wat hun onderlinge relaties zijn, is een probleemkluwen gemaakt (Heerkens & Van Winden, 2012). De oorzaken van de te hoge voorraad zijn achterhaald door aan medewerkers van verschillende afdelingen te vragen wat zij denken dat de oorzaak is of oorzaken zijn van de te hoge voorraad. Om er voor te zorgen dat de medewerkers niet worden beïnvloed door wat andere medewerkers hebben gezegd, hebben we hen eerst open vragen gesteld. Hierin vroegen we ze waarom zij denken dat de voorraad te hoog is. Vervolgens hebben we dit in een probleemkluwen gezet. De probleemkluwen hebben we nog eens aan de medewerkers voorgelegd. Deze hebben zij bekeken en we hebben opnieuw gevraagd of zij denken dat dit alle oorzaken zijn. Op deze manier hebben we geprobeerd een zo compleet mogelijk beeld te schetsen van de situatie. Dit is verwerkt in de probleemkluwen van Figuur 5. De rode cijfers corresponderen met de volgorde waarin ze zullen worden toegelicht.



Figuur 5. Probleemkluwen.

4.1.1 Fluctuerende vraag

Globaal gezien ziet de aerospace supply chain er uit zoals in Figuur 6. De 'Airframe Manufacture OEM' bedrijven maken de uiteindelijke complete vliegtuigen die zij leveren aan de luchtvaartmaatschappijen. Dit zijn bedrijven zoals Airbus en Boeing. Deze bedrijven krijgen hun onderdelen, complete systemen, geleverd van Tier 1 Suppliers, hierbij valt te denken aan bedrijven zoals Honeywell en UTC Aerospace. Zij maken deze complete systemen met de subsystemen die door de Tier 2 Suppliers worden geproduceerd en geleverd. Op hun beurt ontvangen zij de componenten en onderdelen van Tier 3 Suppliers. Aeronamic levert zowel Tier 2 als Tier 3 delen. Hierdoor zitten zij achter in de supply chain waardoor zij meer last hebben van het bullwhip effect. Het gevolg hiervan is dat Aeronamic te maken heeft met grote vraagfluctuaties. Bovendien is de vraag onzeker, Aeronamic produceert op basis van (voorspelde) orders. De inkooponderdelen hebben vaak lange levertijden, waardoor hoge voorraden worden aangehouden om aan de onzekere en fluctuerende vraag te kunnen voldoen.



Figuur 6. Aerospace supply chain (Autodesk, 2009).

4.1.2 Grote bestellingen worden geplaatst

Een tweede oorzaak van de hoge voorraad binnen Aeronamic zijn de grote bestellingen die worden geplaatst. Dit is het gevolg van lange levertijden die bepaalde leveranciers hebben. Echter heeft Aeronamic niet veel keus bij het kiezen van hun leveranciers, omdat zij veel specifieke producten bestellen die slechts bij enkele leveranciers te krijgen zijn. Daarnaast stellen enkele leveranciers ook bepaalde eisen, zoals in paragraaf 2.3 is genoemd komt het voor dat een leverancier eist dat Aeronamic minstens 250 stuks van een bepaald artikel moet bestellen. Ook als dit aantal niet optimaal is voor Aeronamic worden deze aantallen toch besteld, omdat er geen andere leverancier is die dit artikel kan leveren. Ook klanten stellen eisen aan Aeronamic die van invloed zijn op de voorraad. Zo komt het voor dan een klant eist dat Aeronamic onderdelen bij een bepaalde leverancier moet bestellen.

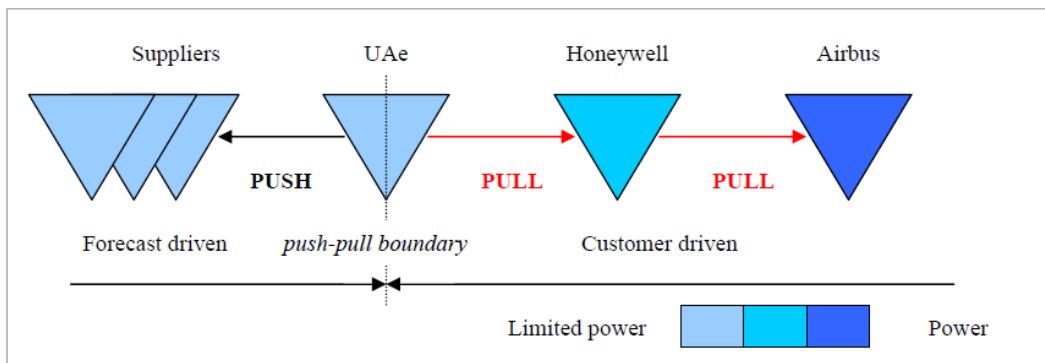
Daarnaast is het Kanbansysteem niet goed bijgehouden en daarmee zijn de bestelhoeveelheden en voorraadniveaus niet meer actueel. Sinds de invoering van het Kanbansysteem is de vraag naar enkele producten gedaald. Echter zijn de bestelhoeveelheden en voorraadniveaus niet altijd aangepast op de Kanbankaartjes. Dit leidt tot overtollige voorraden in de patenosters.

Zoals in de huidige situatie al is beschreven worden de MRP gestuurde delen zo laat mogelijk en zo min mogelijk besteld op basis van voorspellingen van de vraag. De Kanban gestuurde delen worden echter besteld wanneer de voorraad tot het bestelmoment is gedaald. De hoeveelheid die dan wordt besteld is genoeg voor 6 of 12 maanden productie (afhankelijk van de inkoopprijs). Dit heeft als gevolg dat de maximale voorraad per product genoeg is voor één of anderhalf jaar productie. Ook bij de Kanban gestuurde delen kan de leverancier een rol spelen in het bepalen van de bestelhoeveelheid. In principe wordt voor 6 of 12 maanden voorraad besteld. Echter, wanneer een leverancier eist dat een order een minimaal bestelbedrag heeft, worden er wel eens grotere aantallen besteld.

4.1.3 Buffervoorraad door push-pull boundary

Honeywell, een Tier 1 Supplier (Figuur 6), is de grootste klant van Aeronamic. Om hoge voorraden, variabiliteit en onzekerheid, die Honeywell wordt opgelegd door haar klanten, te ondervangen hebben zij een pull strategie geïntroduceerd. Bij een pull strategie is de productie gebaseerd op de werkelijke vraag van de klant (Kleisen, 2005). Hierdoor kunnen voorraden laag worden gehouden. Aeronamic werkt volgens een push strategie die gebaseerd is op lange termijn voorspellingen. Deze voorspellingen hebben als gevolg

dat er hoge voorraden worden aangehouden om de onzekere vraag te kunnen beantwoorden. Bovendien heeft Aeronamic te maken met lange levertijden. Om de productie op tijd te kunnen laten starten moeten onderdelen worden besteld op basis van de voorspelde vraag. Binnen de pull strategie van Honeywell valt ook dat zij van Aeronamic eisen met 'vendor managed inventory' (VMI) te werken, een vorm van consignment stock. Aeronamic houdt voorraad (gerede producten) die Honeywell pas betaalt wanneer zij deze verbruiken. De plaats van Aeronamic in de keten wordt ook wel de push-pull boundary genoemd, dit is het punt waar de scheiding ontstaat tussen het produceren op orders en voorspellingen (Donk, 2001). Dit beïnvloedt het voorraadniveau bij Aeronamic en de machtspositie in de supply chain, dit is te zien in Figuur 7. UAe is de oude benaming voor Aeronamic. Als zij willen voldoen aan de vraag moeten zij hoge voorraden aanhouden. Daarnaast is in Figuur 7 te zien dat Aeronamic weinig macht heeft in de keten. Honeywell heeft veel macht in de keten, waardoor zij veel van Aeronamic kan eisen.



Figuur 7. Positie van Aeronamic (UAe) in de supply chain (Kleisen, 2005).

4.1.4 Ongebruikte en overtollige voorraad

Aeronamic is voor de aanvang van nieuwe projecten soms verplicht een bepaalde hoeveelheid onderdelen in te kopen, zodat zij ondanks de lange levertijden op tijd kunnen beginnen met produceren. Dit is ook één van de oorzaken voor de hoge voorraden, omdat deze onderdelen soms voor lange tijd op voorraad liggen maar nog niet worden gebruikt. Daarnaast is het mogelijk dat het project uiteindelijk niet door gaat en (een deel van) de voorraad als obsolete, verouderd, in de patenosters blijft liggen. Ook ontstaat er verouderde voorraad doordat het Kanbansysteem niet goed wordt bijgewerkt. Als de vraag naar een product is gedaald of zelfs is gestopt, worden niet altijd de voorraadniveaus aangepast of overtollige voorraden verwijderd uit de paternoster.

4.1.5 Wisselkoersverandering

Een deel van de voorraad wordt ingekocht in Amerika en betaald met Amerikaanse Dollars. Echter, alle onderdelen die op voorraad worden genomen, worden gewaardeerd in Euro's. Aeronamic bepaalt elk jaar een koers waarmee de waarde in Dollars wordt omgerekend in Euro's. De koers kan elk jaar veranderen en dit heeft gevolgen voor de waarde van de voorraden. Wanneer er voor \$100 onderdelen zijn ingekocht wordt dit bij een wisselkoers van 1,35 op voorraad genomen met een waarde van €74,07 ($100/1,35$). Wanneer het voorraadniveau niet verandert en de wisselkoers het volgende jaar wordt bepaald op 1,30 is diezelfde voorraad nu €76,92 waard. De waarde van de voorraad kan dus stijgen (maar ook dalen) door een veranderende wisselkoers. In 2014 was de wisselkoers 1,35 en in 2015 is deze gedaald naar 1,25 waardoor de voorraadwaarde met 8% zal stijgen bij een gelijkblijvende voorraad in aantallen.

4.1.6 Fouten in voorraadbeheer opvangen

Enige tijd geleden is door zeven medewerkers van vier verschillende afdelingen een Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) opgesteld (zie Bijlage 5). Zij hebben in kaart

gebracht welke problemen zouden kunnen voorkomen bij het voorraadbeheersingsproces. Deze problemen zijn onderverdeeld in verschillende categorieën. Een deel van deze FMEA met de onderwerpen die relevant zijn voor dit onderzoek is te zien in Bijlage 5.

In gesprekken met inkopers is naar voren gekomen dat zij schatten dat er eens in de maand een productieproces niet optimaal verloopt, omdat een artikel niet (genoeg) aanwezig is. Hierbij meldden zij dat dit voornamelijk MRP gestuurde delen zijn. De 585 MRP gestuurde onderdelen worden vier keer per jaar besteld, dit zijn in totaal 2.340 bestellingen. Wanneer er 12 keer per jaar een stockout plaats vindt in één van die bestelcycli, zou dit een serviceniveau van $(12/2.340 =) 99,5\%$ op moeten leveren. Het proces ligt niet vaak helemaal stil wanneer de voorraad van één artikel op is. De assemblage wordt zo ver mogelijk uitgevoerd, totdat het artikel dat niet aanwezig is, moet worden geassembleerd. Wel kan dit gevolgen hebben voor het op tijd leveren van de eindproducten. Hoe groot die gevolgen zijn, is niet bekend.

Uit de FMEA blijkt dat er vijf problemen voorkomen die men probeert op te vangen door een hoge voorraad aan te houden:

- De fysieke locatie van een artikel komt niet overeen met de locatie in Isah.
- Er is geen locatie beschreven in Isah.
- De Kanbankkaart raakt kwijt.
- Het aantal artikelen achter de Kanbankkaart klopt niet.
- De Kanbankkaart ligt los in de voorraadbak.

4.1.7 Veranderende voorspellingen

Aeronamic baseert haar productie op voorspellingen, zoals beschreven in paragraaf 3.3. Zij moet op basis van deze voorspellingen produceren, omdat er op veel inkoopdelen een lange levertijd zit. Als men op tijd wil kunnen beginnen met produceren, moet de inputvoorraad al zijn ingekocht voordat de daadwerkelijke order binnen is. Echter veranderen deze voorspellingen ook regelmatig. Hierdoor komt het voor dat er voorraad is ingekocht, maar de voorspelling van de vraag wordt verschoven naar een later tijdstip. De (voorspelde) order wordt dan verplaatst naar enkele weken of maanden later. De benodigde voorraad voor deze order is waarschijnlijk al ingekocht en op voorraad genomen. Hierdoor liggen de onderdelen langer op voorraad dan gewenst en gepland.

4.2 Conclusie

In dit hoofdstuk is deelvraag 3 beantwoord: 'Wat zijn de oorzaken van de te hoge voorraad bij Aeronamic?'.

Er zijn verschillende oorzaken voor de hoge voorraden binnen Aeronamic. Een deel van de voorraad wordt ingekocht op basis van de voorspellingen in de vraag. Deze vraag en ook de voorspellingen veranderen regelmatig. Vanwege de lange levertijden zijn de onderdelen benodigd voor de productie al ingekocht wanneer de vraag of voorspelling alsnog kan veranderen. Daarnaast plaatsen inkopers grote orders, mede door deze lange levertijd en eisen van zowel leveranciers als klanten, maar ook doordat men werkt met een Kanbansysteem waarbij de bestelhoeveelheden recent niet meer zijn aangepast aan de huidige vraag. Hierdoor ontstaat ook voorraad die waarschijnlijk niet meer verbruikt gaat worden, omdat het de afgelopen 5 jaar ook niet is verbruikt. Ook bij het opstarten van nieuwe projecten moeten voorraden worden ingekocht, om op tijd te kunnen starten met de productie. Uit de FMEA (Bijlage 5) is gebleken dat er regelmatig fouten plaatsvinden bij het beheren van de voorraad. Het systeem, zoals deze is bedacht, wordt niet altijd goed nageleefd. De fouten die hierdoor ontstaan, probeert men op te vangen door een hoge voorraad aan te houden.

Niet alle oorzaken zijn even ernstig, bovendien zijn ze niet allemaal te beïnvloeden door Aeronamic. Dit zal verder worden toegelicht in het volgende hoofdstuk.

Hoofdstuk 5 – Het verlagen van de voorraad

In dit hoofdstuk wordt een keuze gemaakt welk probleem uit de probleemkluwen van Hoofdstuk 4 wordt aangepakt. In paragraaf 5.1 worden alle problemen uit de probleemkluwen nog eens genoemd en bovendien wordt beschreven of deze problemen te beïnvloeden zijn. Op basis hiervan wordt bepaald wat het grootste probleem is dat kan worden opgelost. In paragraaf 5.2 wordt beschreven hoe het gekozen probleem moet worden opgelost en vervolgens worden er twee voorbeelden uitgewerkt. Voor één MRP gestuurd deel en één Kanban gestuurd deel wordt de optimale bestelstrategie bepaald volgens de theorie.

5.1 Problemen

Uit de probleemkluwen (Figuur 5) is gebleken dat er een aantal factoren is dat de hoge voorraad veroorzaakt. In dit hoofdstuk worden de mogelijkheden bekeken om voorraden te kunnen verlagen door de genoemde problemen op te lossen. De oorzaken uit de probleemkluwen zijn als volgt:

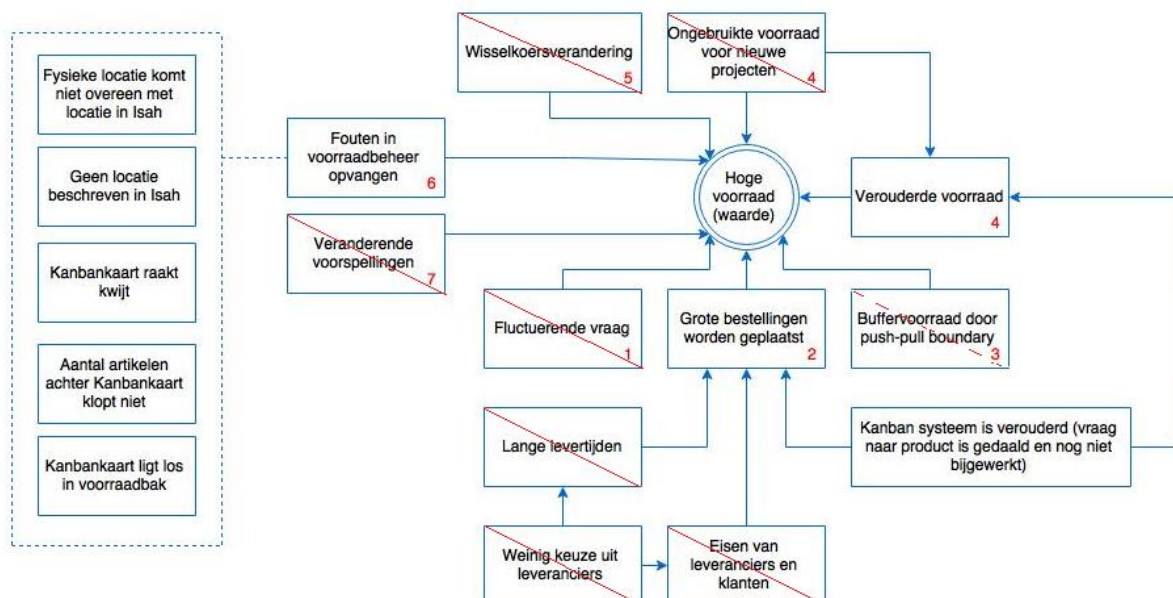
- Fluctuerende vraag. De vraag van de klant(en) kan Aeronamic niet beïnvloeden. Aeronamic zal om moeten blijven gaan met de fluctuerende vraag. Uit Bijlage 7 blijkt dat Aeronamic vooral aan haar grootste klant een hoge on time delivery (OTD) heeft, waaruit blijkt dat het niet vaak voor komt dat men misgrijpt tijdens de productie met als gevolg dat de order niet op tijd kan worden geleverd. Dit probleem werd niet door veel medewerkers genoemd als oorzaak, echter is dit wel een grote oorzaak van de hoge voorraden. Wanneer de vraag naar producten niet zou fluctueren, zou Aeronamic bijna geen voorraden aan hoeven houden, omdat zij dan exact zouden weten hoeveel zij moeten bestellen om aan de vraag te kunnen voldoen.
- Grote bestellingen. Het feit dat grote bestellingen worden geplaatst door eisen van leveranciers en klanten, in combinatie met lange levertijden kan niet worden beïnvloed. De lange levertijden zijn het gevolg van specifieke producten die slechts bij enkele leveranciers kunnen of mogen worden besteld. Bovendien moet Aeronamic voldoen aan de eisen van klanten en leveranciers, zoals die staan omschreven in de contracten. De lange levertijden zijn een grote oorzaak voor de hoge voorraad, dit is namelijk bij veel artikelen aan de orde. Wanneer de levertijden een stuk korter zouden zijn, zou de voorraad kunnen worden besteld zodra de order binnen is. Nu moet de voorraad al worden ingekocht op basis van voorspellingen. De specifieke eisen van leveranciers hebben een kleine invloed op de voorraad, omdat hiervan sprake is voor slechts enkele onderdelen.
- De verouderde informatie op de Kanbankaartjes moet worden aangepast. De bestelhoeveelheden en bestelmomenten van Kanban gestuurde onderdelen zouden moeten worden aangepast aan de huidige vraag in combinatie met de levertijd.

Voor type A artikelen (volgens de ABC voorraad classificatie) moet de optimale bestelstrategie worden bepaald. Voor deze producten moet met de EOQ formule bepaald worden wat de optimale bestelgrootte voor het product is. Daarnaast dient het bestelmoment te worden gedefinieerd (voorraadniveau op moment van bestellen) en moet men de hoogte van de veiligheidsvoorraad bepalen. Voor artikelen met een lage omloopsnelheid kan de voorraad structureel worden verlaagd. Dit is een grote oorzaak van de hoge voorraden. Wanneer er te weinig voorraad is van een product, worden de bestelhoeveelheden wel eens verhoogd, maar bij een overschot worden ze niet verlaagd. Hierdoor zullen de hoeveelheden alleen maar stijgen en nooit dalen.

- De buffervoorraad die ontstaat bij Aeronamic als gevolg van de positie van Aeronamic in de keten, de push-pull boundary, kan worden beïnvloed door deze boundary te verschuiven naar hun leveranciers. Hierbij is het belangrijk te melden dat Aeronamic weinig macht heeft in de keten. Honeywell heeft veel macht en kan daarom veel van Aeronamic eisen. Aeronamic heeft een stuk minder macht in de keten waardoor zij de eisen van Honeywell moet accepteren en zelf weinig eisen kan stellen. Ook bij leveranciers van Aeronamic is er soms sprake van een

machtsverschil. Als Aeronamic slechts een relatief kleine klant is van een grote leverancier, is de kans klein dat zij volgens VMI willen werken voor Aeronamic. De positie en macht van Aeronamic in de keten hebben grote invloed op de voorraad. Wanneer Aeronamic meer macht in de keten zou hebben, kan zij ook van leveranciers eisen met VMI te werken, waardoor een groot deel van de kosten voor het houden van voorraad wordt verschoven naar de leverancier.

- In paragraaf 3.4.3 is in kaart gebracht welke artikelen (vermoedelijk) niet meer zullen worden verbruikt, aangezien er in de laatste 5 jaar geen verbruik van deze artikelen is geweest. Deze artikelen zijn te beschouwen als overtollige voorraad. De overtollige voorraad is een relatief klein probleem. Het verwijderen ervan zou eenmalig een verlaging van de voorraad opleveren.
- Het aanhouden van voorraden voor nieuwe projecten is onvermijdelijk, omdat Aeronamic te maken heeft met lange levertijden. Daarom moeten er artikelen op voorraad worden genomen om op tijd te kunnen produceren, alvorens het contract daadwerkelijk is afgesloten. Dit is een relatief klein probleem, omdat het slechts tijdelijk is.
- Aeronamic heeft geen invloed op de wisselkoersveranderingen, bovendien is het probleem niet ernstig, de wisselkoersveranderingen kunnen ook een positief effect op de voorraadwaarde hebben.
- Er worden hoge voorraden aangehouden om de gevolgen van fouten die in het voorraadbeheersingsproces worden gemaakt op te vangen. De procedures die moeten worden gevolgd door de werknemers, zijn wel bekend, maar worden niet altijd nageleefd. Dit probleem is vrij groot en wordt daarom ook al onderzocht binnen Aeronamic.
- De voorspellingen van de klant veranderen regelmatig. Dit heeft voornamelijk gevolgen voor de MRP gestuurde delen die op voorraad liggen. Door de lange levertijden zijn inputvoorraden al besteld en liggen daarom langer op voorraad dan gepland. Dit probleem is niet groot, omdat de voorraden wel verbruikt zullen worden, maar slechts tijdelijk langer op voorraad liggen. Aeronamic kan hierin geen aanpassingen doen. Wel kan opnieuw naar het bestelproces worden gekeken of de huidige bestelmethode kan worden verbeterd.



Figuur 8. Probleemklussen met beïnvloedbare problemen.

In Figuur 8 zijn alle problemen doorgestreept die niet direct kunnen worden beïnvloed. Van de overige problemen gaan we bepalen wat het grootste probleem is dat kan worden opgelost. Op dit moment vindt er binnen Aeronamic een onderzoek plaats dat zich richt op het voorkomen van fouten in het voorraadbeheer. Het probleem dat er verouderde

voorraad aanwezig is, kan worden opgelost, maar dit zal niet de grootste voorraadreductie opleveren. De verouderde voorraad kost slechts de voorraadkosten. De voorraad kan het meest verlaagd worden door te kijken naar de huidige bestelstrategie van de inkopers, hierbij kan namelijk worden gekeken naar een besparing van de bestelkosten, voorraadkosten en tekortkosten op de lange termijn. Door de optimale strategie te bepalen kan zowel voor MRP als Kanban gestuurde delen de voorraad worden verlaagd.

In dit onderzoek zullen we daarom verdere analyses uitvoeren op de bestelgroottes, bestelmomenten en hoogtes van veiligheidsvoorraden om de totale voorraadwaarde te laten dalen. We zullen hiervoor gebruik maken van de resultaten van de ABC voorraad classificatie en de gevonden omloopsnelheden.

5.2 Oplossing van het grootste probleem

We zullen gaan kijken naar de top 20 artikelen die naar voren zijn gekomen uit de ABC voorraad classificatie. Daarnaast zullen nog enkele onderdelen worden toegevoegd die een hoge gemiddelde voorraad hebben, maar niet in de top 20 staan vanwege laag verbruik. Op deze manier hebben we een selectie onderdelen die op dit moment voor een groot deel verantwoordelijk zijn voor de hoge voorraad.

Voor deze artikelnummers zullen we berekenen wat de optimale bestelgrootte is. We gebruiken het r,Q -model, omdat dit het meest geschikt is om het gemiddelde voorraadniveau te minimaliseren (Winston, 2003). Het gebruik van het r,Q -model heeft echter als nadeel dat de voorraadstand continu moet worden bekeken. Bij het R,S -model bestellen de inkopers eens per kwartaal de artikelen, maar nu dienen zij continu in de gaten te houden of het voorraadniveau is gedaald tot r .

Met de EOQ formule berekenen we de ordergrootte. Vervolgens kan worden bepaald wat het bestelmoment is en hoe hoog de veiligheidsvoorraad moet zijn. Hieruit zal blijken wat de gemiddelde voorraad is, wat het service level is en wat de totale kosten zijn voor dat artikel.

We dienen eerst in kaart te brengen wat de gemiddelde jaarvraag van elk artikel is. Dit is bepaald aan de hand van de vraag in de afgelopen 5 jaar. Hiervan wordt het gemiddelde en de standaarddeviatie bepaald. Vervolgens wordt de gemiddelde levertijd bepaald. Dit hebben we gedaan door naar de laatste drie order- en leverdatums van deze orders te kijken. Vervolgens kan de vraag tijdens de levertijd worden bepaald en de bijbehorende standaarddeviatie. Om de EOQ formule in te kunnen vullen hebben we nog de voorraadkosten (Hoeveel kost het om het artikel één jaar op voorraad te houden?), de kosten voor het plaatsen van een order en de tekortkosten (extra kosten per eenheid tekort) nodig.

De voorraadkosten voor het opslaan van één artikel, één jaar lang, zijn gesteld op 6% van de VVP. Voor dit onderzoek nemen we aan dat Aeronamic een rendement van 2% op vreemd vermogen en 10% op eigen vermogen haalt. Er wordt gestreefd naar een verdeling van 50%-50% op vreemd en eigen vermogen, daarom wordt voor de voorraadkosten een percentage van 6% van de voorraadwaarde (VVP) aangehouden. Medewerkers van de afdeling Inkoop hebben bepaald hoeveel het kost om een order te plaatsen. Hierbij is de tijd meegenomen die nodig is om e-mails te sturen naar één of meerdere leveranciers voor (indien nodig) een RFQ, de tijd die het kost om een order aan te maken en te versturen en de tijd die verder nog wordt gebruikt voor contact met de leveranciers. Aan de hand hiervan zijn de kosten voor het plaatsen van een order gesteld op €200. Wanneer de vraag tijdens de levertijd groter is dan de veiligheidsvoorraad en er een spoedorder moet worden geplaatst kost het naar verwachting €50 extra door bijvoorbeeld hogere transportkosten en ander werk dat moet worden uitgesteld. Vervolgens kunnen we bepalen wat het service level en de hoogte van de veiligheidsvoorraad is.

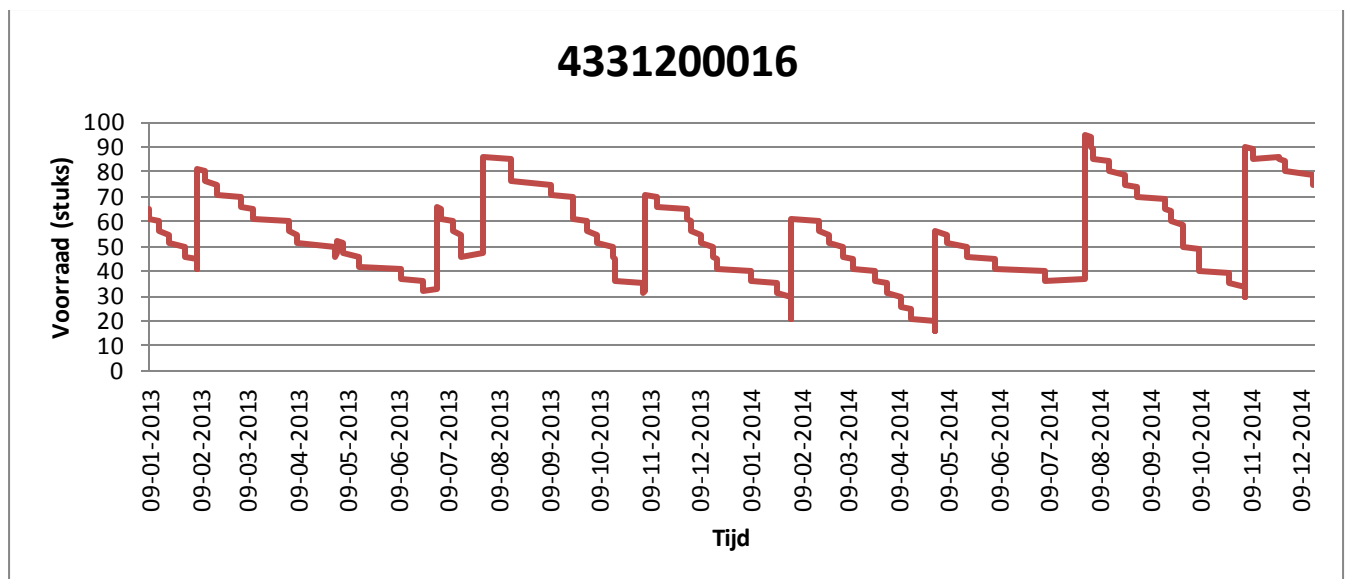
De formules die gebruikt worden bij deze berekeningen zijn reeds besproken in 2.3.3.

5.2.1 Uitgewerkt voorbeeld I.

We zullen twee voorbeelden kiezen waar we de optimale bestelstrategie voor zullen berekenen. Het eerste voorbeeld is een MRP gestuurd deel, het tweede voorbeeld een Kanban gestuurd deel.

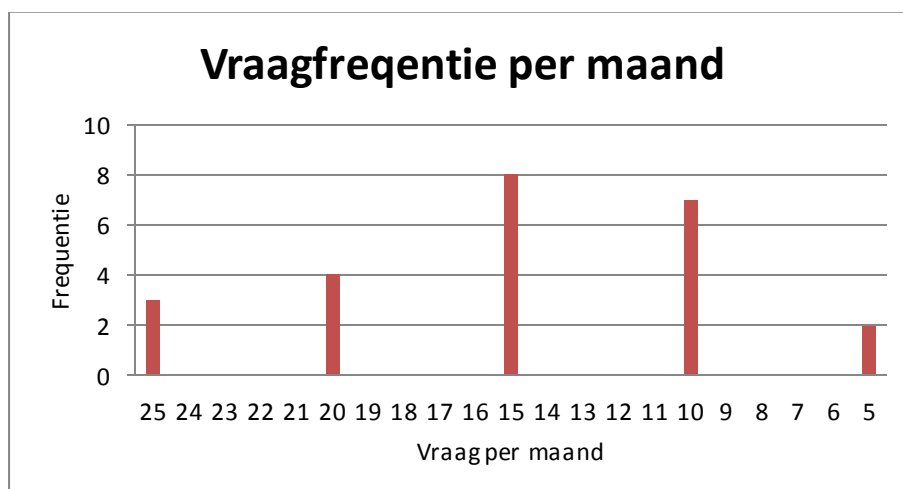
Voorbeeld 1: artikel met artikelnummer 4331200016 (MRP gestuurd).

Dit artikel is een MRP artikel dat één keer per kwartaal wordt besteld. Figuur 9 laat zien hoe het voorraadverloop van dit artikel eruit ziet. Hier is duidelijk te zien dat er vier keer per jaar een order wordt geplaatst.



Figuur 9. Voorraadverloop van artikel 4331200016.

Van dit artikel was er geen verbruik in 2010. De gemiddelde jaarvraag wordt daarom berekend aan de hand van de vraag in de laatste vier jaar. Bovendien is de vraag normaal verdeeld (Figuur 10).



Figuur 10. Vraagfrequentie.

De vraag in de afgelopen vier jaar was voor dit artikel als volgt:

Jaar	Vraag
2014	165
2013	185
2012	158
2011	130

De gemiddelde vraag per jaar is: $\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = \frac{(165+185+158+130)}{4} = 159,5 \text{ stuks}$

De gemiddelde vraag per jaar kan ook berekend worden met een standaardfunctie in Excel (AVERAGE).

De standaardafwijking van de vraag per jaar is:

$$\sigma_D = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{(165 - 159,5)^2 + (185 - 159,5)^2 + (158 - 159,5)^2 + (130 - 159,5)^2}{4 - 1}}$$

$$= \sqrt{\frac{30,25 + 650,25 + 2,25 + 870,25}{3}} = 22,75 \text{ stuks}$$

De standaardafwijking van de vraag per jaar kan ook berekend worden met een standaardfunctie in Excel (STDEV).

De levertijd van dit artikel blijkt bij de laatste drie orders gemiddeld 4,23 weken te zijn geweest. We kijken naar de vraag en kosten per jaar, dus ook de levertijd moet in fractie van een jaar worden uitgedrukt. Een levertijd van 4,23 weken is $\frac{4,23}{52} = 0,082 \text{ jaar}$.

Zoals gezegd zijn de bestelkosten (K) gesteld op €200, de tekortkosten (c_B) zijn €250 en de voorraadkosten (h) zijn $0,06 \cdot \text{VVP}$. De VVP van dit artikel is €1318,40 dus $h = 0,06 \cdot 1318,40 = €79,10$. De tot nu toe bekende gegevens staan samengevat in Tabel 7.

Tabel 7. Gegevens van artikel 4331200016.

Verwachte jaarvraag (stuks)	E(D)	159,5
Standaardafwijking van de vraag per jaar	σ_D	22,75
Levertijd (fractie van een jaar)	L	0,082
Voorraadkosten (€/artikel/jaar)	h	79,10
Bestelkosten (€)	K	200
Tekortkosten (€)	c_B	250

Nu kunnen we met de EOQ formule een benadering maken van de optimale bestelgrootte voor dit artikel:

$$q = EOQ = \sqrt{\frac{2KD}{h}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 200 \cdot 159,5}{79,104}} = 28,4 \text{ stuks}$$

Het is dus optimaal om 29 stuks per keer te bestellen. Bij een verwachte jaarvraag van 159,5 stuks, worden er ($\frac{159,5}{28,4} \approx 6$) bestellingen per jaar geplaatst.

Aangezien we de vraag per jaar en bijbehorende standaarddeviatie hebben bepaald, kunnen we samen met de levertijd bepalen wat de vraag tijdens de levertijd is:

$$E(X) = L \cdot E(D) = 0,082 \cdot 159,5 = 13 \text{ stuks}$$

De bijbehorende standaarddeviatie is:

$$\sigma_x = \sqrt{L} \cdot \sigma_D = \sqrt{0,082} \cdot 22,75 = 6,5$$

Nu kunnen we uitrekenen hoe groot de kans is, dat de vraag tijdens de levertijd groter is dan de voorraad op het bestelmoment:

$$P(X \geq r) = \frac{h * q}{c_B * E(D)} = \frac{79,104 * 28,4}{250 * 159,5} = 0,056 = 5,6\%$$

Dit betekent dat SLM3, de kans op geen stockout tijdens een bestelcyclus, gelijk is aan :

$$1 - P(X \geq r) = 1 - 0,056 = 0,944 = 94,4\%$$

De inkoper plaatst een bestelling wanneer de voorraad het niveau r bereikt, het bestelmoment. Het bestelmoment r wordt als volgt berekend als de vraag normaal verdeeld is:

$$r = NORMINV(SLM3, E(X), \sigma_X) = (NORMINV(0,944; 13; 6,5) = 23,3 \text{ stuks})$$

Het bestelmoment ligt dus op 24 stuks.

De veiligheidsvoorraad kan berekend worden met de volgende formule:

$$VV = r - E(X) = 23,3 - 13 = 10,3 \text{ stuks}$$

We weten nu dat de inkoper een bestelling van 29 stuks moet plaatsen, wanneer het voorraadniveau is gedaald tot 24. De kans dat er geen stockout is tijdens een bestelcyclus is 0,944 oftewel, 94,4%. We moeten de z-score opzoeken van 0,944. In de z-score tabel van Bijlage 8 is te vinden dat 0,944 een z-score oplevert van 1,59. De z-score is ook te berekenen:

$$z = \frac{(r - E(X))}{\sigma_X} = \frac{(23,3 - 13)}{6,5} = 1,59$$

Vervolgens bepalen we de Normal Loss Function van deze waarde met tabel 13 in Hoofdstuk 16 van het boek van Winston (2003).

$$NL(1,59) = 0,02380$$

Hiermee kan het verwachte tekort $E(B_r)$ worden bepaald.

$$E(B_r) = \sigma_X NL\left(\frac{r - E(X)}{\sigma_X}\right) = 6,5 * 0,02380 = 0,15 \text{ stuks per bestelcyclus}$$

Naast SLM3 is er ook SLM1, dit is een service level wat aangeeft wat de fill rate is, het verwachte percentage van de vraag dat uit voorraad geleverd kan worden.

$$SLM1 = \left(1 - \frac{E(B_r)}{q}\right) = \left(1 - \frac{0,15}{28,4}\right) = 0,995 = 99,5\%$$

Samengevat is voor dit artikel de optimale bestelstrategie als volgt:

Tabel 8. Optimale bestelstrategie artikel 4331200016.

Bestelmoment	r	24 stuks
Bestelgrootte	q	29 stuks
Veiligheidsvoorraad	VV	11 stuks
Gemiddelde voorraad		24 stuks
Aantal bestellingen per jaar		6 bestellingen

Nu hebben we alle gegevens die benodigd zijn om de totale kosten uit te rekenen. De totale kosten per jaar bestaan uit drie delen: bestelkosten per jaar, voorraadkosten per jaar en tekortkosten per jaar.

$$\text{Bestelkosten per jaar} = K * \frac{E(D)}{q} = 200 * \frac{159,5}{28,4} = \text{€}1.123,26$$

$$\text{Voorraadkosten per jaar} = h * \left(\frac{q}{2} + VV \right) = 79,104 * \left(\frac{28,4}{2} + 10,3 \right) = \text{€}1.938,31$$

$$\text{Tekortkosten per jaar} = c_B * E(B_r) * \frac{E(D)}{q} = 250 * 0,15456915 * \frac{159,5}{28,4} = \text{€}217,06$$

De totale kosten voor dit artikel: $1.123,26 + 1.938,31 + 217,06 = \text{€}3.278,62$ per jaar.

Ook de totale kosten in de huidige situatie (R,S-model) zijn berekend. Dit is op dezelfde manier berekend zoals in bovenstaande situatie. Echter dienen we bij het R,S-model rekening te houden met de vraag tijdens de levertijd *plus* de vraag tijdens de reviewperiode.

De service levels voor dit artikel in de huidige situatie zijn: SLM1: 97,7% en SLM3: 92,1%

De kosten in de huidige situatie voor dit artikel zijn als volgt (volgens de formules van 2.3.4):

Er wordt vier keer per jaar een bestelling geplaatst, dit levert bestelkosten op van $4 * 200 = \text{€}800$

$$\text{Bestelkosten per jaar} = \text{€}800$$

De voorraadkosten per jaar zijn:

$$\text{Voorraadkosten per jaar} = \text{€}3.038$$

Het verwachte tekort $E(B_s) = 0,47$. De tekortkosten zijn:

$$\text{Tekortkosten per jaar} = 250 * \frac{0,47}{0,25} = \text{€}470$$

De totale kosten per jaar voor dit artikel zijn: $800 + 3.038 + 470 = \text{€}4.308$

Hieruit volgt:

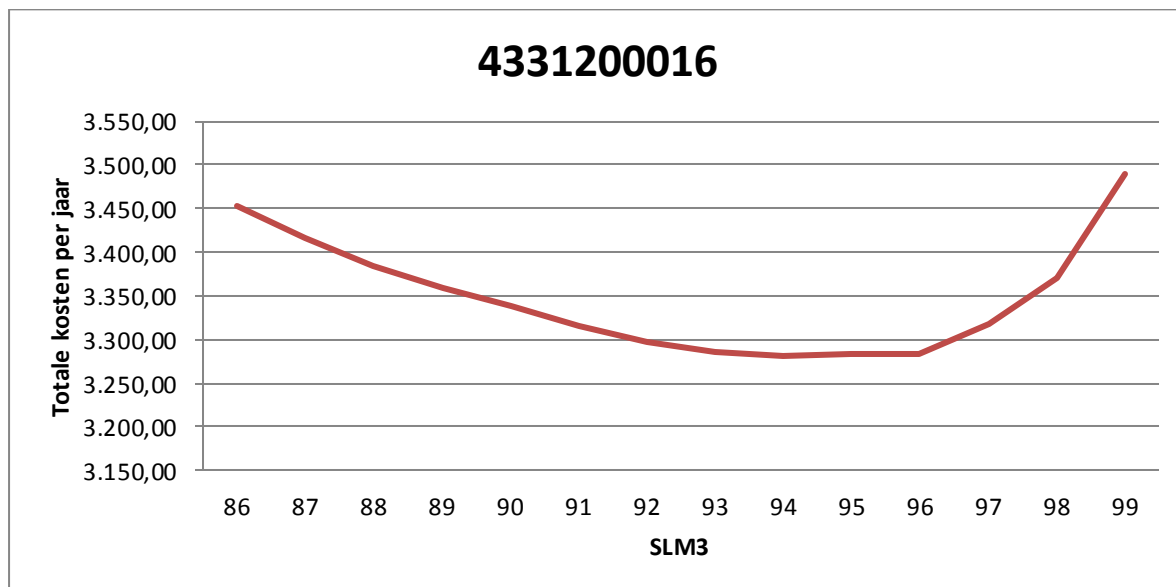
Totaalkosten per jaar huidige situatie (€):	4.308
Totaalkosten per jaar nieuwe situatie (€):	3.279
Verschil (€)	1.030

De gemiddelde voorraad blijkt in de huidige situatie 50 stuks te zijn. Dit is berekend aan de hand van werkelijke voorraadgegevens. De gemiddelde voorraad is berekend door op de 15^e dag van elke maand de voorraadstand te bekijken. Deze voorraadwaarde gedeeld door de VVP levert het gemiddelde voorraadniveau op. Het blijkt dat de gemiddelde voorraad van dit artikel kan worden verlaagd met 51%, naar 24 stuks. Dit levert bovendien een kostenbesparing op van €1.030 per jaar. Daarnaast stijgen beide service levels (SLM1 en SLM3). In Tabel 9 is een overzicht te zien met gegevens over de huidige bestelsituatie en de nieuwe situatie.

Tabel 9. Overzicht artikel 4331200016.

	Huidige situatie	Nieuwe situatie
Bestelhoeveelheid q	40 stuks	28 stuks
Aantal bestellingen per jaar	4 keer	6 keer
Gemiddelde voorraad	50 stuks	24 stuks
SLM1	97,7%	99,5%
SLM3	92,1%	94,4%
Totaalkosten	€4.308	€3.279

Aeronamic heeft te maken met eisen van leveranciers en klanten. Daarom kunnen of willen zij de optimale bestelstrategie, zoals hierboven is beschreven, niet altijd uitvoeren (als dit bijvoorbeeld een laag service level tot gevolg heeft). Daarom is het ook mogelijk om voor de inkoper aan te geven hoe hoog het service level (SLM3) mag zijn. Voor dit artikel hebben we uitgerekend wat de totale kosten per jaar zijn, bij verschillende service levels. Een overzicht hiervan is te zien in Figuur 11. Nu is de kans dat de vraag groter is dan de levertijd niet berekend, maar bepaald door de inkoper, aan de hand hiervan worden de veiligheidsvoorraad, het bestelpunt en de totaalkosten berekend. In Figuur 11 is te zien dat de kosten het laagst liggen bij een SLM3 van 94,4, zoals hiervoor berekend. Echter is ook te zien dat de kosten tot een SLM3 van 96% vrijwel gelijk blijven. Op basis hiervan kan de inkoper er bijvoorbeeld voor kiezen om een SLM3 van 96% aan te houden, met de bijbehorende veiligheidsvoorraad en bestelmoment.

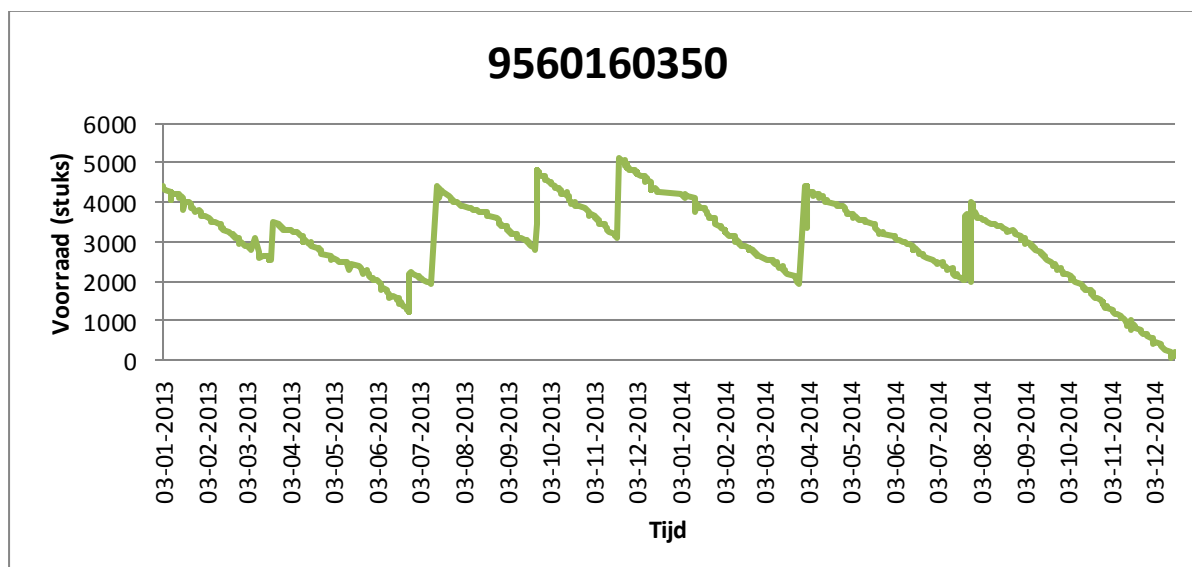


Figuur 11. Totaalkosten en SLM3 van artikel 4331200016.

5.2.2 Uitgewerkt voorbeeld II.

Artikel met artikelnummer 9560160350 (Kanban gestuurd).

Ook voor de eerste vijf Kanban gestuurde artikelen uit de ABC voorraad analyse is de optimale bestelstrategie bepaald. Dit artikel is daar een voorbeeld van. Het voorraadverloop van dit artikel is te zien in Figuur 12.



Figuur 12. Voorraadverloop van artikel 9560160350.

De gemiddelde jaarvraag van dit artikel wordt berekend aan de hand van de jaarvraag van de afgelopen vijf jaar:

Jaar	Vraag
2014	8.646
2013	8.617
2012	8.016
2011	7.596
2010	6.217

De gemiddelde vraag per jaar is:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = \frac{(8.646 + 8.617 + 8.016 + 7.596 + 6.217)}{5} = 7.818,4 \text{ stuks}$$

De standaardafwijking van de vraag per jaar is:

$$\sigma_D = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$= \sqrt{\frac{(8.646 - 7.818)^2 + (8.617 - 7.818)^2 + (8.016 - 7.818)^2 + (7.596 - 7.818)^2 + (6.217 - 7.818)^2}{5 - 1}}$$

$$= 997 \text{ stuks}$$

De gemiddelde levertijd van dit artikel blijkt 12,4 weken te zijn, dit is $\frac{12,4}{52} = 0,24 \text{ jaar}$.

De bestelkosten (K) en tekortkosten (c_B) blijven gelijk, €200 en €250.

De voorraadkosten (h) zijn wederom 6% van de VVP: $0,06 * 5,32 = 0,3192$ euro per artikel per jaar.

Nu kunnen we met de EOQ formule de optimale bestelgrootte berekenen voor dit artikel:

$$q = EOQ = \sqrt{\frac{2KD}{h}} = \sqrt{\frac{2 * 200 * 7.818}{0,3192}} = 3.130,09 \text{ stuks}$$

Het is dus optimaal om 3.130 stuks per keer te bestellen. Bij een verwachte jaarvraag van 7.818 stuks, worden er ($\frac{7.818,4}{3.130,09} \approx 3$) 3 bestellingen per jaar gemaakt.

Aangezien we de vraag per jaar en bijbehorende standaarddeviatie hebben bepaald, kunnen we samen met de levertijd bepalen wat de vraag tijdens de levertijd is:

$$E(X) = L * E(D) = 0,23901 * 7.818 = 1.868,68 \text{ stuks}$$

De bijbehorende standaarddeviatie is:

$$\sigma_x = \sqrt{L} * \sigma_D = \sqrt{0,23901} * 996,95 = 487,4 \text{ stuks}$$

Nu kunnen we uitrekenen hoe groot de kans is, dat de vraag tijdens de levertijd groter is dan de voorraad op het bestelmoment:

$$P(X \geq r) = \frac{h * q}{c_B * E(D)} = \frac{0,3192 * 3.130,09}{250 * 7.818,4} = 0,00051$$

Dit betekent dat SLM3, de kans op geen stockout tijdens een bestelcyclus, gelijk is aan:

$$1 - P(X \geq r) = 1 - 0,9949 = 0,9949 = 99,5\%$$

De inkoper plaatst een bestelling wanneer de voorraad het niveau r bereikt, het bestelmoment. Het bestelmoment r wordt als volgt berekend:

$$r = \text{NORMINV}(\text{SLM3}, E(X), \sigma_X) = (\text{NORMINV}(0,9949; 1.868,68; 487,4) = 3.469,45 \text{ stuks}$$

Het bestelmoment ligt dus op 3.469 stuks.

De veiligheidsvoorraad kan berekend worden met de volgende formule:

$$VV = r - E(X) = 3.469,45 - 1.868,89 = 1.601 \text{ stuks}$$

We weten nu dat de inkoper een bestelling van 3.130 stuks moet plaatsen, wanneer het voorraadniveau is gedaald tot 3.469 stuks. De kans dat er geen stockout is tijdens een bestelcyclus is 0,9949 oftewel, 99,5%.

We moeten de z-score opzoeken van 0,9949 in de z-score tabel van Bijlage 8 is te vinden dat 0,9949 een z-score oplevert van 3,28. De z-score is ook te berekenen:

$$z = \frac{(r - E(X))}{\sigma_X} = \frac{(3.469,45 - 1.868,86)}{487,4} = 3,28$$

Vervolgens bepalen we de Normal Loss Function van deze waarde met tabel 13 in Hoofdstuk 16 van het boek van Winston (2003):

$$NL(3,28) = 0,00014$$

Hiermee kan het verwachte tekort $E(B_r)$ worden bepaald.

$$E(B_r) = \sigma_X NL\left(\frac{r - E(X)}{\sigma_X}\right) = 487,4 * 0,00014 = 0,06692 \text{ stuks per bestelcyclus.}$$

Ook SLM1 kan nu worden berekend:

$$SLM1 = \left(1 - \frac{E(B_r)}{q}\right) = \left(1 - \frac{0,06692}{3.130,09}\right) = 0,999 = 99,9\%$$

In dit geval is de gemiddelde voorraad:

$$\text{Gemiddelde voorraad} = VV + \frac{q}{2} = 1.601 + \frac{3.130}{2} = 3.166 \text{ stuks}$$

Samengevat is voor dit artikel de optimale bestelstrategie als volgt:

Tabel 10. Optimale bestelstrategie voor artikel 9560160350.

Bestelmoment	r	3.469 stuks
Bestelgrootte	q	3.130 stuks
Veiligheidsvoorraad	VV	1.601 stuks
Gemiddelde voorraad		3.166 stuks
Aantal bestellingen per jaar		3 bestellingen

Nu hebben we alle gegevens die nodig zijn om de totale kosten per jaar uit te rekenen:

$$\begin{aligned} \text{Bestelkosten per jaar} &= K * \frac{E(D)}{q} = 200 * \frac{7.818,4}{3.130,09} = \text{€}499,56 \\ \text{Voorraadkosten per jaar} &= h * \left(\frac{q}{2} + VV\right) = 0,3192 * \left(\frac{3.130}{2} + 1.601\right) = \text{€}1.010,53 \\ \text{Tekortkosten per jaar} &= c_B * E(B_r) * \frac{E(D)}{q} = 250 * 0,06692 * \frac{7.818,4}{3.130,09} = \text{€}41,79 \end{aligned}$$

De totale kosten per jaar zijn voor dit artikel: 499,56 + 1.010,53 + 41,79 = €1.551,88

De gemiddelde voorraad is, in de nieuwe situatie, berekend op 3.166 stuks. Op dit moment liggen er gemiddeld 3.900 stuks op voorraad. Het gemiddelde voorraadniveau wordt in de nieuwe situatie met 19% verhoogd. Echter, hieronder zal blijken dat de totale kosten per jaar zullen dalen.

De huidige niveaus op het Kanbankkaartje van dit artikel zijn als volgt:

VV (voorraad achter rode kaartje)	1.400
r (voorraad achter groene kaartje)	2.700
q (bestelhoeveelheid)	5.000

De bestelkosten per jaar zijn dan:

$$\text{Bestelkosten per jaar} = 200 * \frac{7.818,4}{5.000} = €312,74$$

De voorraadkosten per jaar zijn:

$$\text{Voorraadkosten per jaar} = €1.244,88$$

En de tekortkosten, met $E(B_r)=8,7$

$$\text{Tekortkosten} = 250 * 8,7 * \frac{7.818,4}{5.000} = €3.401,03$$

De totale kosten per jaar voor dit artikel in de huidige situatie zijn:

$$312,74 + 1.244,88 + 3.401,03 = €4.958,56$$

Totaalkosten per jaar huidige situatie (€):	4.959
Totaalkosten per jaar nieuwe situatie (€):	1.552
Verschil (€)	3.407

Het blijkt dat de gemiddelde voorraad van dit artikel volgens de theorie moet stijgen met 19%. Dit levert een kostenbesparing op van €3.407 per jaar.

Het verhogen van de gemiddelde voorraad met 19% heeft de volgende consequenties:

Tabel 11. Overzicht artikel 9560160350.

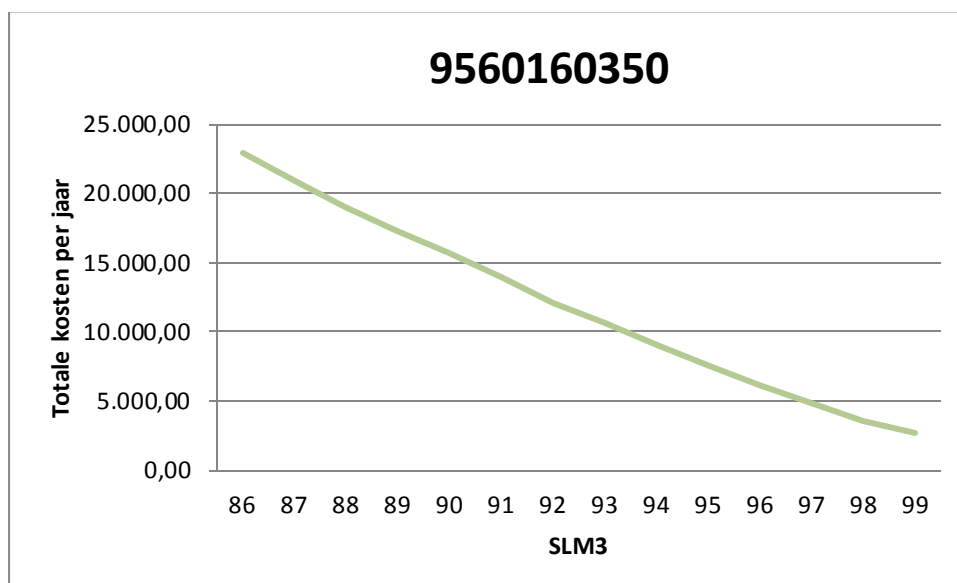
	Huidige situatie	Nieuwe situatie
Bestelhoeveelheid q	5.000 stuks	3.130 stuks
Aantal bestellingen per jaar	2 keer	3 keer
Gemiddelde voorraad	3.900 stuks	3.166 stuks
SLM1	99,8%	99,9%
SLM3	95,6%	99,9%
Totaalkosten	€4.959	€1.552

Het Kanbankkaartje zou moeten worden aangepast, met de volgende waarden:

VV (voorraad achter rode kaartje)	1.601
r (voorraad achter groene kaartje)	3.469
q (bestelhoeveelheid)	3.130

Deze waarden zullen vermoedelijk niet exact worden gebruikt. Zowel bij het bestellen als het uittellen van het artikel is het logischer een VV van 1.600 aan te houden en het bestelmoment r te verplaatsen naar 3.470 stuks.

Ook voor deze artikelen is berekend hoe hoog de totale kosten zijn bij een bepaald service level (SLM3), dit is te zien in Figuur 13.



Figuur 13. Totaalkosten en SLM3 van artikel 9560160350.

Het blijkt dat voor dit Kanban gestuurde deel de kosten dalen, naarmate het service level hoger wordt. Dit is te verklaren doordat een stockout €250 kost, tegenover voorraadkosten van $0,06 \times \text{VVP}$. Aangezien de VVP van de Kanban gestuurde artikelen laag is, is het goedkoper een hoge voorraad aan te houden (en dus een hoog service level), dan een lage voorraad aan te houden met een hogere kans op een stockout.

5.3 Conclusie

Als voor de 27 geanalyseerde MRP gestuurde delen volgens de beschreven strategie wordt besteld, levert dit de volgende resultaten op:

Totale kosten per jaar huidige situatie (€):	122.285
Totale kosten per jaar nieuwe situatie (€):	95.398
Vershil (€):	26.887
Gemiddelde voorraadwaarde huidige situatie (€):	1.376.864
Gemiddelde voorraadwaarde nieuwe situatie (€):	985.697
Vershil (€):	391.167
Vershil (%):	28
Gemiddeld aantal op voorraad huidige situatie:	48.196
Gemiddeld aantal op voorraad nieuwe situatie:	21.191
Vershil (stuks):	27.005
Vershil (%):	56
Gemiddeld SLM3 huidige situatie (%)	91,1
Gemiddeld SLM3 nieuwe situatie (%)	93,3

De artikelen met het hoogste verbruik en de hoogste gemiddelde voorraad (de genoemde 27 artikelen) blijken allemaal MRP gestuurde delen te zijn. Om een beeld te geven van de Kanban gestuurde delen, is voor de vijf Kanban delen die het hoogst in de ABC analyse lijst voorkomen de optimale bestelstrategie bepaald. Hieruit blijkt het volgende:

Totale kosten per jaar huidige situatie (€):	116.793
Totale kosten per jaar nieuwe situatie (€):	6.441
Verschil (€):	110.352
Verschil (%):	94,4
Gemiddelde voorraadwaarde huidige situatie (€):	77.481
Gemiddelde voorraadwaarde nieuwe situatie (€):	66.687
Verschil (€):	10.794
Verschil (%):	14
Gemiddeld aantal op voorraad huidige situatie:	8.190
Gemiddeld aantal op voorraad nieuwe situatie:	8.307
Verschil (stuks):	117
Verschil (%):	1,4
Gemiddeld SLM3 huidige situatie (%)	93,4
Gemiddeld SLM3 nieuwe situatie (%)	99,4

Hierbij dient te worden vermeld dat de enorme besparing bij de totale kosten per jaar het gevolg is van zeer hoge tekortkosten voor één van de Kanban gestuurde delen (zie Tabel 12).

Nu kunnen we ook naar de omloopsnelheden gaan kijken. Bij de genoemde 27 artikelen worden voor het berekenen van de gemiddelde omloopsnelheid vijf artikelen buiten beschouwing gelaten. Dit zijn artikelen met een uitzonderlijk hoge omloopsnelheid, bijvoorbeeld door afspraken met de leverancier of juist doordat de leverancier te weinig levert. Er is bijvoorbeeld een artikel waar structureel tekort van is. De artikelen die binnen komen worden direct gebruikt voor de productie, waardoor de omloopsnelheid erg hoog is. Om een reëel beeld te krijgen worden deze artikelen buiten beschouwing gelaten.

De omloopsnelheid van de 27 artikelen is in de huidige situatie al hoger dan de gemiddelde omloopsnelheid. Dit komt doordat Aeronamic de dure delen al beter en vaker monitort. Echter, bij de nieuwe methode is de gemiddelde omloopsnelheid nog gestegen van 3,28 naar 4,96. Voor omloopsnelheden per artikel, zie Bijlage 9.

Hoofdstuk 6 - Conclusie en aanbevelingen

In dit hoofdstuk wordt in paragraaf 6.1 de conclusie gegeven en daarmee wordt de hoofdvraag van dit onderzoek beantwoord. In paragraaf 6.2 worden aanbevelingen gegeven over de overige beïnvloedbare problemen uit de probleemkluwen.

6.1 Conclusie

In Tabel 12 is een overzicht gegeven van alle geanalyseerde artikelen. Bij alle artikelen levert de nieuwe bestelstrategie een besparing in kosten op. Voor enkele artikelen is het huidige voorraadniveau lager dan de berekende gemiddelde voorraad. Dit is vaak het geval wanneer er regelmatig tekort is van een artikel of wanneer er bepaalde afspraken zijn met leveranciers. Soms kan de leverancier de orders niet aan en levert zo veel als hij kan, maar Aeronamic heeft meer nodig dus de voorraad wordt meteen verbruikt. Hierdoor is de gemiddelde voorraad erg laag en de omloopsnelheid erg hoog.

Tabel 12. Overzicht besparingen per artikel.

Artikelnummer	Huidige totale kosten (€/jr)	Nieuwe totale kosten (€/jr)	Verschil Totale kosten (€/jr)	Huidige gemiddelde voorraad (stuks)	Nieuwe gemiddelde voorraad (stuks)	K(anban) of M(RP)
4331201383	8.234,07	6.136,11	2.097,97	3	12*	M
5053-198-001-1	13.605,97	10.945,16	2.660,81	16	12	M
3503906-901	5.294,35	3.796,93	1.497,43	19	26	M
3500372-111	5.909,30	4.262,00	1.647,29	102	133*	M
5053-141-001-1	8.258,97	7.825,84	433,13	98	120	M
3504749-1	5.285,53	4.048,44	1.237,09	53	40	M
4331200016	4.308,15	3.278,62	1.029,52	50	25	M
3504420-901	5.051,98	3.790,49	1.261,49	128	48	M
3504779-1	8.064,85	6.878,93	1.185,92	261	134	M
3822099-1	4.016,43	3.569,03	447,39	143	70	M
2331202460	5.285,98	3.899,22	1.386,75	11	28**	M
4331201606	3.019,26	2.499,80	519,47	85	20	M
204908-10	3.457,38	3.214,37	243,01	1	4*	M
3504751-1	3.663,87	2.473,59	1.190,28	47	34	M
0331201830/VB	3.251,21	2.511,18	740,02	12	21*	M
4331200466	3.248,36	2.571,59	676,76	40	34	M
3179955-2	2.941,31	2.671,22	270,09	73	63	M
3179456-1	3.028,49	2.681,91	346,59	64	49	M
3057	6.983,16	3.325,21	3.657,95	3.201	20.011**	M
681634-4	3.091,97	2.762,83	329,14	6	7	M
3508029-1	3.671,13	3.216,71	454,42	155	89	M
3822566-1	956,82	327,32	629,50	119	7	M
361666-1	1.096,93	845,63	251,30	95	14	M
3183449-2	4.413,83	3.361,72	1.052,11	106	88	M
361651-1	1.139,87	917,72	222,15	77	14	M
3508030-2	1.911,99	1.577,89	334,10	149	53	M
3184380-5	3.094,14	2.008,52	1.085,62	66	33	M
9560160350	4.958,65	1.551,88	3.406,77	3.900	3.166	K
MS51830CA202L	107.548,80	1.428,29	106.120,51	1.050	2.974*	K
572-8510-9008	1.478,85	1.260,41	218,45	90	64	K
362-599-9154	1.178,92	898,80	280,12	150	98	K
0331202630	1.627,61	1.301,87	325,75	3.000	2.006	K

*Voorraad is regelmatig op

** Speciale afspraken met leverancier

In het vorige hoofdstuk is beschreven, hoe per artikel kan worden bepaald wat de optimale bestelstrategie is. Ook de hoogte van de voorraad en de verwachte tekortkosten kunnen worden berekend. Op deze manier zou voor alle type A artikelen uit de ABC voorraad classificatie moeten worden bepaald wanneer en hoeveel er besteld dient te worden. Het blijkt dat wanneer er voor de 27 geanalyseerde onderdelen wordt besteld volgens deze methode, de totale jaarlijkse kosten, de gemiddelde voorraadwaarde en het gemiddeld aantal artikelen dat op voorraad ligt zal dalen. Voor de 27 artikelen blijkt dat de totale voorraadwaarde met 28% zal dalen wanneer er volgens de nieuwe methode wordt besteld. Daarmee zullen ook de totale kosten per jaar dalen met ruim €26.000. Ook voor de Kanban gestuurde delen dalen de jaarlijkse totale kosten, hoewel de grootste besparing is behaald bij één artikel. De tekortkosten van dit artikel waren erg hoog omdat er regelmatig een tekort van het artikel was. Hoewel de voorraad in aantallen stijgt, daalt de voorraadwaarde. Het stijgen van de voorraad in aantallen is vooral veroorzaakt door artikel met artikelnummer 3057. Dit is één van de artikelen waarover een afspraak is met de leverancier. Hierdoor is de gemiddelde voorraad zo'n 3.000 stuks, terwijl er volgens de theorie ruim 20.000 zouden moeten liggen. Dankzij de afspraken met de leverancier is de levering van dit artikel erg snel en betrouwbaar, waardoor de voorraad laag kan worden gehouden.

Over het algemeen blijkt dat vooral van de duurdere onderdelen ($>€1.000$) de gemiddelde voorraad volgens de theorie moet stijgen. Over sommige van deze artikelen zijn afspraken gemaakt met de leverancier, waardoor de inkopers een afwijkende bestelstrategie hebben.

Voor de goedkope Kanban gestuurde delen ($<€10$) kan over het algemeen de gemiddelde voorraad in stuks veel worden verlaagd. Ondanks dat de prijzen van deze onderdelen laag zijn, levert dit toch een flinke besparing op in voorraadwaarde. Bijvoorbeeld artikelnummer 9560160350. Dit artikel kost €5,32. Volgens de theorie kan de gemiddelde voorraad met 734 stuks dalen. De gemiddelde voorraad zal daarmee met bijna €4.000 dalen. Voor de Kanban gestuurde delen blijkt daarnaast dat vooral de huidige veiligheidsvoorraden te hoog zijn. Aangezien de levertijden van de Kanban gestuurde delen laag zijn, is een veiligheidsvoorraad van drie maand niet noodzakelijk.

Voor de overige delen kan een kleine besparing in aantallen worden behaald. Aangezien de prijs van deze artikelen enkele honderden euro's is, levert ook dit een flinke verlaging van de gemiddelde voorraad(waarde) op. Bijvoorbeeld artikelnummer 3184380-5. De gemiddelde voorraadwaarde van dit artikel zou met 33 stuks kunnen dalen. De prijs van dit artikel is €608 waardoor de gemiddelde voorraadwaarde met ruim €20.000 zal dalen. Het verhogen van de voorraad van de duurdere delen is minder dan de verlaging van de goedkope delen, waardoor de totale gemiddelde voorraad daalt.

Daarnaast is te zien dat de voorraad in aantallen van een artikel hoger is bij een lagere prijs. Aangezien de voorraadkosten zijn gesteld op 6% van de VVP, is het op voorraad houden van deze artikelen erg goedkoop. Wanneer er een tekort is van een artikel kost dit €250. Het is dus goedkoper om veel op voorraad te houden, dan een lage voorraad aan te houden met een grotere kans op een tekort. Voor de goedkope delen is het dan ook duur om een laag servicelevel aan te houden. Voor artikelen met een VVP van groter dan €4.167 stijgen de kosten naarmate SLM3 stijgt. De voorraadkosten voor deze artikelen zijn namelijk groter dan de tekortkosten ($0,06 \cdot 4.167 = €250$).

De hoofdvraag binnen dit onderzoek was:

'Welke mogelijkheden zijn er om de voorraden binnen Aeronamic te verlagen zonder dat het serviceniveau wordt aangetast?'

Met de methode, beschreven in Hoofdstuk 5, kan voor elk artikel de optimale bestelstrategie worden bepaald. Wanneer de inkopers gaan bestellen volgens de nieuwe strategie zal de voorraad in waarde dalen, terwijl het service level van de bekeken 27 artikelen stijgt. Bovendien dalen de totale jaarlijkse kosten (bestelkosten, voorraadkosten en tekortkosten).

6.2 Aanbevelingen

Aeronamic zou voor alle type A artikelen (uit de ABC voorraad classificatie) de optimale bestelstrategie moeten berekenen. De in Hoofdstuk 5 beschreven methode is echter nog niet de manier zoals deze ook in de praktijk zou worden toegepast. Voor elk artikel moet een individuele bestelstrategie worden bepaald. Per artikel moet worden bekeken wat de exacte levertijd, bestelkosten en tekortkosten zijn. Daarnaast moet worden gekeken of het artikel vaak met andere artikelen op een order wordt besteld en of de berekende niveaus kunnen worden toegepast:

- Bij het bepalen van de optimale bestelstrategie is de levertijd bepaald aan de hand van de gemiddelde levertijd van de laatste drie orders. Dit kan nog exacter worden bepaald. De levertijd zou eigenlijk per product/leverancier moeten worden bekeken. Soms zijn er afspraken met leveranciers over levertijden, of bieden leveranciers bepaalde vaste levertijden aan. Dan zou deze levertijd moeten worden gebruikt bij het bepalen van de strategie in plaats van de gemiddelde levertijd van de laatste drie orders.
- In de huidige strategie zijn de bestelkosten gesteld op €200. Ook hier moet per artikel worden bepaald of dit misschien hoger of lager ligt. Net als de tekortkosten, deze zijn gesteld op €250, maar kunnen per artikel verschillen.
- Daarnaast is het mogelijk de bestelstrategie voor de Kanban gestuurde delen verder te optimaliseren. Bij deze artikelen komt het namelijk regelmatig voor dat er een order wordt geplaatst waarin meerdere artikelen worden besteld. Dit zorgt voor lagere bestelkosten.
- De nieuwe voorraadmiveaus die op de Kanbankaartjes zouden moeten komen te staan moeten nog worden bekeken door de inkoper van het betreffende artikel. Wanneer volgens de theorie een VV van (zoals bij het voorbeeld) 1.601 stuks zou moeten worden aangehouden, kan de inkoper er waarschijnlijk beter voor kiezen een VV van 1.600 stuks aan te houden. Dit is eenvoudiger tijdens het uittellen van de voorraad. Daarnaast moet worden bekeken of de leverancier ook daadwerkelijk het berekende aantal wil leveren. Als voor een artikel is bepaald dat de optimale bestelhoeveelheid gelijk is aan 90, kan het zo zijn dat een leverancier eist dat er minimaal 100 stuks worden afgenomen. Dan kan men deze veranderingen invullen in de formules waaruit zal blijken wat de (financiële) gevolgen hiervan zijn. Naar aanleiding hiervan kan de inkoper zien of het voordeliger is om een hoeveelheid bijvoorbeeld naar boven of beneden af te ronden. Bovendien dienen de inputwaarden regelmatig te worden bijgewerkt. Wanneer de vraag of levertijd van een artikel verandert, heeft dit invloed op de bestelstrategie.
- Voor de Kanban gestuurde delen is het proces al zodanig ingericht dat de inkoper een signaal krijgt (in de vorm van een Kanbankaartje) wanneer de voorraad is gedaald tot het bestelmoment. Voor de MRP delen is dit nog niet ingericht. Ook hier zou men kunnen gaan werken met Kanbankaartjes. Daarnaast is het ook mogelijk aanpassingen in Isah te doen waardoor de inkoper een digitaal signaal krijgt wanneer de voorraad is gedaald tot het bestelmoment r.

We hebben voor Aeronamic een handleiding gemaakt waarin beschreven staat hoe zij voor elk artikel de optimale bestelstrategie kunnen berekenen.

Met bovenstaande methode zijn niet alle problemen uit de probleemkluwen opgelost. De overige aanbevelingen zijn als volgt:

- De push-pull boundary verplaatsen door consignment stock aan te houden.
- Overtollige voorraden verwijderen uit de paternosters.
- Afhandeling van voorraden van aflopende projecten.

- Duidelijke regels opstellen, communiceren en naleven.
- Vier voorraadtellings per jaar voor type A artikelen.
- Variabiliteit van de klantvraag verminderen door een patroon af te leiden uit de voorspellingen.
- Efficiëntere verdeling van de artikelen over de inkopers.
- Beter itembeheer door niet iedereen edit-rechten te geven.

Aeronamic houdt hoge voorraden aan door hun plaats in de keten, de push-pull boundary. De push-pull boundary kan worden verplaatst naar de leveranciers, zodat de voorraden bij Aeronamic kunnen worden verlaagd. Dit kan door consignment stock aan te gaan houden. De leverancier is dan eigenaar van de voorraden die bij Aeronamic liggen, tot het moment dat Aeronamic de voorraad gaat gebruiken in de productie. Hierbij is het essentieel dat de leverancier hier ook mee akkoord gaat. Zonder medewerking van de leverancier is dit niet te realiseren. Een kleine leverancier, waarvan Aeronamic een relatief grote klant is, zou consignment stock aan willen gaan houden om Aeronamic als klant te behouden. Grote bedrijven, waarbij Aeronamic relatief kleine orders plaatst, zijn waarschijnlijk niet bereid consignment stock aan te houden, omdat ze dat te weinig of niets op levert.

De overtollige voorraad kan in principe worden verwijderd uit de paternosters. Echter, het is noodzakelijk dat een medewerker (bij voorkeur de verantwoordelijke Programma Manager) deze lijst met artikelnummers bekijkt om te bepalen of deze artikelen daadwerkelijk kunnen worden verwijderd uit de voorraad. Het is namelijk mogelijk dat er toch nog vraag komt naar een bepaald eindproduct (en daarmee de inputvoorraad). Zolang deze eindproducten in het contract met de klant staan, moet Aeronamic deze producten kunnen leveren en moet daar dus inputvoorraad voor aanwezig zijn. De waarde van de overtollige voorraad is €400.385. Het kost $(0,06 * 400.385 =)$ €24.023 per jaar om deze artikelen op voorraad te houden.

Door de overtollige voorraad te verwijderen kan de waarde van de voorraad met maximaal 6,5% dalen. De waarde van de (vermoedelijk) overtollige voorraad is namelijk 6,5% van de waarde van de totale voorraad MRP en Kanban gestuurde delen. Een deel van de overtollige voorraad zou kunnen worden verkocht.

Aeronamic kan het aanhouden van voorraden voor nieuwe projecten niet vermijden. Wel zou de afhandeling van geannuleerde projecten beter moeten worden georganiseerd. Bovendien krijgt Aeronamic nu voor het eerst te maken met projecten die gaan aflopen. Over de bepaling en afhandeling van overtollige voorraad is nog onduidelijkheid. Er zijn op dit moment wel richtlijnen, maar deze zijn onduidelijk en/of worden niet goed nageleefd. Hiervoor zouden duidelijke richtlijnen en verantwoordelijkheden moeten worden opgesteld. Wanneer een bepaald project afloopt, is de Programma Manager verantwoordelijk voor het verwijderen van de voorraad. Hij moet een overleg organiseren waarbij van de afdelingen Inkoop, Logistiek en Productie één medewerker aanwezig is (uiteraard degene die het meest met het project te maken heeft). In dit overleg moet worden afgesproken wie welke stappen gaat ondernemen om de overtollige voorraad te verwijderen, zowel uit de paternosters als uit het systeem.

Zowel bij het verwijderen van overtollige voorraad als bij het afhandelen van geannuleerde of aflopende projecten is de Programma Manager verantwoordelijk voor het verwijderen van de voorraad. Hij dient in beide gevallen te bepalen of er voor de onderdelen geen contractuele verplichtingen meer zijn.

Ook bij het beheer van de niet-overtollige voorraad moeten duidelijke richtlijnen worden opgesteld over de verantwoordelijkheid van de voorraad. De inkoper is verantwoordelijk voor het bestellen van de artikelen. De inkoper bepaalt de bestelhoeveelheid, veiligheidsvoorraad en het bestelmoment van de artikelen. Bij binnenkomst van de goederen moet een medewerker van de afdeling Expeditie controleren of daadwerkelijk het juiste product is geleverd in de juiste aantallen. Is dit niet het geval, dan dient de expeditie-medewerker dit te rapporteren aan de inkoop-medewerker. Indien de juiste

aantallen geleverd zijn telt de medewerker van de afdeling Expeditie, indien het een Kanban gestuurd deel betreft, de voorraad uit volgens de niveaus op het Kanbankaartje. Vanaf dat moment zijn de medewerkers van de afdeling Productie verantwoordelijk voor de voorraad. Wanneer een medewerker een Kanbankaartje naar de inkoper brengt, moet hij eerst controleren of de juiste aantallen inderdaad nog op voorraad liggen. Op die manier hoeft de inkoper niet een dubbele controle uit te voeren of de voorraad daadwerkelijk op is.

Een tweede mogelijkheid is om het open voorraadsysteem te veranderen naar een gesloten systeem. Eén of twee medewerkers werken in dit magazijn en zijn verantwoordelijk voor de voorraad. De inkopers bepalen nog steeds de bestelhoeveelheden. De medewerkers in het magazijn zien er op toe dat de hoeveelheden die binnen komen ook juist zijn en dat de verbruikte voorraad wordt afgeboekt. Een groot deel van de fouten die in de huidige situatie kunnen worden gemaakt, wordt voorkomen met een gesloten voorraadsysteem.

Zoals gezegd wordt in een ander onderzoek onderzocht hoe de fouten in het voorraadbeheersingsproces ontstaan en voorkomen kunnen worden. Hieruit blijkt dat de regels en procedures die binnen Aeronamic gelden voor bijvoorbeeld het afboeken van de voorraad bekend zijn, maar niet altijd worden nageleefd. Bijvoorbeeld, wanneer de werknemers in de productie druk zijn, vergeten zij wel eens de voorraad af te boeken. Dit blijkt ook uit de voorraadtellingen die zijn gehouden. De voorraadverschillen fluctueren erg per afdeling en per jaar. Wanneer men met meer discipline de procedures volgt is het niet meer noodzakelijk extra hoge voorraden aan te houden.

Bovendien blijkt uit de ABC voorraad classificatie dat 20% van de artikelen een zeer hoge verbruikswaarde representeren (bijna 94%). Deze artikelen moeten extra goed gemonitord worden, in de vorm van voorraadtellingen. Deze artikelen dienen vier keer per jaar te worden geteld, in plaats van de huidige één keer per jaar. De paternoster moet, net als bij de huidige tellingen, worden afgesloten. Dit wil zeggen dat het niet meer mogelijk is voorraad uit de paternoster te halen of af te boeken in het systeem. De paternoster wordt pas weer vrijgegeven wanneer de voorraad is geteld en is bijgewerkt in het systeem. Het tellen van de voorraad moet worden gedaan door medewerkers van de productie. Zij zijn verantwoordelijk voor de voorraad wanneer het in de paternosters is geplaatst.

De voorspellingen van de klant veranderen regelmatig. Dit is ook één van de oorzaken van de hoge voorraad. Aeronamic zou kunnen kijken naar de historische vraag van de klant en hieruit eventueel een patroon afleiden. Op deze manier zouden de voorspellingen van de vraag minder variabel worden.

Daarnaast bleek tijdens mijn onderzoek dat de verdeling van de artikelen over de inkopers niet erg duidelijk is. Hierdoor is het mogelijk dat Inkoper 1 en Inkoper 2 beide een bestelling plaatsen bij dezelfde leverancier. De twee aparte bestellingen worden apart geleverd wat extra transportkosten met zich mee brengt. De artikelen zouden efficiënter moeten worden verdeeld over de inkopers, bijvoorbeeld door te selecteren op leverancier.

Daarnaast ben ik er tijdens mijn onderzoek achter gekomen dat het 'itembeheer' binnen het ERP systeem niet goed is georganiseerd. Er zijn veel mensen die zogenaamde edit-rechten hebben, dit wil zeggen dat zij velden in het systeem kunnen aanpassen. Velden kunnen dus door verschillende medewerkers worden gevuld of gewijzigd. Op deze manier komen er verschillende notaties en werkwijzen voor die het zoeken naar informatie over een artikel moeilijker maken. Wanneer minder mensen edit-rechten zouden hebben, moeten zij aan iemand mét edit-rechten vragen een veld aan te passen. Op deze manier worden de velden consequent gevuld.

Bibliografie

- Aeronamic. (2015). Opgeroepen op Mei 2015, van <http://www.aeronamic.com/>
- Autodesk. (2009). Opgeroepen op Mei 11, 2015, van http://images.autodesk.com/adsk/files/aerospace_whitepaper_color_us_1_.pdf
- Beerens, H. (2014, augustus 18). *Supply chain*. Opgeroepen op mei 2015, van Logistiek.com: <http://www.logistiek.nl/supply-chain/nieuws/2010/8/omloopsnelheid-is-meest-gebruikte-kpi-bij-voorraadbeheer-10134420>
- Donk, D. P. (2001). Make to stock or make to order: The decoupling point in the food processing industries. *International journal of production economics*, 298.
- Durlinger, P. (2013). *Effectief voorraadbeheer - Een stappenplan* -. Posterholt: Durlinger Consultancy.
- Durlinger, P. (2013). *Veiligheidsvoorraden berekenen*. Posterholt: Durlinger Consultancy.
- Heerkens, H., & Van Winden, A. (2012). *Geen probleem. Een aanpak voor alle bedrijfskundige vragen en mysteries*. Nieuwegein: Van Winden Communicatie.
- Kleisen, H. (2005). *Surviving the up- and downswings in the value chain of Urenco Aerospace B.V.: SCM*. Tias Business School.
- Koophandel, K. v. (2014). *Ondernemers Plein*. Opgeroepen op Juni 2015, van Uw financiën onder controle: <http://www.ondernemersplein.nl/ondernemen/geldzaken/uw-financien-onder-controle/info-en-advies/financieel-inzicht/>
- Peterson, R., & Silver, E. A. (1988). *Decision systems for inventory management and production planning*. New York: Wiley.
- SCDigest Editorial Staff. (2009, november 3). *Supply Chain Digest*. Retrieved mei 2015, from SCDigest: <http://www.scdigest.com/assets/newsviews/09-11-03-1.pdf>
- Six Sigma Study Guide. (sd). *Z Scores (Z Value) & Z Table & Z Transformations*. Opgeroepen op juni 2015, van SixSigmaStudyGuide.com: <http://www.sixsigmastudyguide.com/z-scores-z-table-z-transformations/>
- Slack, N., Chambers, S., & Johnston, R. (2010). *Operations Management*. Harlow: Pearson Education Limited.
- van Goor, A., Kruijtzer, A., & Esmeijer, G. (2000). *Goederenstroombesturing, voorraadbeheer en materials handling*. Leiden: Stenfert Kroese Uitgevers.
- Winston, W. (2003). *Operations Research: Applications and Algorithms*. Pacific Grove CA: Duxbury Press.

Bijlage 1 - Variabelen bestelgrootte

Variabelen die van invloed zijn op de bestelgrootte.

- De kosten voor het plaatsen van een order.
Elke keer dat een inkoper een order plaatst, brengt dit kosten met zich mee, namelijk de administratieve kosten van het voorbereiden van de order en het maken van benodigde documentatie en kosten voor de levering.
- Kortingen. Bij leveranciers is het vaak mogelijk dat men korting krijgt wanneer men grote aantallen bestelt. Daarnaast komt het ook voor dat bedrijven extra kosten rekenen bij kleine orders.
- Kosten als gevolg van stock-out (de voorraad is op).
De kosten die het bedrijf moet maken als gevolg van een voorraad die op is geraakt. Klanten zouden bijvoorbeeld naar de concurrent kunnen gaan.
- Kosten voor het werkkapitaal.
Waarschijnlijk is er geen optimale aansluiting tussen betalingen aan leveranciers en het ontvangen van betalingen van klanten. De voorraden dienen wel gefinancierd te worden, dit noemt men het werkkapitaal van de voorraad.
- Opslagkosten.
Dit zijn de kosten die gemoeid zijn met het fysiek opslaan van voorraad. Hieronder vallen bijvoorbeeld het huren van het magazijn en het verzekeren van de voorraad.
- Verouderingskosten van de voorraad.
Wanneer hoge voorraden worden aangehouden resulteert dit vaak in voorraden die lang op voorraad liggen. Het risico is dan, dat de voorraad wordt achterhaald (nieuwe versie van het product) of verslechtert door de leeftijd (vaak levensmiddelen).
- Inefficiënte operatie kosten.
Het houden van hoge voorraden voorkomt vaak dat problemen in het productieproces zichtbaar worden.
- Tekortkosten.
De aanwezigheid van voorraden kost geld, maar daarnaast kost het ook geld wanneer er te weinig voorraad is. Als een product niet of te weinig aanwezig is dient een extra spoedorder te worden geplaatst die waarschijnlijk hoge transportkosten met zich mee brengt. Bovendien moet de inkoper ander werk uitstellen om de order te plaatsen. Dit zijn de tekortkosten die optreden bij een voorraadtekort.

Bijlage 2 – Kanbankaartje

PA3301 9560160350		SEAL	PA3301	9560160350
	Safetystock			
	1400			
	Orderpoint			
	2700			
	Orderqty			
	5000			

Artikelnummer
 Locatie
 Paternoster: PA
 Lade: 33
 Bak: 1

Bijlage 3 – Omloopsnelheden

Tabel B 1. Omloopsnelheid per project.

Row Labels	Omloopsnelheid per project
ACM	1,57
ADU Housing 777	1,65
BR 700 starters	2,95
Centrifuge production TC-12	1,67
Centrifuge production TC-21	2,28
Fokker Spares	1,10
Fokker spares R&O	0,08
JSF OEM	0,41
LC350 MRO	0,94
LC350 OEM	4,18
LC400 OEM	0,56
LC400 R&O	13,81
Mega Housing	2,46
MSG	8,26
Parker filter	2,92
SCROLL COMPRESSOR	0,96
Tay starters	1,29
Wheel cell Honeywell	2,37
Wheel cell UTC	1,59

Tabel B 2. Omloopsnelheid per inkoper.

Inkoper	Omloopsnelheid per inkoper
15048	2,64
2006	1,57
4195	3,00
997506	2,21

Tabel B 3. Omloopsnelheid per prijsgroep.

Prijs (€)	Omloopsnelheid
<10	1,88
10-100	1,66
100-1.000	1,94
>1.000	4,29

Bijlage 4 – Extra voorraadgegevens (vertrouwelijk*)

Bijlage 5 - Failure mode and effects analysis (FMEA) (vertrouwelijk*)

Bijlage 6 – Schaal voor 'severity' en 'detection' bij FMEA

Tabel B 4. Schaal 'severity'.

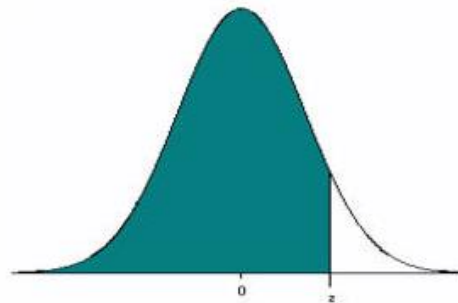
Value	Description
1	Non-conforming product, use as-is.
2	Minor Process Disturbance – No impact OTD – Low COPQ
3	Non-conforming product, reworkable
3	Minor Process Disturbance – No impact OTD – High COPQ
4	Medium Process Disturbance – No impact OTD – Low COPQ
6	Medium Process Disturbance – No impact OTD – High COPQ
7	Major Process Disturbance – Impact OTD – Low COPQ
7	Major Process Disturbance – No impact OTD – High COPQ
8	Non-conforming product, scrap
8	Customer dissatisfaction, no impact on SSC
9	Customer dissatisfaction, impact on SSC
9	Major Process Disturbance – Impact OTD – High COPQ
10	EH&S Issue

Tabel B 5. Schaal 'detection'.

Value	Description
1	Poka Yoke
2	Article Measurement
3	Machine or system controlled
4	Fill-in document
4	Inspection iaw special process
5	Meter display
5	Auto-generated hold point
5	Checklist
6	Visual comparison with document
6	Self control
7	Shop floor supervision
8	Audit
9	Visual
10	No control

Bijlage 7 – OTD scores (*vertrouwelijk)

Bijlage 8 – Tabel van de standaard normale verdeling voor positieve z-scores



z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998

(Six Sigma Study Guide)

Bijlage 9 – Omloopsnelheden huidige en nieuwe situatie

	Omloopsnelheid huidige situatie	Omloopsnelheid nieuwe situatie
5053-198-001-1	7,28	8,70
3503906-901	9,81	7,28
3500372-111	8,28	5,97
5053-141-001-1	3,40	2,57
3504749-1	3,63	5,81
4331200016	3,06	6,51
3504420-901	1,55	5,54
3504779-1	1,10	2,50
3822099-1	1,75	4,42
4331201606	1,40	7,07
3504751-1	4,39	6,90
4331200466	4,13	4,57
3179955-2	3,93	4,82
3179456-1	3,53	4,76
681634-4	5,26	5,18
3508029-1	1,33	2,47
3822566-1	0,54	0,94
361666-1	3,47	3,96
3183449-2	0,66	4,33
361651-1	1,43	3,95
3508030-2	1,43	4,64
3184380-5	0,77	6,23
Gemiddelde omloopsnelheid	3,28	4,96