Universiteit Twente – Faculteit MB

Bacheloropdracht Technische Bedrijfskunde

Een onderzoek naar verbetering van procesbewaking van de PRODUCTGROEP Y door middel van voorraadbeheersing en monitoring

Publieke versie

Dit rapport is een publieke versie. Waar nodig zijn namen van personeel, bedrijven, plaatsen en productgroepen vervangen door fictieve namen. Daarnaast zijn alle bijlagen niet aanwezig in deze versie.

door **Hessel Hoogterp** *op* **maandag 5 januari 2015**

EXTERNE BEGELEIDERS 1 & 2

-

1e Begeleider Universiteit Twente: P.C. Schuur

2e Begeleider Universiteit Twente: J.M.G. Heerkens

Management samenvatting

In dit adviesrapport is een onderzoek naar procesbewaking beschreven. Dit onderzoek is uitgevoerd bij PRODUCENT X. PRODUCENT X is een bedrijf wat machines en werktuigen voor de industriële sector produceert. Binnen de PRODUCTGROEP Y werd onvoldoende beheersing en bewaking van het gehele orderproces opgemerkt. Om de procesbewaking voor deze productgroep te verbeteren is de onderstaande probleemstelling opgesteld.

Wat moet er aan de voorraadbeheersing en het monitorend vermogen in het orderproces veranderen om de procesbewaking van de PRODUCTGROEP Y te verbeteren?

Om oplossingen voor dit probleem aan te kunnen dragen is observatie en literatuuronderzoek benodigd. Eerst is een beeld van de huidige situatie geschetst door het in kaart brengen van het volledige orderproces. Hierbij komt naar voren hoe voorraden bijgehouden worden en op wat voor wijzen productie verloopt.

Aan de hand van de huidige situatie worden de knelpunten aan het licht gebracht. Hier worden links met de literatuur voor het bijhouden, bijwerken en aanvullen van voorraad gelegd. Daaruit komt voort dat voorraden in de huidige situatie op basis van ervaring beheerst en gecontroleerd worden. Daarnaast worden sommige kleine voorraadartikelen beheerst en gemonitord door middel van een two-bin systeem. De keuze voor deze indeling is niet door een systematiek gedaan. Ook worden met het beheersen van de andere voorraden onnodige kosten gemaakt. Deze kosten worden gemaakt doordat de beheersing op basis van ervaring geschiedt en daarmee communicatie- en bestelfouten worden veroorzaakt. De locaties zijn bovendien niet gestandaardiseerd en artikelnummers zijn niet aan alle artikelen toegekend.

Na de bepaling van de knelpunten die uit de huidige situatie naar voren komen zijn oplossingen uit het literatuuronderzoek aangedragen. Deze oplossingen zijn vervolgens in een stappenplan ter implementatie beschreven. Het stappenplan is verderop weergegeven in een figuur. Bij dit stappenplan is hieronder een toelichting van het nut ten opzichte van de oplossing gegeven. De stappen kunnen afgelezen worden uit de figuur.

Toelichting stappenplan:

De figuur verloopt van stap 0 tot en met stap 10, zodat begonnen wordt met de huidige situatie. Elke stap krijgt hier een toelichting van het nut.

Stap 1. Om zoektijd van expeditie te verlagen moeten artikelnummers toegevoegd worden aan artikelen die dit nog niet hebben.

Stap 2. Door middel van de opgestelde afwegingsmethodiek voorraden indelen in een A en B voorraadgroep. Met deze indeling krijgt het artikel een behandeling die passend is. Deze methodiek deelt artikelen in op basis van de hoogte van de artikelscore. Deze artikelscore wordt opgebouwd uit scores op het aantal beschikbare leveranciers, de lengte van de levertijd en de waarde van artikelen. Hierbij wordt een artikel in de A groep ingedeeld, wanneer deze een artikelscore hoger is dan de gestelde grenswaarde. Is dit niet het geval, dan wordt het artikel in de B voorraadgroep ingedeeld. Ter controle wordt ook een traditionele methode van ABC classificatie toegepast.

Stap 3. De B artikelen hebben minder aandacht nodig. Doordat deze in groten getale aanwezig moeten zijn en een lage waarde hebben.

Stap 4. Artikelen uit voorraadgroep A verdienen meer aandacht. Deze artikelen kunnen een hoge waarde, lange levertijd en weinig leveranciers hebben. Deze voorraadgroep moet door middel van het

huidige ERP systeem en een 2-D barcode systeem meer beheersbaarheid krijgen. De keuze voor dit systeem is bepaald door middel van een AHP afwegingsmethode.

Stap 5. Stuklijsten moeten bijgewerkt worden om correcte voorraadniveaus bij te kunnen houden. Benodigde artikelen voor een machine kunnen door klantspecificatie anders zijn.

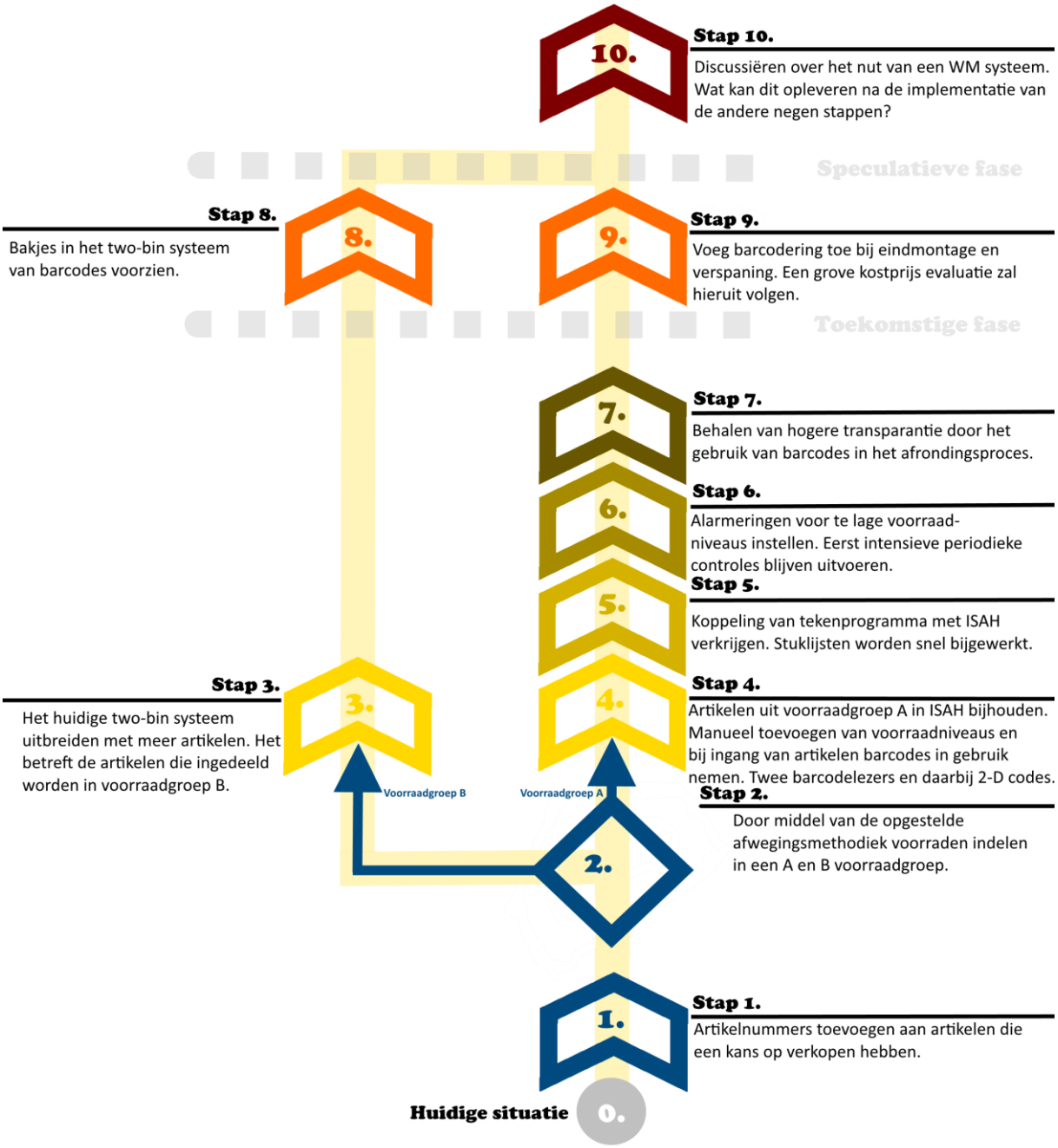
Stap 6. Door alarmeringen voor te lage voorraadniveaus in te stellen kan een bestelling van ruw materiaal en koopdelen feilloos verlopen. Deze bestellingen worden gedaan op basis van een systematiek in plaats van op ervaring.

Stap 7. Gebruikmaken van 2-D barcodes in het afrondingsproces, om een voorraad met gerede machines aan te maken en een grove nacalculatie van arbeidsuren te kunnen uitvoeren.

Stap 8. De bakjes van het two-bin systeem uitvoeren met 2-D barcodes, omdat dan bestelorders automatisch en foutloos aangemaakt kunnen worden.

Stap 9. Door barcodering toe te voegen bij eindmontage en verspaning, kunnen nacalculaties al effectiever uitgevoerd worden en de mate van beheersing en monitorend vermogen neemt toe.

Stap 10. Door te discussiëren over het nut van een WM systeem, kan de procesbewaking tot een nog hoger niveau komen.



Het stappenplan dient als aanbeveling en resultaat van dit onderzoek. De volgorde van dit stappenplan is zo gekozen, omdat een aantal stappen een andere moeten inleiden. Zo is artikelnummers toevoegen een stap die hoe dan ook moet gebeuren. Om vervolgens de behandeling van elk artikel afzonderlijk te bepalen is eerst de afwegingsmethodiek voor het indelen van voorraad nodig. Daarna volgen de stappen die elkaar enkel in deze volgorde kunnen opvolgen, per voorraadgroep.

Door het gebruik van dit stappenplan is het mogelijk de procesbewaking van de PRODUCTGROEP Y te verbeteren.

Voorwoord

Aan het eind van de bacheloropleiding Technische Bedrijfskunde, aan de Universiteit van Twente, behoort een student zijn opleiding af te sluiten met een bacheloropdracht. Na een aantal maanden werk is dit verslag het resultaat. Hiervoor heb ik ongeveer tweeënhalve maand bij PRODUCENT X, intern, mijn tijd kunnen vullen, waarna nog een tijd van verwerken volgde.

Ik zocht bewust naar een opdracht die gerelateerd zou zijn aan deze onderzochte sector. Bij deze sector ligt namelijk van mijn kant enige interesse. Na een zoektocht kwam ik uit bij PRODUCENT X. De onderzoeksopdracht die hier naar voren is gekomen, is in samenwerking ontstaan. De manier waarop dit ontstond en hoe ik benaderd ben door PRODUCENT X is super. Voor de kans, de begeleiding en de gekregen vrijheid wil ik EXTERNE BEGELEIDER 1 en EXTERNE BEGELEIDER 2 vooral hartelijk bedanken. Tijd vrijmaken was nooit een probleem. Ook andere collega's die interesse toonden in het onderzoek, of gevraagd werden, hebben hun mening gegeven en hiervoor dank ik hen ook.

Persoonlijk heb ik veel geleerd van het onderzoek. Meningen en feiten zijn soms een kwestie van interpretatie. In welke context een probleem geplaatst wordt kan nogal verschillen. Dit komt doordat er met diverse blikken naar het probleem gekeken wordt. Ik hoop dat mijn onderzoek en daarmee het resultaat van waarde zal zijn voor PRODUCENT X en daarmee met de juiste blik bekeken is.

Ook wil ik mijn begeleiders van de universiteit, Peter Schuur en Hans Heerkens, bedanken voor hun begeleiding waar nodig. Afstand was niet per definitie een probleem, aangezien ik meerdere malen telefonisch contact heb gehad. Hierdoor waren afspraken snel gemaakt en vragen vaak snel beantwoord.

Hessel Hoogterp (s1239821)

Enschede, 5 januari 2015

Gebruikte afkortingen

In dit verslag worden meermaals afkortingen en begrippen gebruikt die voor de lezer wel duidelijk moeten zijn. Hiertoe is een afkortingenlijst opgesteld en zijn een aantal begrippen toegelicht in bijlage **A**.

Afkortingen:

1-D & 2-D	1-dimensionale en 2-dimensionale
ABP	Algemene bedrijfskundige probleemaanpak
AHP	Analytic Hierarchy Process
ATO	Assemble-to-order
ERP	Enterprise Resource Planning
ETO	Engineer-to-order
ISAH	ISAH business software (variant ERP system)
KOOP	Klantorderontkoppelpunt
MCA	Multi criteria analyse
MTO	Make-to-order
MTS	Make-to-stock
SMART	Simple Multi-Attribute Rating Technique

Inhoud

Management samenvatting I
Voorwoord IV
Gebruikte afkortingen V
Inhoud VI
Hoofdstuk 1 - Inleiding 9
1.1 Inleiding 9
1.2 Probleemaanpak 9
1.3 Probleemanalyse 10
1.3.1 Het onderzoeksveld 10
1.3.2 Buiten het onderzoeksveld 13
1.4 Probleemdefinitie en onderzoeksveld 14
1.5 Onderzoeksvragen 15
1.5.1 IST 15
1.5.2 BOTTLENECK 16
1.5.3 SOLL 16
1.5.4 Kernbegrippen 17
1.6 Onderzoeksopbrengst 18
1.7 Inhoud van het verslag 18
Hoofdstuk 2 - Literatuuronderzoek 19
2.1 Productiewijze 19
2.2 Voorraadbeheer 20
2.2.1 Typen voorraden 21
2.2.2 Voorraadindeling 21
2.2.3 Voorraadniveau peilen 23
2.2.4 Voorraad bijhouden 23
Handmatige methoden: 23
Gecomputeriseerde methoden: 25
2.2.5 Voorraad bijwerken en tellen 27
2.2.6 Voorraad aanvullen 31
2.3 ERP systemen 33
2.4 WMS systemen 34
2.5 Afwegingsmethoden 35
2.5.1 AHP 35
2.5.2 SMART 35
2.6 Terugblik op hoofdstuk 2 36

Hoofdstuk 3 - Huidige situatie 38
3.1 de PRODUCTGROEP Y 38
3.2 Onderdelen 38
3.2.1 Standaard onderdelen 38
3.2.2 Niet standaard onderdelen 39
3.3 Het bestelproces 39
3.3.1 Voorraadbeheersing en -monitoring 39
3.4 Het productie- en montageproces 40
3.4.1 Order sparepart 40
3.4.2 Order complete machine 40
3.4.3 Voorraadbeheersing en -monitoring 41
3.4.4 Procesbeheersing en -monitoring 42
3.5 Afrondingsproces 42
3.5.1 Order sparepart 42
3.5.2 Order complete machine 42
3.6 Terugblik op hoofdstuk 3 44
Hoofdstuk 4 - Knelpunten 45
4.1 Onderdelen 45
4.2 Het bestelproces 46
4.3 Het productie- en montageproces 47
4.4 Het afrondingsproces 48
4.5 Monitoring van proces en voorraad 48
4.6 Terugblik op hoofdstuk 4 49
Hoofdstuk 5 - Oplossingen 50
5.1 Voorraadindeling 50
5.2 Aanvullen 51
5.3 Locatie 51
5.4 Artikelnummers en stuklijsten 51
5.5 Bijhouden, bijwerken en aanvullen 52
De methodiek van AHP 53
De afweging van oplossingen voor PRODUCENT X 54
5.6 Terugblik hoofdstuk 5 65
Hoofdstuk 6 - Implementatie 66
6.1 Implementatie 66
6.2 Stappenplan 72

Hoofdstuk 7 - Eindconclusie 74
7.1 Eindconclusie 74
7.2 Vervolgonderzoek 74
7.3 Evaluatie beslissingsproces 74
Verwijzingen 75
Bijlage B: Probleemkluwen met aangegeven onderzoeksveld 1 & 2 78
Bijlage C: Orderproces 82
Bijlage G: Paarsgewijze vergelijking van de criteria 89
Bijlage H: Paarsgewijze vergelijking van de alternatieven 92
Bijlage I: Paarsgewijze vergelijking van de alternatieven 95
Bijlage J: Paarsgewijze vergelijking van de alternatieven 98
Bijlage K: Paarsgewijze vergelijking van de alternatieven 101
Bijlage L: Paarsgewijze vergelijking van de alternatieven 104
Bijlage M: Paarsgewijze vergelijking van de alternatieven 107
Bijlage N: Gevoeligheidsanalyse 110

Hoofdstuk 1 - Inleiding

Het onderzoek wordt gestart met dit inleidende hoofdstuk. Paragraaf 1.1 schetst een beeld van het bedrijf en het probleem. Waarna in paragraaf 1.2 probleemaanpak wordt beschreven. In de derde paragraaf, 1.3, komt een analyse van de gevonden problemen aan bod. Zodat in paragraaf 1.4 de probleemstelling kan worden gedefinieerd. In paragraaf 1.5 worden de onderzoeksvragen, ter beantwoording van de probleemstelling, beschreven. Ten slotte wordt in paragraaf 1.6 de gewenste onderzoekopbrengst behandeld en in paragraaf 1.7 de inhoud van het verslag.

1.1 Inleiding

In het kader van het afronden van mijn Bachelor Technische Bedrijfskunde dient er een onderzoeksopdracht bij een bedrijf voltooid te worden. Het onderzoek is verricht bij het bedrijf PRODUCENT X.

De expertise van PRODUCENT X ligt op het gebied van ontwikkeling en fabricatie van machines voor de industriële sector. PRODUCENT X heeft tot de dag van vandaag de gehele productie in eigen huis. Dit houdt in dat er beschikking is over allerlei productiemachines. CNC-gestuurde verspaningsmachines, lasrobots en computergestuurde knip- en zetbanken behoren tot het arsenaal. Doordat de complete productie onder eigen dak zit, kan er erg klantspecifiek geproduceerd worden. Dit komt veel voor ondanks het feit dat PRODUCENT X zich het best thuis voelt in seriematig produceren. Het enige wat ingekocht wordt naast een selectie van koopdelen, is buis- en plaatstaal.

Er wordt al een groot scala aan machines geproduceerd en sinds 2012 heeft PRODUCENT X een nieuwe productgroep onder de gemeenschappelijke naam Y. Deze productgroep is een van de belangrijkste productgroepen voor PRODUCENT X geworden.
De afzet van de producten geschiet via een groot dealernetwerk, dat praktisch de hele wereld beslaat. Buiten Europa worden de meeste machines geëxporteerd naar Rusland en China.

PRODUCENT X produceert nog maar twee jaar de machines van PRODUCTGROEP Y. Er is nog niet veel ervaring met deze producten, zodat er ruimte voor verbeteringen is. Zowel organisatorisch als productietechnisch is het een uitdaging die PRODUCENT X aangegaan is. Om enig overzicht te krijgen over het bedrijf, wordt er gebruik gemaakt van een Enterprise Resource Planning (ERP) systeem. Het gebruikte programma is van de fabrikant ISAH business software.

Het doel van dit onderzoek is het vinden van oplossingen voor het verbeteren van de procesbewaking van de PRODUCTGROEP Y binnen PRODUCENT X.

1.2 Probleemaanpak

In dit onderzoeksproces zal gebruik gemaakt worden van de algemene bedrijfskundige probleemaanpak (ABP). (Heerkens & van Winden, 2012) De aanpak helpt met herkennen en oplossen van problemen door middel van een aantal gestructureerde stappen. Om problemen te analyseren moet er een probleemkluwen gemaakt worden, waardoor alle relevante problemen herkenbaar worden en hun oorzaken in kaart gebracht kunnen worden. Zodoende kunnen relaties tussen verschillende oorzaken en problemen opgemerkt, beschreven en aangeduid worden. Dankzij de weergave van problemen en hun relaties kan het handelingsprobleem gekozen worden. Dit handelingsprobleem is het probleem dat ontstaat om van een huidige situatie naar een gewenste situatie te gaan. Het probleem wat er in deze huidige situatie is waargenomen is een kernprobleem. Dit kernprobleem dient opgelost te worden, met behulp van het oplossen van handelingsproblemen. Aan een handelingsprobleem hangen vaak een aantal kennisproblemen die het ontbreken van kennis aangeven. Deze ontbrekende kennis is nodig voor het oplossen van het handelingsprobleem. De

beantwoording van kennisproblemen kan gezien worden als het vormen van theorie. De typen problemen worden door de probleemstelling in paragraaf 1.4 en de onderzoeksvragen in paragraaf 1.5 van een oplossing voorzien.

Bij de start van het onderzoek zal er eerst veel observatie plaatsvinden, waarbij een probleemanalyse van het bedrijf hoort. De grootste bron van informatie zal van interviews met personeel komen. Daarbij moeten de echte problemen van de minder relevante problemen gescheiden worden. Tegenstrijdige problemen worden afgewogen door middel van eigen inzicht en in overleg met de begeleiders vanuit PRODUCENT X, of van de Universiteit Twente.

1.3 Probleemanalyse

Binnen PRODUCENT X is onvoldoende procesbewaking gewijd aan de PRODUCTGROEP Y. Dit komt vooral door een zestal problemen. Deze problemen hebben hun eigen oorzaken, die onderling soms verbanden vertonen. Uit observaties en gesprekken met de directeur, de productiemanager en een aantal andere medewerkers van PRODUCENT X zijn de oorzaken en haar problemen gevonden. Dit is weergegeven in de probleemkluwen die in bijlage **B** weergegeven is. Hierbij zijn twee onderzoeksvelden aangegeven. Op deze velden ligt de focus van het onderzoek. De gele vakjes in de figuur staan voor de oorzaakgevolgrelaties die belicht worden.

Een onvoldoende mate van voorraadbeheersing, de bijbehorende systematiek en monitoring daarvan zal het algehele onderzoeksveld voor deze opdracht worden. Dit onderzoeksveld is in overleg met de directeur en productiemanager tot stand gekomen. Er wordt in deze tekst echter over twee onderzoeksvelden gesproken, omdat de grootte van de probleemkluwen de leesbaarheid benadeeld. Daardoor is de kluwen in de bijlage ook in twee delen weergegeven.

Eerst zullen de problemen van het gekozen onderzoeksveld worden besproken in 1.3.1. Hierna zal er nog een toelichting van de andere problemen gegeven worden in 1.3.2.

1.3.1 Het onderzoeksveld

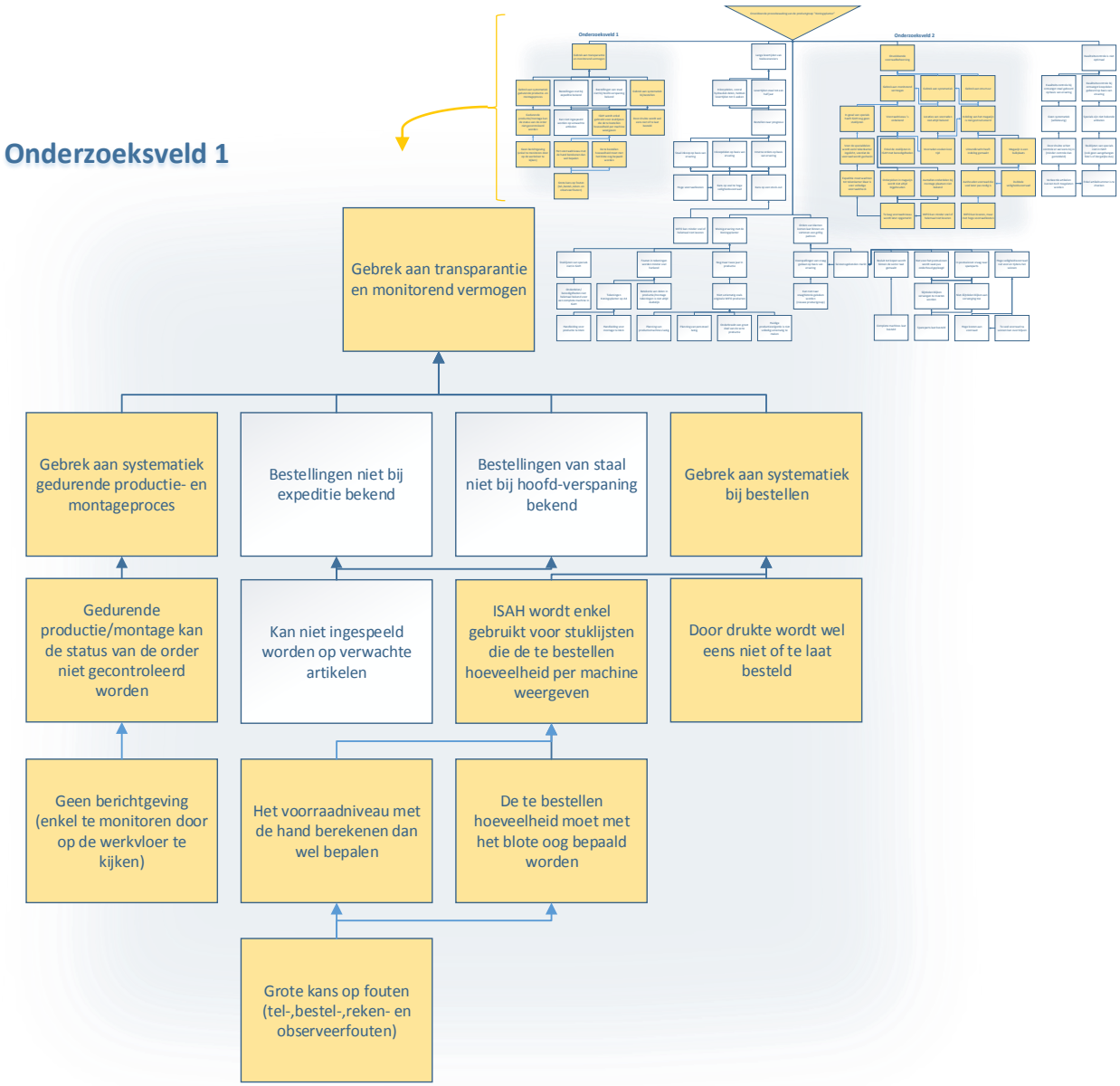
In deze paragraaf worden de te onderzoeken problemen beschreven en geconcretiseerd. Deze problemen zijn schematisch weergegeven in de probleemkluwen.

<u>Transparantie en monitorenvermogen:</u>

Er is een gebrek aan transparantie en monitorend vermogen. Door het gebruik van mondelinge communicatie worden fouten gemaakt. Er is bijvoorbeeld niet bekend in welke fase een order zich bevindt. Dit komt doordat er gedurende het hele orderproces geen systematiek qua berichtgeving is. Als de order gereed is, wordt deze pas volledig afgeboekt uit het systeem. Gedurende het monteren en produceren is in het kantoor dus niet bekend in welk stadium een order zich bevindt. Het monitoren van het proces geschiedt niet via een systeem, zoals ISAH (ERP software). Dit ERP pakket wordt echter wel gebruikt voor het opmaken van een productieorder. Pas na een observatie in de productiehal kan een uitspraak over de orderstatus gedaan worden. Wanneer montage-/productiedelen in tussenvoorraden komen is ook alleen te achterhalen door mondelinge communicatie of daadwerkelijke observatie. Bij het opmaken van bestellingen kan voorraad ook enkel gecontroleerd worden door observatie van de fysieke voorraad. In figuur 1.3.1 zijn de oorzaken en de relaties weergegeven van deze problematiek.

Als er een bestelling binnenkomt, kan de productiemanager mondeling de orders aan de personen van expeditie of verspaning doorgeven. Er is dan niet veel transparantie, door middel van een systeem, richting deze verantwoordelijke mensen van expeditie en verspaning. Hierdoor kan niet vroegtijdig ingespeeld worden op de bestelling. De communicatie van bestellingen richting expeditie en

verspaning is ook een deel van het transparantie en monitoring probleem. Echter zal hier niet veel verder op ingegaan worden. Dit is na overleg met de productiemanager niet binnen een onderzoeksveld gevallen.



figuur 1.3.1 Probleemkluwen met vergroot onderzoeksveld 1

Er zijn bij dit probleem en in deze figuur twee kandidaat kernproblemen aan te wijzen. Namelijk de grote kans op fouten en de gebrekkige berichtgeving voor het monitoren van de werkvloer. Fouten door drukte zullen door de eliminatie van de twee kandidaat kernproblemen ook verminderen. Deze problemen dienen opgelost te worden. Dit zal een verbetering van het gebrek aan transparantie en monitorend vermogen opleveren en daarmee is een verbeterde procesbewaking bewerkstelligd.

<u>Onvoldoende voorraadbeheersing:</u>

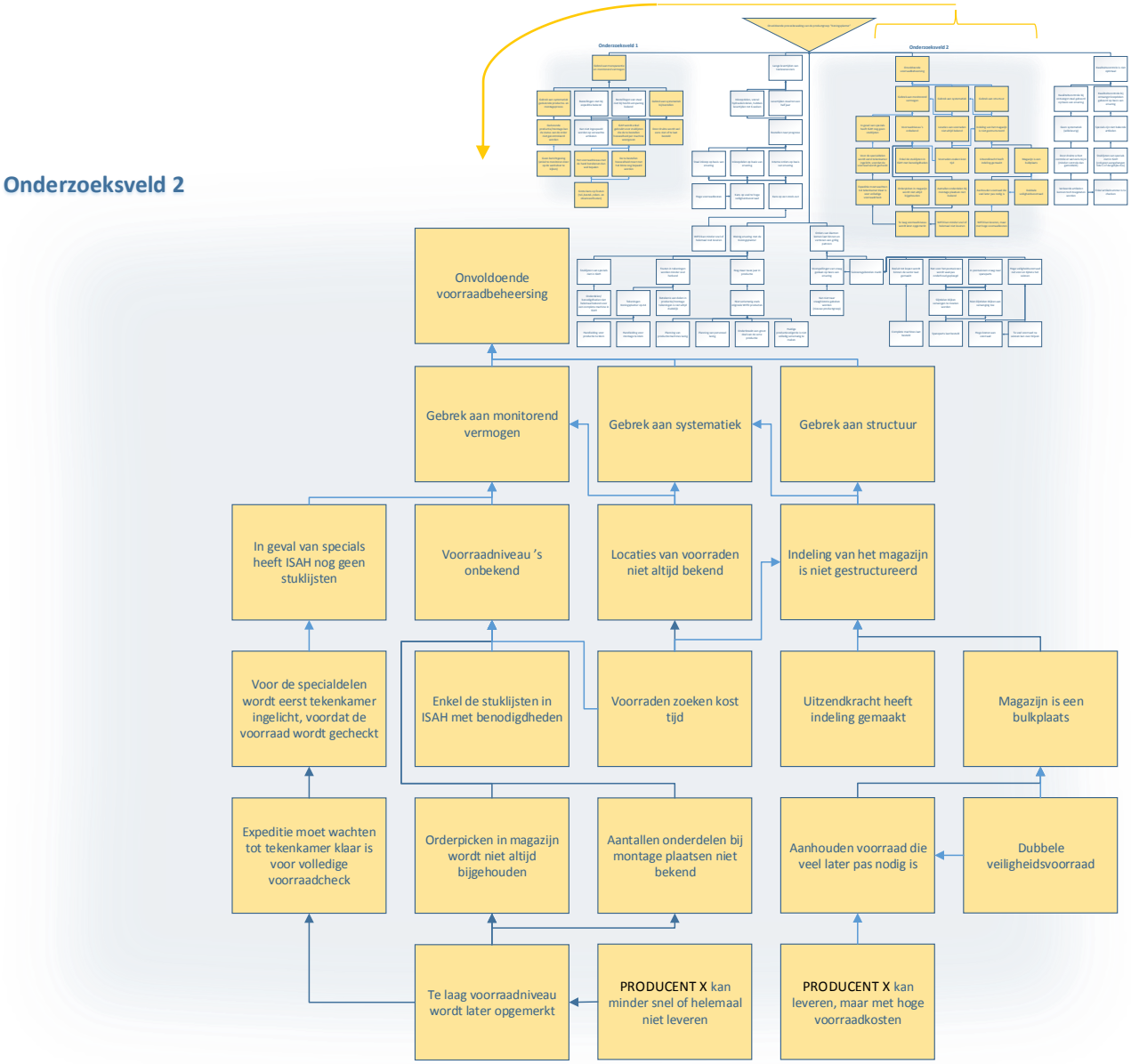
Onvoldoende voorraadbeheersing heeft meerdere oorzaken. De oorzaken en de relaties zijn weergegeven in figuur 1.3.2.

Voorraadniveaus en -locaties zijn niet alom bekend. Dit komt mede doordat deze niet te monitoren zijn door middel van een systeem. Bij elke order moet gekeken worden in de fysieke voorraad of er wel voldoende onderdelen zijn. In voorraden zoeken en het tellen van de aanwezige niveaus kost tijd. Daarbij komt dat de locaties van deze voorraden ook niet voldoende bekend zijn, laat staan zonder de nodige ervaring.

Hoeveel voorraad een montageplaats nodig heeft, is redelijk bekend. Echter wordt door montagepersoneel vaak een voorraad aangemaakt op de montageplaats om een stock-out voor zichzelf te voorkomen. Hierdoor ontstaan dubbele veiligheidsvoorraden. Op de montage- en bewerkingsplaatsen wordt net als in het magazijn een veiligheidsvoorraad aangehouden. Om aan de vraag van die plaatsen te voldoen is het magazijn eigenlijk een soort bulkplaats. Waarbij ook niet direct, na het orderpicken, de balans van het voorraadniveau in het magazijn wordt opgemaakt. Als gevolg wordt het bestellen om de voorraad aan te vullen niet consequent gedaan. Er kan later, te laat of niet opgemerkt worden dat er te weinig voorraden zijn. Bovendien kost het opnieuw zoeken naar deze voorraden tijd.

Naast deze onbekende locaties zijn ook de indelingen op deze locaties niet altijd gestructureerd. Deze indeling is gemaakt door een extern persoon (uitzendkracht) bij de verhuizing van het magazijn, die een jaar geleden plaatsgevonden heeft.

Bij het controleren van de voorraadniveaus komt er ook nog een extra moeilijkheid bij als er naast standaardonderdelen specials in de order zitten. Bij specials is de stuklijst nog niet in ISAH bekend en zal de onderdelenbehoefte dus niet met honderd procent zekerheid gesteld kunnen worden. Nu worden de standaardonderdelen alvast uit voorraad gehaald en later wordt bekend welke onderdelen nog nodig zijn voor de specials.



figuur 1.3.2 Probleemkluwen met vergroot onderzoeksveld 2

Er zijn bij dit probleem twee kandidaat kernproblemen aan te wijzen. Namelijk de kans op een te laag voorraadniveau en daarnaast, als tegenhanger, een te hoge veiligheidsvoorraad van sommige artikelen. Onbekende voorraadniveaus en -locaties zijn hiervan de oorzaak. Door het elimineren van deze kandidaat kernproblemen wordt er ook een verbeterde procesbewaking bewerkstelligd. Als de niveaus lager zijn, maar wel samen met hun locatie bekend zijn, kan er beter ingespeeld worden op belevering van de klant.

1.3.2 Buiten het onderzoeksveld

In deze paragraaf worden de overige problemen genoemd. Deze problemen zijn ook schematisch weergegeven in de probleemkluwen. Alleen worden deze problemen niet meegenomen in het onderzoek. In bijlage **B** staan deze problemen, onder de probleemkluwen, geconcretiseerd.

Het gaat om de volgende problemen:

- Lange levertijden van toeleveranciers
- Weinig ervaring met PRODUCTGROEP Y
- Klantorders komen laat binnen en vertonen grillig patroon
- Kwaliteitscontrole is niet optimaal

1.4 Probleemdefinitie en onderzoeksveld

De probleemkluwen geeft de gevonden problemen met hun achterliggende oorzaken weer. Er zijn ook gemeenschappelijke oorzaken op te merken. Veranderingen hebben dan effect op meerdere problemen. Alle problemen leiden tot onvoldoende procesbewaking op PRODUCTGROEP Y. De problemen zijn het gebrek aan transparantie en monitorend vermogen, de lange levertijden van toeleveranciers, weinig ervaring met PRODUCTGROEP Y, een grillig vraagpatroon, onvoldoende voorraadbeheersing en een kwaliteitscontrole die niet optimaal is.

Om een probleemstelling voor dit onderzoek op te kunnen stellen moet er eerst een afbakening van het onderzoeksveld komen. In overleg met mijn begeleiders van PRODUCENT X is hierover een besluit gekomen. Het onderzoek wordt beperkt tot voorraadbeheersing en de wijze van monitoring.

De lange levertijden van staal en koopdelen, het grillige vraagpatroon van de markt, de niet optimale kwaliteitscontrole, het gebrek aan transparantie richting productiepersoneel en weinig ervaring met de productgroep vallen buiten het onderzoeksveld.

Met behulp van de probleemkluwen en de in overleg gemaakte afbakening kan de probleemstelling als volgt geformuleerd worden:

Wat moet er aan de voorraadbeheersing en het monitorend vermogen in het orderproces veranderen om de procesbewaking van de PRODUCTGROEP Y te verbeteren?

De probleemstelling omvat meerdere problemen en oorzaken. Deze oorzaken kunnen voor het monitorend vermogen én de voorraadbeheersing tegelijk gelden. Door middel van onderzoeksvragen moeten de oorzaken en problemen worden onderzocht. Hieruit zal een aanbeveling opgesteld moeten worden. De hoofd-probleemhebbers van onvoldoende voorraadbeheersing zijn degenen die verantwoordelijk zijn voor het op pijl houden en controleren van voorraad.

Deze hoofdprobleemhebbers zijn de inkoop, expeditie en de productiemanager. Daarnaast is al het personeel dat afhankelijk is van voorraad ook een probleemhebber. Dit kan door de afhankelijkheid bij het produceren of bij het verkopen. Dus alle belanghebbers van de productgroep zijn direct of indirect een probleemhebber.

Voor het beantwoorden van de probleemstelling moeten er randvoorwaarden en uitgangspunten opgesteld worden. In dit onderzoek wordt gekeken naar de productie van PRODUCTGROEP Y machines binnen het bedrijf PRODUCENT X. Hiervoor is gekozen omdat deze productgroep unieke onderdelen bezit en nog maar twee jaar wordt geproduceerd. Ook wordt er alleen onderzoek gedaan naar voorraadbeheersing en monitoring in het orderproces. Met dit orderproces worden alle handelingen, die gedaan worden, van de vraag van een klant tot aan het afleveren en factureren bedoeld. Hierbij wordt enkel oppervlakkig naar de daadwerkelijke montage- en productiestappen gekeken. Het onderzoek wordt in ongeveer tien weken uitgevoerd en daarna zal de implementatietijd ervan afhankelijk zijn van de gekozen aanbeveling.

De gevonden oplossing moet op het huidige orderproces aansluiten. Een aantal stappen uit het orderproces worden vervangen of geëlimineerd. Als oplossing moet er een systematiek overblijven die te allen tijde het proces transparant maakt en onder controle houdt. De aanbeveling kan bovendien als pilot voor andere productlijnen van PRODUCENT X dienen.

1.5 Onderzoeksvragen

Om het doel van het onderzoek te bereiken, zijn vragen opgesteld in een IST-(Bottleneck)-SOLL vorm. Hiervoor is gekozen, omdat dit een goede gestructureerde vraagvolgorde beschrijft. Hierbij moet IST de huidige situatie beschrijven en SOLL de positie waar men naartoe wil. (Ben & Wil business-ict-alignment, 2014)

De bottleneck vragen zijn opgesteld om de problemen uit IST, de huidige situatie, aan te halen. Er moet duidelijk worden hoe SOLL bereikt wordt door een verbetering van de problemen die voortkomen uit IST.

1.5.1 IST

1. Hoe ziet het orderproces van de PRODUCTGROEP Y eruit en hoe worden voorraden hierin bijgehouden, bijgewerkt en aangevuld?

    1. Wat voor machines worden er geproduceerd binnen de PRODUCTGROEP Y?

Deze vraag wordt gesteld om kennis te vergaren over de aanwezige producten binnen de PRODUCTGROEP Y.

    2. Welke onderdelen van deze machines zijn standaard en welke niet?

De producten bestaan uit verschillende onderdelen en artikelen. De voorraad hiervan kan op een andere manier gecontroleerd worden.

    3. Hoe ziet het bestelproces eruit?

In het orderproces begint men met het bestelproces.

    4. Hoe wordt voorraad beheerst in het bestelproces? Wat zijn de manieren waarop voorraadniveaus en -locaties gecheckt worden?

De manier van voorraadbeheersing in het huidige bestelproces wordt duidelijk.

    5. Hoe ziet het productie- en montageproces eruit?

In het orderproces volgt na het bestelproces het productie- en montageproces.

    6. Hoe wordt voorraad beheerst in het productie- en montageproces? Wat zijn de manieren waarop voorraadniveaus en -locaties gecheckt worden? Hoe wordt orderpicken bijgehouden?

De manier van voorraadbeheersing in het huidige productie- en montageproces wordt duidelijk.

    7. Hoe wordt het productie- en montageproces beheerst?

De manier van monitoring tijdens het proces van bewerkingen.

    8. Hoe ziet het afrondingsproces eruit?

In het orderproces volgt na het bestel-, productie- en montageproces het afronden.

Plan van aanpak

Methodiek:	Probleem identificatie en probleemaanpak (en observatie) aan de hand van ABP.
Informatievoorziening:	Informatie wordt onttrokken uit interviews met de hoofdprobleemhebbers en observatie van stakeholders aan het proces. In de literatuur moet gezocht worden naar aan te dragen oplossingen en verklaringen voor de huidige situatie. Dit zal gebeuren aan de hand van Scopus, Google Scolar, enkele studieboeken behorend bij de bachelor Technische Bedrijfskunde en kennis opgedaan uit deze bachelorfase van mijn opleiding. Ook wordt documentatie van de productgroep uit ISAH en uit mappen met bouwtekeningen en stuklijsten gehaald. Om een helder beeld te krijgen van het orderproces zal het orderproces in kaart gebracht worden.

1.5.2 BOTTLENECK

2. Wat zijn de bottleneckstappen in het orderproces betreffende de beheersing van voorraad en het monitoren van dit proces?

1. Welke handelingen in het bestelproces kunnen als verspillingen gezien worden?
2. Welke handelingen in het bestelproces ontbreken?

Gekeken wordt naar de huidige situatie die bevonden is door de IST vragen. In dit geval worden problemen in het bestelproces bekeken. Er wordt opgemerkt dat de problemen ook in de literatuur worden beschreven.

3. Welke handelingen in het productie- en montageproces kunnen als verspillingen gezien worden?
4. Welke handelingen in het productie- en montageproces ontbreken?

Gekeken wordt naar de huidige situatie die bevonden is door de IST vragen. In dit geval worden problemen in het productie- en montageproces bekeken. Er wordt opgemerkt dat de problemen ook in de literatuur worden beschreven.

5. Welke handelingen in het afrondingsproces kunnen als verspillingen gezien worden?
6. Welke handelingen in het afrondingsproces ontbreken?

Gekeken wordt naar de huidige situatie die bevonden is door de IST vragen. In dit geval worden problemen in het afrondingsproces bekeken. Er wordt opgemerkt dat de problemen ook in de literatuur worden beschreven.

7. Wat zijn de oorzaken voor het missen van voorraad?

De algemene problemen die gelden voor het hele orderproces.

9. Waardoor weten alle belanghebbers, binnen PRODUCENT X, van de productie van een PRODUCTGROEP Y machine in welk stadium een machine zich bevindt?

De transparantie die in onvoldoende mate aanwezig is in het hele orderproces.

Plan van aanpak

Methodiek:	Probleemanalyse aan de hand van ABP.
Informatievoorziening:	Informatie wordt onttrokken uit interviews met de hoofdprobleemhebbers en probleemhebbers in het productieproces. Daaruit moeten de echte problemen gefilterd worden. Om de problemen te verkrijgen wordt ook gekeken naar de gemaakte weergave van het orderproces. Aan de hand van de literatuur en het bestuderen van alle handelingen worden herkenbare problemen gesignaleerd.

1.5.3 SOLL

3. Hoe kan producent X de gevonden oplossing het beste implementeren?

1. Wat zijn de oplossingen die uit de literatuur aan te dragen zijn?

De oplossingen worden gevonden door de problemen uit de huidige situatie te vergelijken met de literatuur.

2. Wat zijn de eisen aan de oplossingen?

De problemen in de huidige situatie zijn niet allemaal even geschikt voor implementatie bij PRODUCENT X.

3. Welke oplossing of combinatie van oplossingen geniet de voorkeur en waarom?

Sommige oplossingen kunnen beter samen toegepast worden en anderen juist niet.

4. In welke volgorde worden deze oplossingen aangedragen worden en elkaar opvolgen?

De volgorde is belangrijk, aangezien sommige oplossingen nodig zijn om de andere te doen slagen.

5. Hoe zal de implementatie moeten verlopen?

Op wat voor manier en waarop moet PRODUCENT X de oplossingen toepassen.

Plan van aanpak

Maak gebruik van de methodiek:	De formulering van alternatieve oplossingen, het kiezen van de oplossing, implementatie van de oplossing en de evaluatie van de oplossing aan de hand van ABP. Bij de keuze moet er rekening met risico's gehouden worden. Door een implementatieplan te schrijven waarbij elke stap elkaar goed opvolgt wordt de implementatie gewaarborgd. Ten slotte is evaluatie belangrijk om te zien of veranderingen het juiste doel hebben verwezenlijkt.
Informatievoorziening:	Door gebruik van literatuur worden verbeteringen voor IST en BOTTLENECK opgezocht. Waar nodig zal door middel van een afwegingsmethode een oplossing gevonden worden, waarbij PRODUCENT X de weging van criteria moet bepalen. Ook zal een discussie met PRODUCENT X over de toepasbaarheid van oplossingen moeten plaats vinden.

1.5.4 Kernbegrippen

Uit de onderzoeksvragen en de probleemstelling komen enkele belangrijke kernbegrippen voor. Deze begrippen kunnen helpen bij het zoeken en vragen naar informatie voor de probleemstelling. Daarbij wordt ook de betekenis van de probleemstelling duidelijker wordt.

Voorraadbeheersing: Dit is de mate van beheersing die op voorraad aanwezig is. Voorraadbeheersing houdt onder andere de wijze van bijhouden, bijwerken en aanvullen in.

PRODUCTGROEP Y: Deze PRODUCTGROEP Y bestaat uit een tweetal machines met een nog groter aantal halffabricaten. Deze halffabricaten vertonen erg veel verschillen en bestaan daarnaast weer uit een tal van andere onderdelen. Er is altijd wel een voorraad van bepaalde onderdelen of sub-delen.

Monitorend vermogen: Dit is de mate van controle en transparantie die in een proces aanwezig is. Deze controle kan door middel van een systematiek, een programma of een kritieke meetwaarde worden gedaan. Aan die meetwaarde is vaak een norm bepaalt. Aan deze norm moet de werkelijkheid voldoen. Een controle op een proces is vaak het doorlopen van verschillende toestanden van een product, die een bepaalde volgorde, status of tijdsbesteding mogen of moeten hebben. (Encyclo.nl, 2014)

Orderproces: Dit is het proces wat loopt van bestellen tot en met afhandelen. Met het bestelproces worden alle handelingen die voor de aanvang van productie nodig zijn bedoelt. Nadat dit is afgerond, volgt een productie- en montageproces waarin waarde aan een product wordt toegevoegd. Als deze bewerkingen gedaan zijn, worden afrondingsstappen gedaan om de order gereed te maken voor de klant of voorraad.

Procesbewaking: Dit is de voortgang van een proces waarborgen. In de context van PRODUCENT X betekent dit de continuïteit van het orderproces waarborgen. Voldoende voorraad, voldoende beheersing van het proces en voorraad, en het hebben van voldoende machines en mankracht zijn belangrijk voor het waarborgen van een proces.

1.6 Onderzoeksopbrengst

De opbrengst van dit onderzoek is een oplossing en aanbeveling in de vorm van een stappenplan. De oplossing geldt voornamelijk voor problemen als voorraadniveau bijhouden en bijwerken, en voorraadlocatie standaardiseren voor alle artikelen. De kans op misgrijpen van voorraad kan verkleind worden. Het stappenplan moet de juiste volgorde van aanbevelingen geven. Stappen die buiten het onderzoek vallen, zullen eventueel kort benoemd worden. Als het stappenplan afgewerkt is, zal PRODUCENT X zijn procesbewaking van de PRODUCTGROEP Y hebben verbeterd.

Het resultaat kan mogelijk dienen als pilot voor de andere producten van PRODUCENT X. Aangezien dezelfde productiemachines en mensen ingezet worden voor alle producten van PRODUCENT X, is dit zeker niet onmogelijk.

1.7 Inhoud van het verslag

In dit afgelopen hoofdstuk is er een inleiding gegeven. Daarbij is een analyse en aanpak voor de gevonden problemen opgesteld. Uit de probleemkluwen en afbakening is de probleemstelling gevormd. Om de probleemstelling te beantwoorden zijn de onderzoeksvragen geformuleerd.

Hoofdstuk 2 zal het literatuuronderzoek bevatten. Er wordt gezocht aan de hand van kennis die opgedaan is bij PRODUCENT X en aan de hand van kennis die is opgedaan tijdens de bachelorfase van de studie Technische Bedrijfskunde.

In hoofdstuk 3 wordt de eerste onderzoeksvraag behandelt. De deelvragen van deze onderzoeksvraag zijn voornamelijk kennisgericht. De huidige situatie wordt duidelijk aan de hand van vergelijkingen die met de literatuur zijn gemaakt.

In het vierde hoofdstuk zal de tweede onderzoeksvraag worden beantwoord. Alle problemen relevant voor het onderzoek, worden aan de hand van de opgestelde deelvragen beschreven. Dit kan gezien worden als de analyse van hoofdstuk 3 en als informatiebron voor het komende hoofdstuk.

Hoofdstuk 5 bevat, aan de hand van de derde onderzoeksvraag, de gevonden oplossingen. Deze oplossingen zijn gevormd uit de literatuur in hoofdstuk 2, de huidige situatie beschreven in hoofdstuk 3 en de problemen aangekaart in hoofdstuk 4. Indien er een afweging nodig blijkt, zal deze in combinatie met een gevoeligheidsanalyse worden uitgevoerd.

Ten slotte staat in hoofdstuk 6 een conclusie beschreven, waarbij de probleemstelling beantwoord is en de aanbevelingen verduidelijkt zijn. De keuze van een oplossingen zal ondersteund worden met een visie op de implementatie. Hierbij zal een stappenplan laten zien in welke volgorde wat toegepast of veranderd moet worden.

Hoofdstuk 2 - Literatuuronderzoek

In dit hoofdstuk wordt de literatuur besproken die nodig is bij dit onderzoek. De begrippen en theorieën uit de literatuur helpen de huidige situatie verklaren. Gezocht wordt naar een link die de problemen uit hoofdstuk 4, in de huidige situatie van hoofdstuk 3, met de wetenschappelijke literatuur hebben. Alle mogelijke oplossingen voor de problemen worden belicht, waarna in hoofdstuk 5 een afweging volgt. De afweging wordt gedaan aan de hand van een afwegingsmethode die als laatste in dit hoofdstuk naar voren zal komen, in paragraaf 2.5.

De IST vragen in paragraaf 1.5.1 en de BOTTLENECK vragen in paragraaf 1.5.2 worden in respectievelijk hoofdstuk 3 en 4 beantwoord. Deze IST vragen worden beantwoord door een analyse van het bedrijf en van de literatuur. Paragrafen 2.1 tot en met 2.4 geven de mogelijke productiewijzen en de mogelijkheden wat betreft voorraadbeheer en -monitoring weer. Dit wordt gebruikt om de analyse van de huidige situatie te ondersteunen. De problemen van de BOTTLENECK vragen komen naar voren uit de knelpunten in de huidige situatie en de knelpunten die de literatuur voor de gebruikte methoden noemt. In hoofdstuk 5 wordt afgewogen welke mogelijkheden voor PRODUCENT X de meeste verbetering van de procesbewaking opleveren. Dit geeft antwoord op de SOLL vragen van paragraaf 1.5.3.

De aangewende literatuur wordt onttrokken van Scopus, Google Scholar en studieboeken die al eerder vereist waren tijdens het bachelor programma van Technische Bedrijfskunde. De te gebruiken zoektermen om literatuur te vergaren komen voort uit opgedane kennis uit dit bachelor programma en door te brainstormen met de externe en interne begeleiders. Uiteindelijk toont paragraaf 2.6 een overzicht van het literatuurgebruik.

2.1 Productiewijze

Vanuit theoretisch oogpunt kunnen productiebedrijven ingeschaald worden naar manier van produceren. Het gaat hier om de manier waarop aan een vraag wordt voldaan. Er kan voordat er vraag is, al geproduceerd worden op voorraad of op het moment dat er vraag is van de klant. De wijze van productie is nodig voor het beantwoorden van de IST vragen in hoofdstuk 3. Alle artikelen krijgen niet dezelfde mate van beheersing, mede doordat onderdelen ingedeeld zijn naar wijze van productie.

Om een idee te vormen wat voor bedrijf PRODUCENT X is en hoe er geproduceerd wordt, moet er een onderscheid tussen verscheidene productiewijzen gemaakt worden. Het onderscheid is te maken door Make-to-Stock (MTS), Assemble-to-Order (ATO), Make-to-Order (MTO) en Engineer-to-Order (ETO) productiewijzen te beschrijven en aan te geven waar het Klantorderontkoppelpunt (KOOP) optreedt. Het KOOP is het punt in productie waar het product aan een klant gekoppeld wordt en naar wens van de klant verder afgewikkeld wordt. (Jacobs, Berry, Whybark, & Vollman, 2005)

- Ondernemingen die produceren om de voorraad aan te vullen staan bekend als MTS ondernemingen. De klant krijgt direct uit voorraad geleverd. Het grootste probleem is het bepalen van de benodigde voorraad tegenover de hoogte van de servicegraad. Men wil met zo min mogelijk voorraad de hoogst mogelijke servicegraad behalen. Het KOOP ligt na de eindassemblage van het product, zodat enkel bezorgwijze nog per klant kan verschillen.

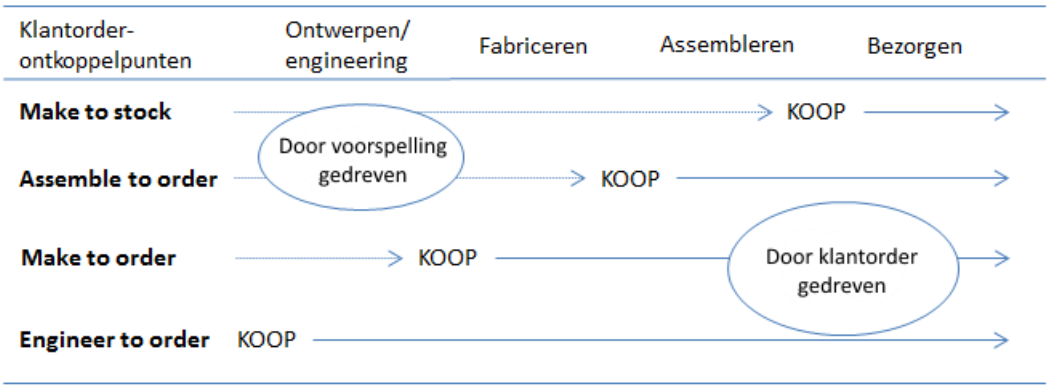
- Voor ondernemingen die ATO produceren geldt dat vanuit een aantal basis onderdelen en opties een product naar wens kan worden samengesteld. Deze methoden leiden meestal tot het op voorraad houden en op voorhand produceren van allerlei onderdelen waar nog niet een daadwerkelijke klantvraag naar is. Niet alle geproduceerde componenten worden direct afgezet, waardoor voor lange tijd voorraden kunnen ontstaan. KOOP ligt voor het

daadwerkelijk monteren van het product, aangezien de productsamenstelling pas duidelijk is nadat de order geplaatst is.

- Wanneer een onderneming vanuit de ruwe grondstoffen en basis onderdelen een product voor de klant in orde maakt, spreekt men van een MTO onderneming. Het belangrijkste goed bij deze productiewijze is de klanteisen goed te weten komen, waardoor enige voorbereidingen aan de productie kunnen plaatsvinden. Pas als dan de order geplaatst is, kan er daadwerkelijk begonnen worden met productie. Hier ligt het KOOP na het ontwerpen en engineeren, doordat klanteisen zo goed als duidelijk zijn en het voorbereidende werk al gedaan is.

- ETO ondernemingen werken samen met de klant aan ideeën en ontwerpen van het product. Vanuit deze ontwerpmethode worden, net als bij MTO, vanuit ingekochte grondstoffen en onderdelen het eindproduct gefabriceerd. Productie is officieel al begonnen vanaf het punt dat de klant en de onderneming brainstormen over engineering.

Er kan gesteld worden dat een onderneming vaak niet in één enkele productiewijze te vatten is. Er is vaak een combinatie van twee of drie productiewijzen. (Jacobs, Berry, Whybark, & Vollman, 2005) In figuur 2.1.1 is een weergave te zien van de productiewijzen en hun verhouding tot het KOOP. In paragraaf 3.2.1 en 3.2.2 is beschreven hoe PRODUCENT X met de verschillende onderdelen van een PRODUCTGROEP Y machine omgaat. Daarbij is vermeld waar in deze figuur PRODUCENT X zich bevindt.



figuur 2.1.1 Klantorderontkoppelpunt (Olhager, 2010)

De plaats van het KOOP vertelt al veel over de typen voorraden en hoe men hier mee omgaat binnen een onderneming. Een bondige beschrijving van de mogelijke typen voorraden staat beschreven in paragraaf 2.2.1. Daarnaast hebben typen voorraden invloed op het bijhouden, bijwerken en aanvullen van voorraden. In de paragrafen 2.2.4 tot en met 2.2.6 wordt ingegaan op het bijhouden, bijwerken en aanvullen van voorraad.

2.2 Voorraadbeheer

Hoe een onderneming met voorraad omgaat, hangt af van de productiewijze, maar óók van de types voorraden die ze vooral heeft. In paragraaf 2.2.1 komen deze typen aan bod. Er kunnen anonieme voorraden bijgehouden worden of indelingen gemaakt naar waarde, grootte, urgentie in het productieproces of hoeveelheden benodigd voor de veiligheidsvoorraad. Deze indelingen van voorraad worden in paragraaf 2.2.2 besproken. Voorraadniveaus kunnen ook bijgehouden worden door verschillende soorten systemen en methoden, zoals wordt beschreven in paragraaf 2.2.4. Daarnaast zal voorraadinformatie bijgewerkt moeten worden en zal voorraad eventueel aangevuld moeten worden. Dit wordt in respectievelijk 2.2.5 en 2.2.6 besproken.

Hoe PRODUCENT X in de huidige situatie voorraden beheert, wordt beschreven in paragrafen 3.3.1, 3.4.3 en 3.4.4. Deze voorraadbeheersing wordt beschreven voor de beantwoording van de IST vragen. Welke knelpunten er ondervonden worden in de huidige situatie wordt daarna aan de hand van de BOTTLENECK vragen in hoofdstuk 4 beschreven.

2.2.1 Typen voorraden

Binnen een onderneming kan men spreken van grofweg drie verschillende typen voorraden. Onder deze drie voorraden vallen de ruwe materialen en koopdelen die bij een onderneming binnen komen. Daarna volgt de voorraad benoemd als Work in progress (WIP), waarbij al waarde toegevoegd is aan het product. Al zal hier nog wel wat aan moeten gebeuren. Als laatste hebben ondernemingen vaak een voorraad van gereed product.

Naast dat typen voorraad worden gescheiden door de productiefase waarin zij zich bevinden, kan voorraad ook gescheiden worden naar functie. Zo kunnen voorraden ook beschouwd worden als veiligheidsvoorraad of seizoensvoorraad. Een veiligheidsvoorraad is een voorraad die op peil gehouden wordt om aan toekomstige klantvragen te kunnen voldoen. De klantvraag is vaak niet bekend, dus verkleint een veiligheidsvoorraad de kans op een nulvoorraad. Bij een nulvoorraad kan niet geleverd worden aan de klant. Seizoensvoorraden zijn een variant op veiligheidsvoorraden, waarbij voorraden aangehouden worden, doordat in een bepaalde tijd van het jaar meer of alleen maar klantvraag is. (Jacobs, Berry, Whybark, & Vollman, 2005)

Om te bepalen welke voorraden aangehouden worden, wordt er vaak een voorraadindeling gemaakt. Deze voorraadindeling is er enkel om de manier van behandeling te bepalen. In de volgende paragraaf wordt hier op ingegaan.

2.2.2 Voorraadindeling

Voorraden binnen een onderneming kunnen een verschillende behandeling krijgen. Dit kan een verschillende bestelpolitiek, hoge urgentie in het productieproces en bijvoorbeeld differentiatie van waarde zijn. Een artikel van hoge waarde kost hoogstwaarschijnlijk meer om op voorraad te houden dan een doosje met schroeven. Een onderscheid en daarmee een verdeling van voorraad kan gemaakt worden door voorraden als anoniem of klantspecifiek te beschouwen, maar dit kan ook door gebruik van de ABC classificatie methode. Hoe PRODUCENT X dit echter doet, wordt beschreven in paragraaf 3.2.

Anoniem of klantspecifiek

Met een anonieme voorraad wordt bedoeld dat de daadwerkelijke fysieke voorraad die op de plank ligt niet toegeschreven is naar een specifieke klant, vandaar de naam anoniem. (SAP, 2014) De voorraad wordt aangelegd voor meerdere klanten die nog niet specifiek bekend zijn. Theoretisch gezien zou het enkel bijhouden van dit soort voorraad een ATO onderneming perfect beschrijven. (Duijser, 2009) Het KOOP ligt dan voor het assembleren en de productie is bijna volledig door voorspelling gedreven. Dit houdt in de praktijk in dat deze voorraad op peil wordt gehouden op basis van verwachtingen en een daarmee bepaalde veiligheidsvoorraad heeft. Er zijn een aantal redenen waarom sommige onderdelen beter niet op basis van een order besteld dan wel geproduceerd kunnen worden. (Steenwoerd, 2013)

1. Artikelen kunnen bijvoorbeeld vaak nodig zijn, waardoor er beter op basis van een prognose een veiligheidsvoorraad aangelegd kan worden. Dan kunnen bestelkosten en werktijd voor alle bestelactiviteiten gereduceerd worden.
2. Ook kunnen artikelen met een langere levertijd dan de doorlooptijd (van het te maken eindproduct) beter op voorhand gereed liggen.

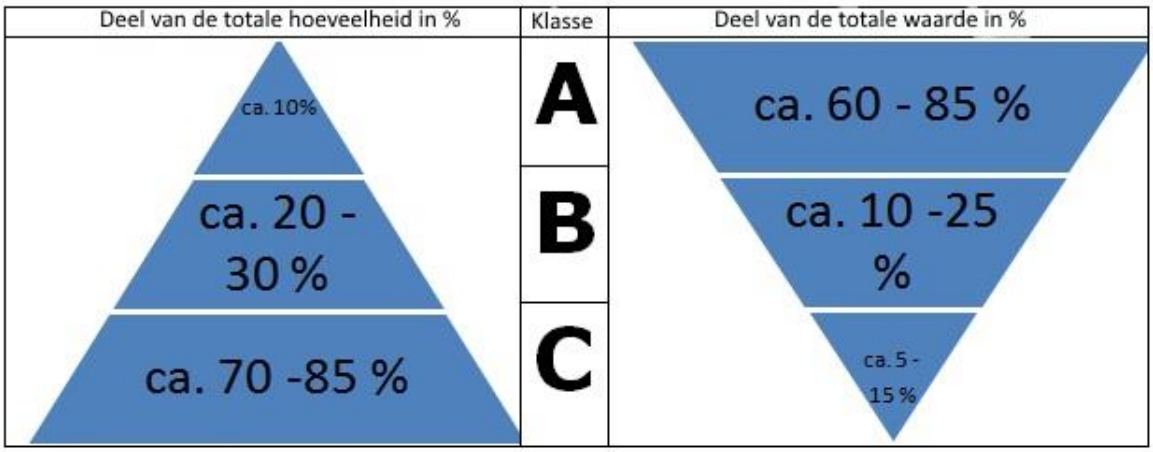
3. De waarde van bepaalde artikelen is zo laag, dat het niet opweegt om hier een geavanceerde controle op na te houden. Klantspecifieke voorraad is voor deze artikelen niet nodig.
4. Ten vierde kunnen minimale bestelhoeveelheden gelden voor artikelen. Zoals speciale onderdelen die via de toeleverancier per honderdtal afgenomen moeten worden.
5. Als laatste gelden bij bestelorders vaak schaalvoordelen. Waarmee bedoeld wordt dat in grote aantallen artikelen bij de toeleverancier bestellen vaak kortingen oplevert. Voor te produceren onderdelen gelden echter ook nog schaalvoordelen. Hoe seriematiger, hoe goedkoper de productie per onderdeel. (Investopedia, 2014)

Deze redenen geven voor een onderneming vaak de doorslag om een voorraad in te delen in een anonieme en een reguliere klantspecifieke voorraad. Productiewijze en de manier van voorraadbeheer kan gekozen worden op basis van de indeling die gekozen is naar aanleiding van deze redenen.

ABC classificatie methode

Een indeling van de voorraad volgens de ABC classificatie methode kan vergeleken worden met de indeling naar anonieme of klantspecifieke voorraad. Echter wordt bij de ABC methode vooral gekeken naar de orde van urgentie dat een artikel in een productieproces heeft. Hoe urgent een artikel is, hangt onder andere samen met de kosten of de hoeveelheid die voor productie nodig zijn. (Slack, Chambers, & Johnston, 2010) Het doel wat ABC classificatie voornamelijk heeft, is belangrijke van minder belangrijke artikelen onderscheiden en daarmee pogen een economisch voordeel te behalen. (Hinrichs, 2011)

Een vaak gebruikte methode is het kijken naar de gebruikswaarde, als score, per artikel. De score is in dit geval het gebruiksratio maal de waarde van het artikel. Deze gebruikswaarden voor alle artikelen kunnen tegen elkaar afgezet worden, zodat een verdeling te maken valt. Er wordt niet alleen naar de waarde van artikelen gekeken, omdat een duur artikel tegenover een goedkoop artikel niet per definitie hogere voorraadkosten met zich meebrengt. Een hoge gebruikswaarde vereist meer aandacht qua planning en controleerbaarheid dan een artikel met lage gebruikswaarde. Uit de praktijk blijkt dat vaak een klein deel van de onderdelen in voorraad voor een grote proportie van de totale gebruikswaarde staan. Dit fenomeen staat bekend als het Pareto principe of de 80/20 regel, omdat typisch genoeg 80% van inkomsten, kosten of verkopen vaak veroorzaakt worden door 20% van de artikel typen. (Slack, Chambers, & Johnston, 2010) In figuur 2.2.1 is een voorbeeld van een classificatie schematisch weergegeven.



figuur 2.2.1 Classificatie voorbeeld met categorieën A, B en C (Hinrichs, 2011)

Het tegen elkaar afzetten van gebruikswaarden wordt in de praktijk vaak gedaan in tabellen. De totale som van gebruikswaarden per artikel wordt dan gesorteerd op orde van grootte. Na de sortering eindigt de analyse met het classificeren. (Hinrichs, 2011) Uit te voeren productiewijze en de manier van voorraadbeheer kan gekozen worden op basis van deze classificatie.

2.2.3 Voorraadniveau peilen

Om een voorraad op peil te houden moet een onderneming een controle hebben op inkomende en uitgaande goederen. De mate van controle op dit peil wordt bepaald door de methode die het hanteert. Ondernemingen kennen ruim genomen twee typen ofwel methoden. Deze methoden zijn continue en periodieke voorraad controle systemen.

Een periodiek controle systeem is een aanpak dan wel methode om een inventarisatie op bepaalde punten in de tijd van voorraadniveaus te doen. Hier kunnen vervolgens beslissingen uit voortvloeien met betrekking tot inkopen of produceren. Om dan daarna dergelijke voorraadniveaus aan te vullen. (Slack, Chambers, & Johnston, 2010) Ook kan na analyse van voorraad gekozen worden voor het ondernemen van geen actie en wordt enkel het voorraadniveau vergeleken met uit- en ingaande artikelen volgens verkopen en gemaakte prognoses. Op basis van die vergelijking kan blijken dat artikelen missen, waarvoor diverse redenen te bedenken zijn. Zoals het kapot gaan tijdens productie, diefstal door personeel, daadwerkelijk de voorraadlocatie niet kunnen vinden en het gebruik van een artikel voor een ander product, dan waarvoor deze oorspronkelijk stond voorschreven.

De tegenhanger van een periodiek systeem is een continue controle systeem waarbij voortdurend overzicht op voorraadniveaus is. Met deze methode van controleren wordt gekozen voor een systematiek waarbij voorraadniveaus intensief en zo actueel mogelijk bijgehouden worden.

Om deze controle op voorraadniveau te bewerkstelligen zijn er verschillende middelen, methoden, apparaten en werkwijzen mogelijk. Er kan onderscheid gemaakt worden tussen de manier van voorraad bijhouden, de manieren van bijwerken en tellen van voorraad en de manier waarop voorraad aangevuld wordt. Dit is beschreven in de paragrafen 2.2.4 tot en met 2.2.6.

2.2.4 Voorraad bijhouden

Zoals in paragraaf 2.2.3 staat vermeld, zal een onderneming voorraadpeilen door middel van een periodieke of continue controle. In de praktijk komen dergelijke combinatie-vormen ook voor. Waar een continue systeem wordt gehanteerd, kan bijvoorbeeld ook een jaarlijkse (periodieke) controle toegepast worden. Hoe PRODUCENT X voorraden bijhoudt, wordt aangehaald in paragrafen 3.3.1 en 3.4.3. Daarnaast dienen genoemde mogelijkheden als mogelijke oplossing in de afweging van hoofdstuk 5.

Ten eerste speelt dan mee dat informatie over voorraden ergens in opgeslagen en bijgehouden moeten worden. Dan kan hierop in de toekomst aanspraak gedaan worden.

Het bijhouden van voorraden kan op een aantal manieren, zoals hieronder is beschreven. Deze manieren zijn te verdelen in gecomputeriseerde en handmatige methoden. Onder de handmatige varianten zijn de methoden met nummers een tot en met drie te schalen en vier tot en met zes beschrijven de deels en volledig gecomputeriseerde systemen.

Handmatige methoden:

1. Uit het hoofd

Hierbij wordt voorraad op basis van ervaring, gezond verstand en bovenal uit het hoofd bijgehouden. Het voorraadniveau moet enkel onthouden worden door de personen die belang hebben bij die

voorraad die voor hun van toepassing is. Bij weinig variatie aan voorraadartikelen kan dit prima werken.

De methode is erg simpel en zal met enige ervaring goed uitgevoerd worden. Diegenen die belang bij de voorraadinformatie hebben weten het en anders kan in voorraad gekeken worden of gevraagd worden aan een andere persoon die het wel weet. Echter is het nadelig te noemen dat misverstanden snel gemaakt worden, doordat verkeerde aantallen onthouden worden of dat aantallen vergeten worden en er opnieuw voorraad dient aangevuld te worden. Naast dit is afhankelijkheid van personen die de ervaring hebben en voorraadinformatie opslaan in hun hoofd cruciaal.

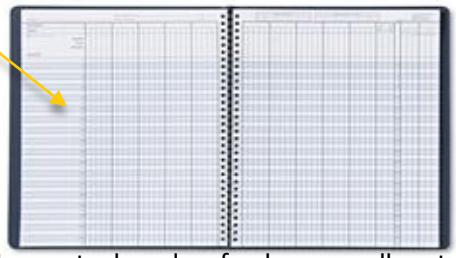
2. Voorraadboeken (stock-books)

Een voorraadboek is simpelweg een boek of een lijst waarin, van de gehele organisatie, alle voorraadniveaus bijgehouden worden. Het wordt bijgehouden als een soort logboek waarin in- en uitgaande voorraden beschreven staan. De methode wordt bij relatief kleine organisaties gebruikt. (Leeds Metropolitan University, 2014) In figuur 2.2.2 is een voorbeeld van een deel van een voorraadboek te zien.

Net als uit het hoofd is het gebruik van een voorraadboek gemakkelijk en met enige ervaring goed na te streven is. Voor kleinere bedrijven ideaal en heeft meer kans op geordend werken dan het bijhouden uit het hoofd. Ook blijft er veel afhankelijkheid van de personen die de ervaring hebben en voorraadinformatie dusdanig consequent op moeten slaan in het boek, om het correct en bruikbaar te houden. Kans dat verkeerde voorraadniveaus afgeboekt worden is groot, doordat voorraadboeken toch handwerk vereisen. Verkeerde kollommen en verkeerde rijen en andersom.

STOCK BOOK				
DATE	MATERIAL	RECEIPT	ISSUE	BALANCE

figuur 2.2.2 Voorraadboek (stock-book) (Inpaspages, 2014)



3. Voorraadkaarten (stock (record) cards)

Als derde handmatige methode is er het gebruik van stockcards, ofwel voorraadkaarten. Deze kaarten worden op de voorkant van een voorraadbak(je) bevestigd. Dit is vaak in een houder zodat in- en uitpakken van de kaart en het bijwerken van de voorraadgegevens gemakkelijk verloopt. Gegevens die een voorraadkaart kan bevatten zijn bijvoorbeeld:

- Artikelnaam
- Uniek identificatienummer
- Leverancier
- Hoeveelheid aanwezig
- Hoeveel in- en uitgaande artikelstromen

In figuur 2.2.3 is een voorbeeld van een voorraadkaart te zien met daarin de kolommen die gevuld worden met gegevens genoemds zoals hierboven vermeld. (World Health Organization, 2013)

De voordelen en nadelen die deze methode met zich meebrengt zijn vergelijkbaar met die van het voorraadboek. Echter kan nu wel op de daadwerkelijke locatie van elk afzonderlijk artikel in de voorraadgegevens gekeken worden. Een nadeel is dat er geen systeem voor alle voorraadgegevens samen is, zoals een voorraadboek dat wel heeft.

Item:								
Catalogue number:								
Vendor:								
Vendors information:								
Unit quantity:								
Lot number:	**Expiry date:**	**Date ordered:**	**Date of receipt:**	**Amount received:**	**Date of use:**	**Amount of used items:**	**Balance of items still in stock:**	**Signature:**

figuur 2.2.3 Voorraadkaart (World Health Organization, 2013)

Gecomputeriseerde methoden:

Met de handmatige methoden kan het ook mogelijk zijn dat deze een combinatie van elkaar vormen of in combinatie met gecomputeriseerde methoden. Gecomputeriseerde varianten zijn tegenwoordig meer gebruikelijk bij grote en ook steeds meer kleine organisaties. Hieronder vallen de methoden die hieronder beschreven zijn met de nummers vier tot en met zes.

4. Basis voorraad software

De meest simpele computer software die gebruikt wordt, is Microsoft Excel en daarnaast zijn er vele andere eenvoudige softwarepakketten die op een digitale manier een fysiek voorraadboek afdoende maken. Echter is de functionaliteit afhankelijk van de functies die je zelf toevoegt en bijhoudt. Als voorbeeld staat hier een kleine toelichting van twee systemen die als basis software gezien kunnen worden.

- Excel

Met Excel kan er op vele manieren voorraad bijgehouden worden. De meest eenvoudige systemen die gehanteerd worden zijn simpelweg elektronische versies van de voorraadkaarten en voorraadboeken. Hiervoor zijn verschillende templates in Excel in te laden die naar eigen wens aan te passen zijn. Naast Office die zulke templates aanbiedt zijn er ook nog vele andere organisaties gebruikers die dit aanbieden. In figuur 2.2.4 is als voorbeeld een deel van template te zien die Microsoft Office verschaft. (Microsoft Office, 2013)

Ten opzichte van de handmatige methoden heeft dit dezelfde functionaliteit, maar dan gecomputeriseerd en is er een mogelijkheid tot het delen met het gehele computernetwerk en kan door iedereen gezien worden wanneer er bijgewerkt is en wordt. Naast het gebruik van templates kan er ook door een gevorderde gebruiker een compleet eigen systeem opgebouwd worden, waarbij met handige macro's een gemakkelijk dashboard te bouwen is.

EQUIPMENT INVENTORY LIST

Location

East coast | Mai

PHYSICAL CONDITION						
Asset or serial number	Item description (make and model)	Location	Condition	Vendor	Years of service left	Initial v
123	Make Model	Main branch	Good	local	5	$
456	Make Model	Main branch	Excellent	local	3	
789	Make Model	East coast	Fair	local	6	$

figuur 2.2.4 Template van voorraadsysteem in Microsoft Office Excel (Microsoft Office, 2013)

- Basis software, zoals inFlow Inventory Software (inFlow, 2014) en e-Stockcard (e-Stockcard, 2014).

Deze twee software modules zijn als voorbeeld genoemd, aangezien er een overvloed aan aanbieders is van voorraadbeheer software. Deze delen bijna allemaal dezelfde functionaliteit. Deze programma's kunnen gezien worden als een uitgebreidere en digitale vorm van voorraadkaart of -boek. Waarbij er net als bij een Excel systeem tegelijk in een spreadsheet gewerkt kan worden.

Net als een de manuele systemen kan een locatie toegewezen worden aan elk artikel. Sorteringen op locatie worden hierdoor mogelijk. Hoe dit artikel is voortbewogen en wanneer kan daarbij ook toegevoegd worden. De meest basis systemen kunnen dit al vaak door middel van een barcode systeem. Uitleg over een barcode systeem volgt verderop in dit hoofdstuk.

Om alle producten uit elkaar te houden kan gebruik gemaakt worden van unieke artikel codes. Deze codes kunnen in sommige gevallen opgehaald worden uit gebruikte systemen. Of automatisch gegenereerd door het programma. Als verschil met een Excel systeem kunnen kooporders en verzendopdrachten ook door een dergelijk systeem gegenereerd worden. Voorraadniveaus kunnen op deze manier ook tot een melding van laag volume leiden. Een inkoopdracht kan door de software aangedragen worden als advies daarop.

5. ERP systemen

ERP systemen zijn systemen waarbij controle op alle bedrijfsprocessen van een heel bedrijf, of zelfs een hele keten van bedrijven met bijvoorbeeld klanten en leveranciers, ineen mogelijk is. Een volledige uitleg met voor- en nadelen van deze systeemvorm is beschreven in paragraaf 2.3. Omdat de functionaliteit van ERP veel verder gaat dan alleen voorraad bijhouden staat dit beschreven in een aparte paragraaf.

6. WMS

Warehouse management systemen worden gebruikt als voorraad controle systeem die de controle bewaart totdat een order afgehandeld is. Hier wordt ook bijgehouden wanneer een artikel zich beweegt van het ontvangen tot bewerken. Doordat deze systemen ook meer functionaliteit dan alleen voorraad bijhouden bieden zal verder op WMS ingegaan worden in paragraaf 2.4.

2.2.5 Voorraad bijwerken en tellen

De dergelijke voorraadinformatie, ongeacht de wijze van bijhouden, moet te wijzigen zijn.

Het bijwerken van voorraadniveaus kan, eveneens als het bijhouden, gedaan worden op diverse manieren. Onder diverse manieren vallen manuele methoden, verschillende typen barcode systemen of toepassingen van RFID. Hieronder zal een verdere uitleg volgen en in hoofdstuk 3 wordt verteld hoe dit bij PRODUCENT X verloopt. Daarnaast dienen genoemde mogelijkheden als mogelijke oplossing in de afweging van hoofdstuk 5.

1. Manueel bijwerken

Met het manueel bijwerken en tellen van voorraadgegevens kan het invoeren met een daadwerkelijk computertoetsenbord verbonden aan een computer en het invoeren via een toetsenbord van een handheld apparaat bedoeld worden. Hier kan gedacht worden aan handelingen als het handmatig tellen van een voorraadniveau die dan direct ingevoerd wordt in een mobiele voorraadcomputer of stationaire computer of op een andere locatie zodat er meer geleund wordt op het goed onthouden, of het goed overbrengen van de correcte voorraadinformatie.

De kans op fouten bij het tellen en invoeren van voorraadgegevens is groter dan bij een barcode of RFID systeem. Tellen moet in dit geval handmatig en invoeren zal met de nodige typfouten gebeuren. Met een gewoon qwertytoetsenbord wordt al snel een op de 50 woorden verkeerd aangeslagen. Laat staan met het gebruik van handzame invoerapparaten, waarbij het op kan lopen tot een op de tien invoerfouten. (Sabbir Arif & Stuerzlinger, 2009) Als er ook nog eens later in een systeem ingevoerd moet worden, kunnen er ook nog transmissie fouten ontstaan.

2. Barcode systemen

Om manueel bijwerken deels of bijna volledig uit te bannen kan gebruik gemaakt worden van een barcode systeem. Met een barcode systeem kan ten opzichte van een, manuele methode hogere accuraatheid, snelheid van invoeren en transmissie van informatie behaald worden. Doordat dit al jaren gebruikt wordt door elke soort van industrie, is het gebruik van barcode systemen beproefd en succesvol toe te passen. Het wordt vooral gebruikt bij voorraadmanagement, in de Retail sector, bij warehousing en de distributie van organisaties. Er wordt hoe langer hoe meer geleund op barcode systemen, doordat voorraad binnen een organisatie gevolgd kan worden, zodat een efficiënte productflow in en uit voorraad bewerkstelligd wordt. (Manthou & Vlachopoulou, 2001) Invoerfouten zoals genoemd bij manueel bijwerken kunnen niet voor komen.

Wat een barcode daadwerkelijk is, kan het beste omschreven worden door de bedenker en maker van de eerste barcodes, Denso Wave. Denso Wave omschrijft barcodes als een compositie van balkjes en leegtes van elk variërende breedtes. Deze variatie van streepjes en leegtes is te begrijpen door machines. (Denso Wave Incorporated, 2014) Om de code in een machine te krijgen, moet deze gelezen worden door een barcode lezer. Een voorbeeld hiervan is te zien in figuur 2.2.5.

figuur 2.2.5 Barcode lezer/scanner (EVO, 2014)

Welke lezer geschikt is hangt af van het type code wat gehanteerd wordt, want die bestaan er namelijk in verschillende vormen en met verschillende functionaliteiten en voor- en nadelen. Naast de redelijk bekende standaard (streepjes) barcode zijn er ook nog coderingen met hele andere sorteringen van

blokjes. Deze alternatieven staan bekend als 2-dimensionale barcoderingen, terwijl de eerste formeringen met enkel balkjes 1-dimensionale genoemd worden. 1-D en 2-D codes staan afgebeeld in figuur 2.2.6. Deze 2-D coderingen, zoals de meest bekende QR code en een Data Matrix hebben significante voordelen wat betreft leessnelheid, leesfouten, meer leesmogelijkheden qua invalshoek bij lezen en meer dataopslag. Hogere leessnelheid wordt mede veroorzaakt, doordat niet elk balkje gescand dient te worden en het inbrengen van de barcode lezer onder elke mogelijke hoek gebeuren kan. Minder kans op leesfouten doordat er ingebouwde fout correctie in zit die tot 15% beschadiging leesbaar blijft. Ook kunnen 2-D codes meer tekens opslaan, namelijk tot 100 keer zoveel. Een 1-D barcode is qua tekenlengte erg beperkt doordat meer tekens meer streepjes en leegtes betekent. Een lange barcode bevordert niet de leesbaarheid en vergroot de kans op beschadiging van de code door gebruik. (AllBidigit Group, 2012)

figuur 2.2.6 Voorbeelden van 1D en 2D codes (Goodwin O. , 2012)

2. RFID toepassingen

Net als een barcode systeem kan het manueel bijwerken en tellen helemaal uitgebannen worden met gebruik van Radio Frequency Identification (RFID) systemen. Echter kan het gebruik van RFID nog meer functionaliteit als Barcodes, laat staan manueel bijwerken en tellen, bieden.

RFID is het beste te omschrijven als een uniek identificatienummer die toegewezen is aan een specifiek artikel en is opgeslagen in een speciale chip die gelezen kan worden door RFID lezers, oftewel poorten. Het lezen en schrijven van deze chips gaat middels radiogolven die over en weer worden verzonden. (Ustundag & Tanyas, 2009) Dit betekent dat een chip draadloos gelezen en bewerkt kan worden. Over wat voor afstand gelezen of dat er überhaupt bewerkt kan worden, hangt af van het type chip. Er zijn namelijk actieve en passieve RFID chips verkrijgbaar. De leespoorten lezen een RFID chip op het moment van doorgaan, zoals te zien is in figuur 2.2.7. Een dergelijke chip kan geprint worden op een verpakking of direct aan een product bevestigd worden.

figuur 2.2.7 RFID poort (Habé Centrale Retourencentra, 2014)

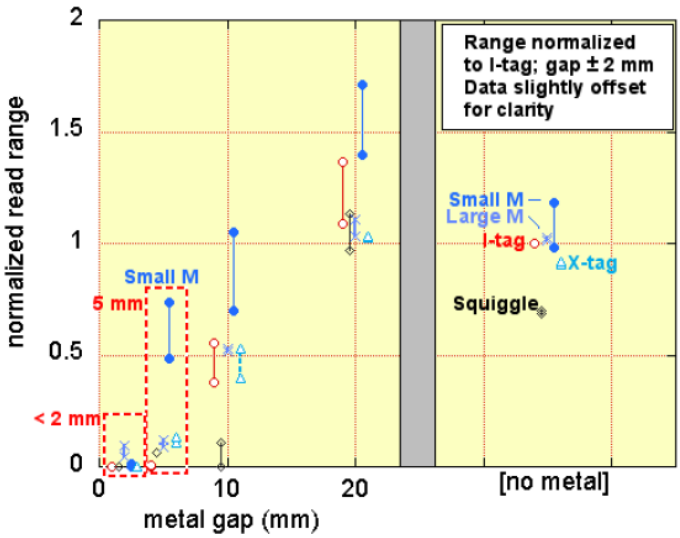
Actieve RFID chips zijn chips die gevoed worden door een interne batterij om hun stroomkring te laten werken. Door deze batterij is het onder andere mogelijk om voortdurend een radiosignaal uit te zenden. Gebruikelijk met deze actieve chips is het uitzenden met een maximum van 30 tot zelfs over de 100 meter, afhankelijk van de batterijsterkte. De passieve chips werken, in tegenstelling tot de actieve, volledig op energievoorziening van de lezer. Vandaar dat het maximale bereik van deze tags tot ongeveer zes meter loopt. Het grootste voordeel van passieve chips tegenover actieve is vooral de prijs. Dit wordt vooral veroorzaakt door de hoeveelheid elektronica waaruit een actieve chip is

opgebouwd. Passieve chips kosten per stuk tussen de vijf en zestien eurocent, terwijl prijzen van actieve chips fors kunnen oplopen. (Bonsor & Fenlon, 2011) Een afbeelding van een RFID chip is te zien in figuur 2.2.8.

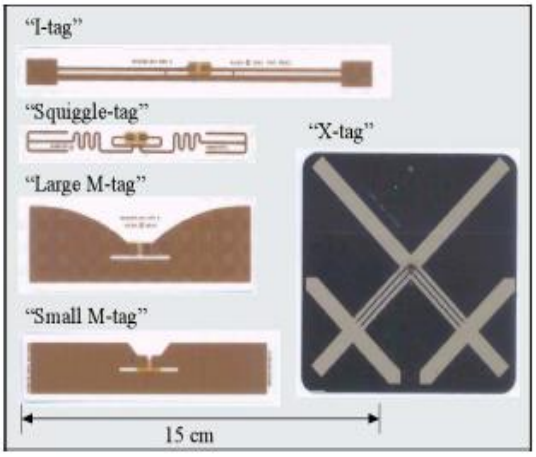
figuur 2.2.8 RFID chip (Fefco, 2014)

Voordelen en functionaliteit die een RFID systeem kan bieden hangt af van de systeeminrichting. Ook speelt de keuze voor een bepaald type chip mee. Echter geldt over het algemeen dat een RFID chip ten opzichte van een barcode veel meer informatie kan opslaan, over een ruime afstand te lezen is en meerdere chips dan wel producten tegelijk gelezen kunnen worden. Ten eerste geldt dat RFID chips meer dan 64 bits aan informatie kunnen houden tegenover enkel 19 bits op een barcode. Meer opslagcapaciteit betekent extra informatie als voorraadlocatie, geschiedenis en bestemmingsinformatie. (Véronneau & Jacques, 2009) Vanaf ruime afstand lezen geeft vele voordelen doordat een beweging van een artikel altijd te volgen is, kan er nooit vergeten worden te scannen en is kans op verdwijnen van voorraad door diefstal, incourantheid of beschadigen nihil. Dit zorgt samen voor het opvoeren van zekerheid op controle en behoudt van voorraad. (Ustundag & Tanyas, 2009)

Nadelen van RFID zijn er ook, ondanks het feit dat gebruik van een dergelijk systeem voor de gebruiker een heus feest kan zijn. Er hoeft immers niet nagedacht te worden over het scannen van artikelen. Echter kan dit lezen van RFID chips op afstand lastig worden in bepaalde omgevingen. Zo kunnen omgevingen met veel metaal voor verstoringen van de benodigde radiogolven zorgen. (Chen, Kuo, & Lin, 2009) In figuur 2.2.9 is te zien hoe het leesbereik van verschillende chips zich verhoudt tot de afstand van metaal tot deze chip. In de figuur is te zien dat hoe dichter de chip op het metaal zit, hoe minder de leesbaarheid wordt. Alle chips/tags vertonen eigenlijk geen leesbereik meer als deze binnen twee millimeter van het metaal verwijderd zijn en onder ‘no metal’ wordt bedoelt geen metaal én binnen 50 centimeter geen verdere obstakels. De chips die vergeleken worden in figuur 2.2.9 staan afgebeeld in figuur 2.2.10 en daarbij gaat het om de “I-tag”, de “Squiggle-tag”, de kleine en de grote “M-tag” en de “X-tag”. (Dobkin & Weigand, 2005) Zoals eerder geschreven kosten de chips minimaal ongeveer 6 eurocent per stuk, dit is in verhouding tot een geprinte barcode een stuk kostbaarder. Een barcode kost enkel inkt. Naast deze nadelige kostprijs van de chips en mogelijke omgevingsverstoringen zal ook altijd een vast patroon van de beweging van voorraad moeten gebeuren. Veel van de systemen hebben een vaste route die doorlopen moet worden. Echter is het scannen van artikelen met een barcode systeem ook een vaste methode van bijwerken die niet ook simpelweg gedaan zal moeten worden.



figuur 2.2.9 Leesbaarheid in de buurt van metaal (Dobkin & Weigand, 2005)



figuur 2.2.10 Afbeelding van gebruikte chips uit figuur 2.2.9 (Dobkin & Weigand, 2005)

Alternatieve RFID oplossing: NFC

Als redelijk nieuwe variant van RFID is Near Field Communication(NFC) te noemen. Deze manier van RFID kan nadelen van een gebruikelijk systeem uitwissen, waarbij echter ook weer nieuwe nadelen opdoemen.

NFC is zoals de naam al doet verraden een, op RFID gebaseerde, methode die over korte afstanden communiceert. Welke geschikt blijkt voor applicaties en professionele invulling in een industriële omgeving. Wat NFC een makkelijke manier van informatie bijwerken maakt, is de benodigde handeling. Het aanraken van een chip met een lezer is het enige wat de gebruiker hoeft te doen. Maximaal tot een afstand van 20 centimeter, maar vaak tot een paar centimeter kan gelezen worden. Ten opzichte van een barcode systeem heeft dit als voordeel dat een lezer niet onder een bepaalde hoek ingebracht dient te worden, wat zorgt voor het snel lezen van een chip. (Sallinen, Strömmer, & Ylisaukko-oja, 2008) Als laatste voordeel heeft deze korte afstand communicatie geen haken en ogen bij gebruik in een industriële omgeving, zoals een fabriek. (Sallinen, Strömmer, & Ylisaukko-oja, 2007)

Nadelen van een dergelijk systeem met NFC zijn wederom de kosten en ten opzichte van RFID de korte afstand die anders wel gehaald kan worden. De chips zijn duur in vergelijking met de inkt die benodigd is voor het printen van een barcode. Daarentegen is een lezer niet per definitie duurder, doordat relatief nieuwe smartphones zelfs al een NFC verbinding kunnen opzetten. Een constante update van de beweging van voorraad met behulp van NFC is niet praktischer dan het gebruik van een barcode. RFID gebruik over langere afstand is als enige in het voordeel ten opzichte van barcodegebruik hierbij.

2.2.6 Voorraad aanvullen

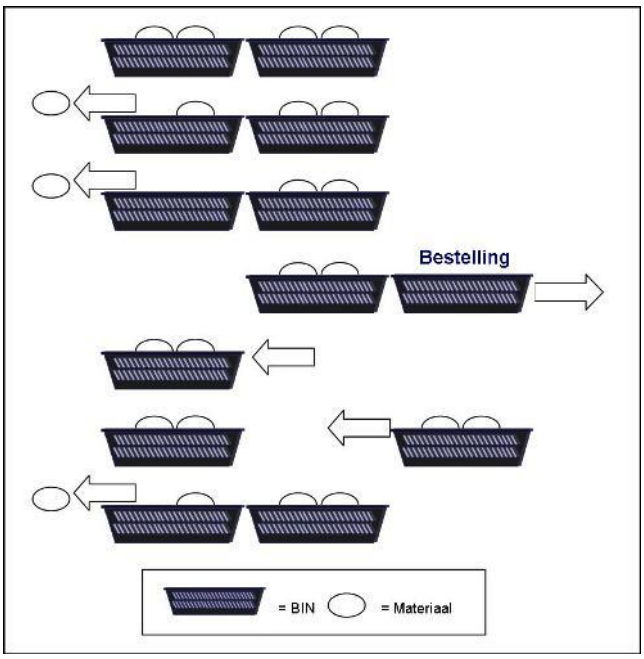
Als laatste zal bij een tekort aan voorraad, de voorraad aangevuld moeten worden. Hoe PRODUCENT X dit doet wordt beschreven in hoofdstuk 3 en wat hiermee fout gaat in hoofdstuk 4. Daarnaast dienen genoemde mogelijkheden als mogelijke oplossing in de afweging van hoofdstuk 5.

Voor het aanvullen van een te laag voorraadniveau kan er op verschillende manieren aangezet worden tot aanvullen. De manier van aanvullen wordt hier per definitie niet mee bedoelt. Alarmeringen van computer systemen, periodieke controles, misgrijpen bij gebruik en het gebruik van een two-bin systeem kan een aanleiding tot aanvullen brengen.

Met het gebruik van een gecomputeriseerde systeem kan er vaak een alarmering geïmplementeerd worden voor het waarschuwen van lage voorraadniveaus. Een te laag voorraadniveau is in dit geval een niveau lager dan de vooraf bepaalde veiligheidsvoorraad. Als een dergelijke alarmering gegeven wordt kan een inkooporder automatisch aangemaakt worden, een inkoopadvies gegeven worden of simpelweg alleen het te kort in voorraad aangeven worden.

Door een periodieke controle kunnen te lage voorraadniveaus ook opgemerkt worden. In dit geval wordt vaak bijbesteld op basis van ervaring en prognoses, ofwel gewenste veiligheidsvoorraden. Ook kan tijdens het produceren pas opvallen dat er te weinig artikelen voor productie aanwezig zijn. Bij dit misgrijpen, zal zo snel mogelijk besteld en aangevuld moeten worden. Schaalvoordelen en kortingen voor vroegtijdig bestellen, kunnen nu geen invloed meer hebben op een gunstige kostprijs.

Naast een gecomputeriseerd systeem, een periodieke controle of het misgrijpen als motivator voor het aanvullen van voorraad kan er ook aanzet tot aanvullen worden veroorzaakt door middel van een two- of three-bin systeem. (Slack, Chambers, & Johnston, 2010) Wat simpelweg met twee of drie voorraadbakjes werkt. De indeling van een two-bin systeem berust op het achter elkaar plaatsen van twee of drie voorraadbakjes, in een stelling. Bij gebruik van twee bakken geldt de eerste bak als de grijpvoorraad voor uitgaande artikelen en de tweede als reservevoorraad voor de eerste bak. In deze tweede bak zit in het gunstigste geval precies genoeg onderdelen voor gebruik totdat de lege bak weer gevuld is in die tijd. In figuur 2.2.7 is schematisch te zien hoe dit systeem werkt. Er wordt gesproken van een three-bin systeem als er tussen deze eerste en tweede bak van het two-bin systeem nog een derde bak bevindt. Deze bak dient als buffer, aangezien de lege bak verlaat gevuld kan worden. Echter kan er ook telkens iets meer voorraad in beide bakken gehouden worden als buffer in het two-bin systeem.



figuur 2.2.7 Two-bin systeem (LeanENT, 2014)

Artikelen die geschikt zijn om aan te vullen met een two-bin systeem moeten aan een viertal criteria voldoen. (Miltenburg & Wijngaard, 1991)

1. Het artikel moet standaard zijn en een regelmatig verbruikspatroon vertonen.
2. Indien het artikel een productie-artikel is, zullen de materialen benodigd voor deze productie korte doorlooptijden moeten hebben.
3. Artikelen waarbij alle operaties voor het gereed maken binnenshuis gedaan kunnen worden.
4. Artikelen zijn koopdelen en hebben korte levertijden.

2.3 ERP systemen

Om alle bedrijfsprocessen onder controle te hebben, gebruiken ondernemingen veelal ERP systemen. Een Enterprise Resource Planning (ERP) systeem is een set van geïntegreerde software applicatiemodules die als doel hebben informatiestromen te controleren binnen een onderneming. Elke gebruiker kan via een computer in het systeem komen en kijken in de database van de organisatie. In het meest gevorderde geval kunnen data aanpassingen op het moment van uitvoering zichtbaar veranderen in het systeem. Data analyses, door gebruikers, kunnen snel en gemakkelijk verlopen. Data in een ERP systeem kan bijvoorbeeld voorraaddata of verkoopdata zijn, maar ook data van klanten en werknemers. (Drury, 2012) In hoofdstuk 3 wordt er beschreven welk type ERP systeem PRODUCENT X gebruikt en welke functionaliteiten benut worden. Daarnaast dient ERP nog als mogelijke oplossing in de afweging van hoofdstuk 5.

De voordelen en mogelijkheden van ERP systemen zijn immens, maar er zijn ook nadelen en gevaren die niet vergeten moeten worden.

De voordelen van een ERP systeem zijn onder andere (Slack, Chambers, & Johnston, 2010):

1. Door dat alle processen in een onderneming gekoppeld zijn, is er door de hele onderneming zichtbaar wat er gebeurd en waar dat gebeurd.
2. De mate van controle over alle processen is vele malen groter, waardoor continue verbeteringen mogelijk zijn. Ook zijn deze gemakkelijker door te voeren en te realiseren.
3. Communicatie met klanten en leveranciers wordt gemakkelijker doordat informatie up-to-date en betrouwbaar is.
4. Leveranciers en klanten kunnen ook in het systeem betrokken raken door hun bedrijfsinformatie te delen, waarbij de onderneming dit ook terug doet. Deze (geselecteerde) data integratie een win-win situatie op.

Enkele gevaren en nadelen van een ERP systeem zijn bijvoorbeeld (Slack, Chambers, & Johnston, 2010):

5. De totale kosten van een ERP systeem worden vaak onderschat.
6. De tijd en moeite die bij de implementatie komt kijken wordt vaak onderschat. Elk proces moet geschikt gemaakt worden voor het delen van informatie.
7. De deskundigheid binnen een onderneming wordt vaak overschat, waardoor van buitenaf mensen met vakkennis aangehaald moeten worden om de klus te begeleiden. Veel tijd is vaak al gespendeerd, voordat dit pas geconstateerd wordt.
8. De grootte van de aanpassingen die bedrijfsprocessen moeten ondergaan worden vaak onderschat.
9. De gebruikers van het system zullen altijd terugkomende trainingen moeten blijven bijwonen. Dit komt veelal door updates en het toevoegen van nieuwe ERP-modules.
10. Regelmatig komt het voor dat ondernemingen op het laatste moment de noodzaak van verandermanagement in zien, maar dat het dan al te laat is. Veranderingen aan de bedrijfscultuur kosten meer moeite en expertise dan verwacht.

De implementatie en gebruik van ERP kent dus vele voordelen, maar ook gevaren. In hoeverre er gebruik gemaakt moet worden van een ERP systeem en tot welke mate dit geïmplementeerd wordt hangt af per onderneming en branche.

2.4 WMS systemen

WMS wordt, zoals al gezegd, gebruikt voor het bijhouden van voorraad, alleen dan niet alleen het voorraadniveau. Er wordt ook een voorraadlocatie bijgehouden, waarbij het ingaan en uitgaan van artikelen ook wordt bijgehouden. De voordelen die WMS biedt zijn (Barcoding Incorporated, 2014):

- Inzicht krijgen in het ontvangen van nieuwe voorraadartikelen. Hierbij hoort niet alleen het ontvangen van de artikelen, maar ook het toewijzen van een geschikte locatie. De ontvangsthal is meestal niet een geschikte voorraadlocatie.
- Voorraadlocatie zijn zo exact mogelijk in te voeren. Daardoor kan de software ervoor zorgen dat gebruikers de kortste route bij het orderpicken voorgeschoteld krijgen. Hierdoor wordt tijd bespaart.
- Het orderpicken gaat beter doordat een pick-route gegeven kan worden, die bijvoorbeeld op een mobielapparaat van de werker te zien is. Hierbij kan gebruik gemaakt worden van scanners met bijvoorbeeld barcodes. Het systeem controleert dan onmiddellijk of de juiste artikelen van de pick-route daadwerkelijk uit voorraad worden gehaald.
- Inpakken en gereed maken voor verzenden kan gedaan worden doordat artikelformaten ingebracht zijn. Hierdoor kan de grootte van karton voor het verpakken aangegeven worden. Dit vermindert verspilling van inpakmateriaal.

Kortom het grootste voordeel van WMS is, het niet uit het oog verliezen van voorraad. Doordat locaties gekozen worden en er niet onnodig gezocht hoeft te worden. Waarbij uiteraard de voorraadniveaus bekend zijn.

In vergelijking tot ERP kan gezegd worden dat WMS enkel voor intelligente oplossingen zorgt qua locaties. Een zo actueel mogelijke status van voorraad wordt hiermee verkregen. Optimale locaties kunnen bepaalt worden op basis van voorgaande orders. Bepaalde artikelen zullen meer vooraan in een magazijn komen te liggen, of juist meer achteraan. WM systemen zijn vaak losse modules die voor andere processen in een bedrijf weer andere softwarepakketten vereisen. De werkingswijze is bijna hetzelfde als die van ERP en ligt ook redelijk dicht bij de basis softwaresystemen, zoals die in paragraaf 2.2.4 zijn beschreven.

ERP systemen zorgen er voor dat verschillende bedrijfsprocessen met elkaar samen werken en informatie kunnen delen. Hierbij kan het ook zo zijn dat naast accounting, management systemen voor relaties met leveranciers en klanten er ook voorraadinformatie bijgehouden kan worden. Het nadeel voor WMS is dat ERP bijna dezelfde basis functionaliteiten heeft. Voorraadbeweging kan ook gevolgd worden, door heel actueel binnenkomende en uitgaande voorraden bij te houden. Zelfs met hele verre integratie is de beweging bij klanten en leveranciers in ERP te volgen. Wanneer WMS in combinatie met andere modules werkt die niet gekoppeld zijn, wordt de kans op redundante invoeringen, redundante informatie en kans op fouten verhoogd. Al is het wel mogelijk om ERP met WMS te koppelen. Dit is een complexe en dure aangelegenheid, maar dan kunnen de hoogste functionaliteit wel behaald worden. Door het overlappen van veel functionaliteiten gebeurd dit niet vaak bij kleine ondernemingen.

Beide systemen zijn er om bedrijfsprocessen en de grondstoffen daarin bij te houden. Deze grondstoffen zijn niet alleen materiaal, maar bijvoorbeeld ook werknemers. De kracht van beide systemen zou moeten liggen bij het gebruik maken van de meest actuele informatie. Elk systeem heeft een prijskaartje en elke extra module zal extra geld kosten. Elk magazijn of warenhuis hoeft niet beslist een WMS te hebben, omdat deze complex kunnen zijn en de kosten van aanschaf en licenties moeten wel terug te verdienen zijn. (Woo, 2012)

Dit systeem dient als mogelijke oplossing in de afweging van hoofdstuk 5.

2.5 Afwegingsmethoden

De aan te dragen oplossingen voor de gevonden problematiek kunnen niet allemaal geïmplementeerd worden. Er is niet een oplossing die alle criteria optimaliseert en daarom zal er een oplossing moeten komen die als compromis daarvoor geldt. Een oplossing kan namelijk een criteria goed scoren, maar daardoor een andere slecht scoren en vice versa. Om een keuze uit de mogelijke oplossingen te maken kan gebruik gemaakt worden van een Multicriteria-analyse (MCA). (Paruccini, Haastrup, & Bain, 1997) De twee voornaamste MCA methoden zijn AHP en SMART. Deze worden hier dan ook bondig toegelicht, zodat in hoofdstuk 5 de mogelijke oplossingen afgewogen kunnen worden door middel van één van deze methoden. Waarna een gevoeligheidsanalyse zal volgen die de uitkomst van de methode aan de kaak stelt. Bij deze analyse worden de gewichten van de opgestelde criteria bekritiseerd, zodat te bepalen is of de uitkomst van de afwegingsmethode wel robuust is.

2.5.1 AHP

De Analytic Hierarchy Process (AHP) is een methode die op breed terrein is beproefd en heeft zich als zeer effectieve methode getoond. Onder breed terrein valt economie en planning, energieverbruik, materiaalgebruik, inkoop, projectkeuze en voorspellingen. (Goodwin & Wright, 2009) Door criteria paarsgewijs te vergelijken worden scores per criterium bepaalt en de score relatief aan de andere criteria. AHP heeft als voordeel dat elk facet van een afweging meegenomen wordt en ondanks de invloed van onzekerheid nog steeds een goed eindresultaat geeft. Tegenover de SMART methode heeft AHP als nadeel dat de methode niet erg simpel is en dat deze relatief veel tijd kost. (Saaty, 1990)

2.5.2 SMART

De Simple Multi-Attribute Rating Technique (SMART) is ook voor het afwegen van mogelijke oplossingen in hoofdstuk 5. SMART wordt erg breed gebruikt en voor het meest uiteenlopende afwegingen. Dit komt vooral door de simpliciteit en de transparantie die deze techniek biedt. Gebruikers van verschillende achtergronden begrijpen wat de uitkomsten van deze methode aangeven en kunnen zodoende op een relatief simpele wijze iets met de afweging doen. Het enige probleem met SMART is het feit dat niet alle details meegenomen worden, maar het kan perfect werken voor het afwegen van de grote lijnen. (Goodwin & Wright, 2009) De SMART methode wordt toegepast wanneer onzekerheid geen rol speelt bij de analyse.

2.6 Terugblik op hoofdstuk 2

Als samenvatting op het gedane literatuuronderzoek wordt hier een terugblik van dit hoofdstuk beschreven. Waarbij productiewijzen, voorraadbeheer, ERP systemen, WM systemen en afwegingsmethoden aan bod zijn gekomen.

De wijze waarop een bedrijf produceert zegt iets over hoe er met orders omgegaan wordt. Er zijn vier manieren om productie te beschrijven. Namelijk MTS, ATO, MTO en ETO. MTS beschrijft het maken van artikelen om voorraad op te bouwen. ATO beschrijft het assembleren van een product wanneer er een order is geplaatst. MTO beschrijft het produceren van product gedreven door orderplaatsing. Ten slotte beschrijft ETO het ontwerpen en daarna produceren gedreven door orderplaatsing. Hoe en op welk punt een order klantspecifiek wordt, in plaats van standaard, is aan te geven met het KOOP. Het KOOP is afhankelijk van de productiewijze.

Voorraadbeheer binnen bedrijven is nooit gelijk. Er zijn verschillende typen voorraden te herkennen, die afhankelijk zijn van de manier van productie en de fase daarin. Om een voorraad te beheren kan er getwijfeld worden of elk type voorraad wel dezelfde mate van controle nodig heeft. Hiertoe kan een onderscheid gemaakt worden tussen een anonieme of klantspecifieke voorraad, en ook door middel van een ABC classificatiemethode. Anonieme voorraad is een voorraad aangelegd voor algemeen gebruik, waarbij een klantspecifieke voorraad toegewezen is aan een klant en daardoor anders kan worden beheerd. Bij een ABC methode wordt ingedeeld naar bijvoorbeeld waarde of mate van repetitie. Het aanwezige voorraadniveau controleren wordt gedaan door een periodieke of continue controle, of een combinatie daarvan. Naast deze controle zijn er diverse manieren om voorraadniveaus bij te houden, bij te werken en aan te vullen. Voor het bijhouden kan men handmatig of gecomputeriseerd te werk gaan. Voor het bijhouden kan gebruik gemaakt worden van het bijhouden uit het hoofd en op ervaring, door een voorraadboek, door voorraadkaarten, door basis voorraadsoftware, door ERP systemen en WM systemen. Al deze methoden kennen hun voor- en nadelen wat betreft behandeling, opslaan en aanpassen van voorraadgegevens. Als deze gegevens bijgewerkt worden kan dit door een handmatige invoer gebeuren, maar ook door middel van barcode systemen of toepassingen van RFID. Handmatige invoer kent problemen wat betreft de kans op invoerfouten. Barcode systemen dienen altijd correct en routinematig gescand te worden. RFID toepassingen hebben last van storingsgevoeligheden door de datatransmissie via radiogolven. Uit het invoeren en bijhouden kan blijken dat voorraad aangevuld moet worden. Het aanzetten tot aanvullen komt door observatie en alarmering. Alarmeringen kunnen door computer systemen gemaakt worden of komen van een two-bin systeem, waarbij leegstand van voorraadbakken de motivator is.

Voor het bijhouden van voorraadniveaus zijn ERP en WM systemen genoemd als mogelijkheid. Echter zijn deze elk in een aparte paragraaf benoemt omdat de functionaliteit van alleen voorraadniveaus bijhouden overstegen wordt door deze systemen. Beide systemen zijn er namelijk om bedrijfsprocessen en de grondstoffen daarin bij te houden. ERP systemen hebben ten opzichte van WMS dezelfde basis functionaliteit.

Om uit meerdere oplossingen een optimale oplossing te kunnen kiezen, kan er gebruik gemaakt worden van een MCA. Afwegingen voor een systeem bij PRODUCENT X kan in dit geval door een bekende afwegingsmethode als SMART of AHP gebeuren.

In figuur 2.6.1, op de volgende pagina, staat het literatuurgebruik in tabelvorm weergegeven. Hierin staat aangegeven welke literatuur benodigd is voor het beantwoorden van de onderzoeksvragen opgesteld in paragraaf 1.5. De plusjes geven aan dat de literatuur hierop van toepassing is.

Literatuurgebruik

	Vragen:		
Literatuur:	**Hoofdstuk 3** ***IST*** *Hoe ziet het orderproces van de PRODUCTGROEP Y eruit en hoe worden voorraden hierin bijgehouden, bijgewerkt en aangevuld?*	**Hoofdstuk 4** ***BOTTLENECK*** *Wat zijn de bottleneckstappen in het orderproces betreffende de beheersing van voorraad en het monitoren van dit proces?*	**Hoofdstuk 5 & 6** ***SOLL*** *Hoe kan PRODUCENT X de gevonden oplossing het beste implementeren?*
2.1 Productiewijze	+	-	-
2.2.1 Typen voorraden	+	-	-
2.2.2 Voorraadindeling *- anoniem of klantspecifiek* *- ABC classificatie*	 + -	 + -	 + +
2.2.3 Voorraadniveau peilen	+	+	+
2.2.4 Voorraad bijhouden *- handmatige methoden* *- gecomputeriseerde methoden*	 + -	 + -	 + +
2.2.5 Voorraad bijwerken en tellen			+
2.2.6 Voorraad aanvullen	+	+	+
2.3 ERP systemen	+	+	+
2.4 WM systemen	-	-	+
2.5 Afwegingsmethoden	-	-	+

figuur 2.6.1 Literatuurgebruik

Nu wordt verder gegaan met hoofdstuk 3. Hier wordt de literatuur gebruikt om de IST vragen te kunnen beantwoorden.

Hoofdstuk 3 - Huidige situatie

Om de problemen te onderzoeken en daar oplossingen voor aan te dragen zal er eerst antwoord op de eerste onderzoeksvraag moeten komen. De eerste onderzoeksvraag luidt:

Hoe ziet het orderproces van de PRODUCTGROEP Y er uit en hoe worden voorraden hierin bijgehouden, bijgewerkt en aangevuld?

Door antwoord te geven op de deelvragen van de onderzoeksvraag wordt de huidige situatie van de PRODUCTGROEP Y duidelijk. De handelingen van de huidige situatie moeten duidelijk zijn, om een antwoord te kunnen geven op de tweede onderzoeksvraag. Het vierde hoofdstuk beschrijft de gevonden knelpunten in de huidige situatie.

In dit hoofdstuk is de onderzochte productgroep beschreven, de verdeling van onderdelen, hoe er gehandeld wordt in het bestel-, productie- en montage- en het afrondingsproces qua voorraadbeheersing en monitoring. In paragraaf 3.1 wordt de PRODUCTGROEP Y beschreven. Binnen deze productgroep wordt het onderzoek verricht. Hierna volgt de tweede paragraaf, 3.2, met de onderdelen die deze producten opbouwen. Paragraaf drie, 3.3, beschrijft de beheersing in het bestelproces. Na dit bestelproces volgt het productie- en montageproces. De beheersing van dit proces wordt beschreven in paragraaf 3.4. Als laatste wordt de beheersing in het afrondingsproces in paragraaf 3.5 beschreven. Paragraaf 3.6 beschrijft een terugblik op dit hoofdstuk.

3.1 de PRODUCTGROEP Y

De PRODUCTGROEP Y is sinds 2012 een onderdeel van het productassortiment van PRODUCENT X. Van oorsprong werden PRODUCTGROEP Y machines geproduceerd door PRODUCENT K.

Verdere uitleg wordt als vertrouwelijke informatie gezien en is uit deze paragraaf verwijderd.

3.2 Onderdelen

De verschillende onderdelen waaruit de PRODUCTGROEP Y machines bestaan zijn erg divers en het totaal aantal benodigde op voorraad te houden onderdelen is daarmee ook groot. In deze onderdelen is wel een onderscheid in standaard onderdelen en niet standaard onderdelen te maken. In sommige gevallen kan ook gezegd worden dat de niet standaardonderdelen en klantspecifieke delen zijn.

3.2.1 Standaard onderdelen

Enige uitleg wordt als vertrouwelijke informatie gezien en is uit deze paragraaf verwijderd.

Standaard onderdelen van een PRODUCTGROEP Y machine zijn de onderdelen die nagenoeg altijd hetzelfde zijn bij elke machine. De aantallen standaard onderdelen per machine kan wel variëren.

Naast bepaalde U-elementen kan niet direct gezegd worden welke onderdelen er nog meer direct voor alle klanten hetzelfde gelden. De rest van de artikelen, met uitzondering van bijvoorbeeld bouten, moeren en ringetjes, zal als niet standaard worden gedefinieerd. Dit komt vooral doordat deze lage waardes hebben en een hoog volume. Als een machine niet afgebouwd kan worden doordat er een aparte maat bout niet is, wordt dat plots een hele dure bout. Sommige kleine en relatief goedkope onderdelen worden in eindmontage door een two-bin systeem(zie paragraaf 2.2.6) bijgehouden. De U-elementen en de niet standaard onderdelen worden anders behandelt. De U-elementen en niet standaard onderdelen worden bijgehouden op basis van ervaring. Echter is er geen methodiek, zoals beschreven in 2.2.2, gebruikt om te bepalen welke onderdelen er door een two-bin systeem worden gebruikt en welke onderdelen juist niet. Hoe onderdelen gedurende het proces worden behandeld, wordt beschreven in de paragrafen 3.3, 3.4 en 3.5. In hoofdstuk 4 worden knelpunten met de voorraadbeheersing beschreven die zijn veroorzaakt door de voorraadindeling.

Er kan ook gesteld worden dat PRODUCENT X al een KOOP heeft wanneer een machine besteld is, en de U-elementen gereed liggen. Dit omdat de U-elementen door PRODUCENT X al op basis van voorspellingen gemaakt worden. Voor dat de vraag en de bestelling er überhaupt is. In het opzicht van standaard onderdelen is PRODUCENT X dan een onderneming die MTO produceert, met een KOOP na het ontwerpen. Als er alleen naar de U-elementen wordt gekeken, is PRODUCENT X MTS aan het produceren. In figuur 2.1.1 in paragraaf 2.1 is dit gemakkelijk te zien. Echter is dit een mix met andere productiewijzen doordat er vooral niet standaard onderdelen PRODUCTGROEP Y opbouwen.

3.2.2 Niet standaard onderdelen

Enige uitleg wordt als vertrouwelijke informatie gezien en is uit deze paragraaf verwijderd.

De niet standaard onderdelen van een PRODUCTGROEP Y machine zijn de onderdelen die niet voor elke machine gelijk zijn. Deze delen zijn breedte specifieke dan wel klantspecifieke delen. Een aantal voorbeelden zullen de versplintering van productiewijzen bij PRODUCENT X tonen.

Voor alle grote staal delen geldt dat alle lengte delen bij elke machine gelijk zijn. Dit doet een standaard onderdeel vermoeden, maar echter kan de breedte nog in meerdere varianten voorkomen. Dit hangt af van de uitvoering van de machine. De klant beslist over welke breedte een machine krijgt en er dus voor zorgt dat er ETO geproduceerd wordt en het KOOP al voor het staal bij het ontwerpen van een machine begint.

Uit deze voorbeelden blijkt wel dat veel delen van een machine als verschillende productie gezien kunnen worden. Wanneer is dan een onderdeel standaard en wanneer niet? De U-elementen zijn daadwerkelijk de enige halffabricaten die MTS geproduceerd kunnen worden, terwijl vele andere sub-delen van de machines of ontworpen, of gefabriceerd of geassembleerd op de specifieke opdracht van de klant. De opties die de klant krijgt van PRODUCENT X qua breedte opties en extra opties staan ook in de productsheets van de AP en PP in bijlages **D** en respectievelijk **E**.

3.3 Het bestelproces

Het bestelproces start met een vraag naar machines of spareparts, die van een klant of van intern (op basis van prognose) komt. Als de vraag van een klant komt, zal er een offerte opgemaakt worden en over en weer contact zijn over aanpassingen aan deze offerte. Hierna worden de levertijden op basis van ervaring en door een oog op het magazijn te werpen bepaald. Als dan de order rond is zal deze aangemaakt worden in ISAH. Hierbij wordt er een orderbevestiging naar de klant gestuurd die buiten ISAH om gegenereerd wordt. Door ISAH wordt dan een werkbon gevormd. Zie bijlage **F** voor een voorbeeld van zo'n werkbon. Deze werkbon geeft aan wat voor order het is, een koopdeel of zoals de meeste keren een maakdeel. Is het enkel een koopdeel, dan zal de werkbon direct door gaan naar expeditie. Betreft het een complete machine of ander maakdeel, dan zal de werkbon bij de productiemanager op het bureau belanden. Dan kan op dat moment het orderpicken beginnen. Is de order intern aangemaakt, dan zal er ook een werkbon gevormd worden.

3.3.1 Voorraadbeheersing en -monitoring

Voorraadbeheersing en –monitoring gebeurd vaak aan het eind van het bestelproces. Als de levertijd besproken moet worden, wordt er uit het hoofd of op basis van een bezoek aan het magazijn en tussenvoorraden een levertijd gegeven. Dit berust op een periodieke controle, zoals ook genoemd in paragraaf 2.2.3, die door de productiemanager of expeditie wordt gedaan. Als er uit het hoofd al bekend is dat er te weinig onderdelen zijn, dan zal er dan bijbesteld of geproduceerd moeten worden. In geval van te weinig onderdelen in voorraad bij een magazijnbezoek, dan zal er ook bijbesteld of geproduceerd moeten worden. In bijlage **C** is het orderproces schematisch weergegeven. Deze start

uiteraard met het bestelproces. De knelpunten met deze beheersing worden beschreven in paragraaf 4.2.

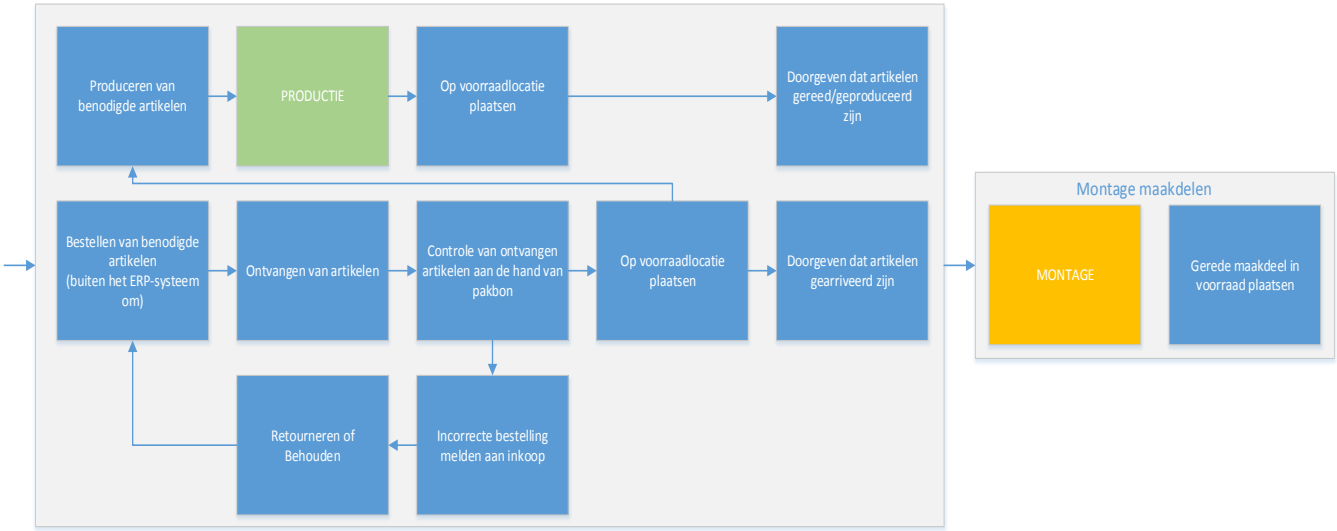
3.4 Het productie- en montageproces

Met het productie- en montageproces wordt het gehele proces, tot het afhandelen, na het bestellen bedoeld. Als de order rond is bij het bestelproces gaat het productie- en montageproces van start. Er zijn vanaf dat punt vele mogelijkheden. Betreft het een sparepart of betreft het een complete machine? In bijlage **C** staat zoals al vermeld het orderproces afgebeeld, waarin dus ook de handelingen om productie en montage heen zijn meegenomen.

3.4.1 Order sparepart

Betreft de order een sparepart dan is het de vraag of het een maakdeel of een koopdeel is. Al zijn maakdelen vaak een productie- en montagesamenstelling van koopdelen.

Als het een koopdeel is, dan kan bij voldoende voorraad het onderdeel direct het afrondingsproces in en in geval van niet, moet er bijbesteld worden en kan het daarna het afrondingsproces in. De vraag is dan alleen hoeveel moet er bijbesteld worden? Moet de veiligheidsvoorraad aangevuld worden? Is het een maakdeel dan verloopt in principe het proces hetzelfde, alleen de voorraad kan nog een andere status hebben. Namelijk op voorraad, niet op voorraad en voldoende benodigdheden voor de order op voorraad, maar nog niet de complete sparepart. In geval van op voorraad geldt hetzelfde als bij een koopdeel. De sparepart kan direct naar het afrondingsproces. Als er voldoende benodigdheden op voorraad zijn, dan start de productie en montage of afzonderlijk van elkaar. Dit is afhankelijk van welke benodigdheden er gereed zijn, welke staat ze zijn en wat voor sparepart het moet worden. Een schematische weergave van productie en montage van een sparepart staat weergegeven in figuur 3.4.1. Het betreft hier een maakdeel die globaal beschreven is en onttrokken is uit bijlage **C.**



figuur 3.4.1 Productieflow van een sparepart(maakdeel)

3.4.2 Order complete machine

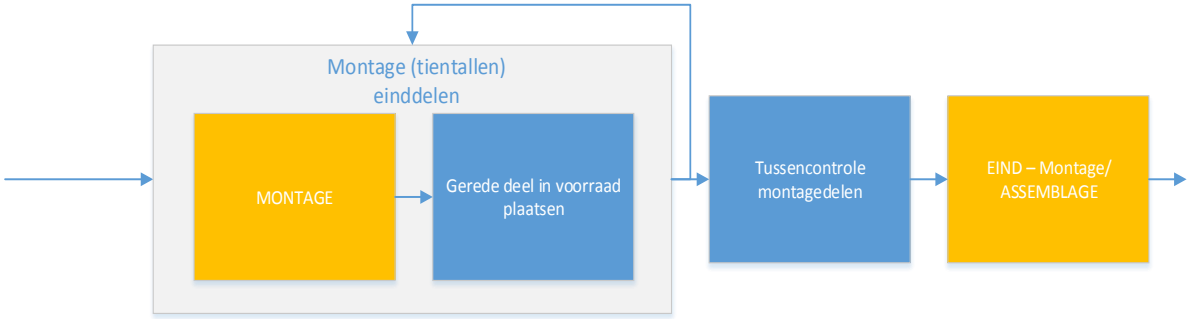
Betreft het een aankoop van een complete machine dan zijn er ook meerdere wegen in het orderproces te bewandelen. Een order van een complete machine kan eigenlijk ook gezien worden als een order voor sparepart die intern voltooid dient te worden. Welke in dit geval als voorraad voor het opbouwen van een complete machine dient.

Het kan eenvoudig gezegd voor komen dat er voorraad is, geen voorraad is of dat er voldoende benodigdheden zijn, maar nog niet voldoende gerede producten.

Als er een voorraad aan gereed product is, gaat direct het afrondingsproces van start.

Is er geen voorraad, dan zal er naar order geproduceerd en gemonteerd worden. Echter kan ook een veiligheidsvoorraad van complete machines voor het piekseizoen gemaakt worden, zodat er langer door wordt gegaan met productie. Daarnaast kan er ook alleen een veiligheidsvoorraad van onderdelen of halffabricaten gemaakt worden naast de te produceren complete machines.

In geval van voldoende benodigdheden voor de order zal productie of montage, of beide, van start kunnen gaan. Ook kunnen naast deze benodigde processen de veiligheidsvoorraden ook weer aangevuld worden. Alle benodigde montage-onderdelen in voorraad nemen, hiervan delen al produceren, monteren of machines compleet maken behoort tot de aanvullende opties. In figuur 3.4.1 is te zien hoe de productie en montage van een maakdeel verloopt, echter geldt dit proces ook voor een complete machine op analoge wijze. In figuur 3.4.2 is te zien dat het montageproces van een complete machine iets anders verloopt. Er worden in productie meerdere malen verschillende delen geproduceerd, waarna ook weer meerder montageprocessen hangen. In tegenstelling tot het produceren van spareparts moeten tussen montage-delen vaker tussencontroles plaats vinden.



figuur 3.4.2 Schematisch voorbeeld van het montageproces, van een complete machine, wat volgt na productie

3.4.3 Voorraadbeheersing en -monitoring

Als na het bestelproces de benodigde voorraad duidelijk is voor een order, dan start dit proces met het orderpicken. Echter kan die vlieger niet altijd op gaan.

Een nieuw klantspecifiek deel heeft nog niet een tekening, dus ook geen stuklijst. Deze stuklijst is nodig voor het orderpicken. Een stuklijst is een lijst waarin alle benodigde artikelen staan voor het produceren van een bepaald product. Om de benodigdheden voor de order exact te weten, zal er eerst een tekening gemaakt moeten worden. Hierbij worden de benodigde onderdelen gespecifieerd, zodat er een stuklijst opgebouwd kan worden. Het orderpicken van de andere onderdelen kan al wel direct gestart worden als er besteld is. Deze andere onderdelen zijn standaard onderdelen en onderdelen die al eens getekend zijn. De onderdelen hebben dan geen ontwerpproces meer nodig.

Een nieuw klantspecifiek deel heeft vaak herkenbare onderdelen. Deze herkende onderdelen kunnen dan alvast op voldoende aanwezigheid gecheckt worden. Dit gebeurd dan voordat het ontwerpen voltooid is. Deze karakteristieke delen worden dan uit voorzorg op voorraad gecontroleerd. Dit is dan een soort voorraadcontrole, zoals genoemd is in paragraaf 2.2.3. Waarbij de voorraadniveaus op gevoel worden bijgehouden en aangevuld. Dit valt onder de handmatige methoden zoals deze genoemd zijn in paragraaf 2.2.4. In paragraaf 4.3 worden de knelpunten van deze manier van beheersing benoemd.

Het ERP systeem, ISAH, wat onder andere genoemd is in hoofdstuk 1, wordt hier gebruikt voor het ophalen van stuklijsten die nodig zijn voor productie. Deze stuklijsten zijn verkregen van het bedrijf,

PRODUCENT K, waarvan PRODUCENT X deze productgroep heeft overgenomen. Nu worden er uiteraard wel nieuwe tekeningen gemaakt wanneer er klantspecifieke delen in een order zitten.

3.4.4 Procesbeheersing en -monitoring

Om het proces van productie en montage in grote lijnen te sturen en te controleren houdt vooral de productiemanager de status van productie in het oog. Dit wordt gedaan door met grote regelmaat door de productiehallen te gaan. Door observatie en door met productiecollega's overleg te plegen zal de status duidelijk worden. Hij let hier globaal op de productietijd die nodig blijkt en hoeveel de voorraad slinkt over een periode. De voorgecalculeerde productietijd is overgenomen van PRODUCENT K. Anderen die ook belang bij het proces hebben zullen ook met eigen ogen moeten zien in welke fase van productie een order zit. Of door mondelinge communicatie te hebben met de met diegenen die met het proces bezig zijn, ofwel de productiemanager.

Tijdens productie worden steeds door middel van tussenvoorraden in grotere aantallen onderdelen doorgeschoven van bewerking tot bewerking. De locatie van deze voorraad verschilt en kan zomaar onderbroken worden doordat andere orders door een dergelijke productie heen gedaan moeten worden.

3.5 Afrondingsproces

Om de order af te ronden moeten er nog een aantal handelingen gedaan worden. Ten eerste hangen deze handelingen af van het feit of de order klantorder gestuurd is of vanuit intern komt. Ten tweede is het afrondingsproces niet precies gelijk voor spareparts en complete machines. Ten slotte is in geval van een klantorder de manier van verzending en terugkoppeling naar de klant aan de beurt. Waarbij in geval van een interne order ter voorraad plaatsen de laatste handeling is. Echter zal bij een klantorder ook voor korte tijd vaak een voorraadplaats moeten komen. Transport van gerede machines gaat niet per definitie direct van start.

In bijlage **C** is het verloop van het afrondingsproces ook schematisch afgebeeld.

3.5.1 Order sparepart

In geval van een klantorder is na het gereed maken de eerste stap het ter voorraad leggen. Dan doorgeven dat het product gereed ligt voor afhalen of verzenden. De keuze voor het vervoer zal gaan naar wens van de klant. Wordt de order afgehaald, dan zal expeditie de expeditiebon toevoegen en gereedzetten voor het afhalen. Wordt de order verzonden, dan hangt het af van de grootte van de sparepart op welke manier dat dan gebeurd. Kleine spareparts gaan per koeriersdienst en grotere voornamelijk via vrachtwagenvervoer. Bij de verzending zal ook de expeditiebon toegevoegd worden. Te allen tijde zal het facturen van een order op de eerstvolgende vrijdag gebeuren.

Betreft het een interne order, dan zullen de producten ter voorraad gelegd worden. Hierbij zal de productiemanager te horen krijgen dat de order gereed is. Het product moet op voorraad staan tot dat het afgenomen wordt. De interne order kan het gereed maken van complete spareparts maar ook enkel onderdelen voor spareparts zijn.

3.5.2 Order complete machine

In geval van een klantorder is na het doen van een eindcontrole en het gereed maken voor aflevering de laatste toevoeging het typeplaatje en een handleiding toevoegen aan de machine. Vanaf dat punt gebeurd hetzelfde als bij een sparepart. Doorgeven dat machines gereed zijn volgt dan eerst. Als de klant het product zelf wil komen halen, zal de expeditiebon toegevoegd worden en gereed voor afhalen weggezet worden. Moet de machine verstuurd worden, dan kan er eigenlijk alleen gebruik gemaakt worden van het grote transport vervoer. Ook hier zal bij de verzending de expeditiebon toegevoegd worden en op eerst volgende vrijdag gefactureerd worden.

Betreft het een interne order, dan zullen de machines ter voorraad gezet worden. Op basis van een prognose is geproduceerd en zal daarom op voorraad staan totdat de machine afgenomen wordt. De productiemanager zal te horen en te zien krijgen dat de machine gereed voor aflevering is. De interne order kan het gereed maken van complete machines, maar ook onderdelen voor halffabricaten of alleen halffabricaten zijn.

3.6 Terugblik op hoofdstuk 3

In paragrafen 3.1 tot en met 3.5 zijn de deelvragen van de eerste onderzoeksvraag beantwoord. Dit is gedaan door middel van het beschrijven van de huidige situatie waarin de verschillende producten, onderdelen en processen vallen.

De eerste onderzoeksvraag luidt:

Hoe ziet het orderproces van de PRODUCTGROEP Y er uit en hoe worden voorraden hierin bijgehouden?

Om een voorstelling van het orderproces te krijgen is eerst de PRODUCTGROEP Y beschreven. De productgroep bestaat uit verscheidene machines met verschillende functies. Deze machines worden opgebouwd uit standaard en niet standaard onderdelen. De wijze van voorraadbeheersing binnen de productgroep is afhankelijk van het type onderdeel. Naast deze onderdelen wordt er gebruik gemaakt van een two-bin systeem voor het bijhouden van bepaalde kleine onderdelen met een lage waarde en een hoog volume per machine. Niet standaard onderdelen zijn klantspecifieke. Deze worden aangestuurd en beheerst door de productiemanager. Dit gebeurd voornamelijk op basis van zijn ervaring en gezond verstand. Deze onderdelen variëren uiteraard van machine tot machine. Stuklijsten van deze onderdelen staan niet allemaal in ISAH.

Het orderproces start met het bestellen. De bestelling is klant gedreven of komt van intern. Offertes met een geschatte levertijd wordt met de klant besproken. Dit zal resulteren in de bevestiging van de order. Na de bevestiging van de order zal ISAH gebruikt worden voor het opmaken van een werkbon. Hiervoor is een stuklijst nodig die aangeeft welke onderdelen een machine behoeft. In geval van een koopdeel zal expeditie de werkbon krijgen en in geval van een maakdeel krijgt de productiemanager de werkbon op het bureau. Hij zal daarna de productieopdracht toewijzen aan het productiepersoneel. Gedurende het contact met de klant wordt vaak al het voorraadniveau gecheckt. Het voorraadniveau wordt bepaalt door simpelweg te kijken in voorraad.

Het productie- en montageproces gaat, na opdracht van de productiemanager, van start. Het orderpicken uit voorraad wordt als eerste gedaan. Alle benodigdheden worden uit voorraad gehaald. Mist er een onderdeel, dan zal er besteld of geproduceerd worden. Tijdens productie en montage worden ook voorraden van half gerede producten aangemaakt. Dit wordt veelal geplaatst op pallets tussen de verschillende bewerkingsstations.

Het afrondingsproces gaat van start als er mondeling doorgegeven, of visueel vastgesteld, is dat de machine of sparepart gereed is. Wat nog rest is een typeplaatje, handleidingen en nog een factuur aan de klant verschaffen. Voor het gereed melden van een product vindt mondelinge communicatie met de productiemanager plaats.

Om het gehele proces helder voor ogen te hebben is een schematische weergave van het gehele orderproces gemaakt. In bijlage **C** staat deze weergave afgebeeld. Door de grootte van het proces is deze opgesplitst in delen.

In het volgende hoofdstuk, hoofdstuk 4, wordt antwoord gegeven op de BOTTLENECK vragen. Dit wordt gedaan aan de hand van de huidige situatie die in dit hoofdstuk is beschreven. Daarbij wordt literatuur aangewend om knelpunten te ondersteunen. Dit kan gedaan worden bij knelpunten die ook door de literatuur worden gegeven bij een gebruikte methode.

Hoofdstuk 4 - Knelpunten

De eerste onderzoeksvraag is in hoofdstuk drie beantwoord en daarmee is de huidige situatie helder geworden. De tweede onderzoeksvraag moet de knelpunten aan de hand van de deelvragen in kaart brengen.

De tweede onderzoeksvraag luidt:

Wat zijn de bottleneckstappen in het orderproces betreffende de beheersing van voorraad en het monitoren van dit proces?

Het antwoord op deze tweede onderzoeksvraag zal in dit hoofdstuk worden beschreven. De knelpunten in de huidige situatie worden benoemd. Daarbij wordt literatuur aangewend om knelpunten te ondersteunen. Dit kan gedaan worden bij knelpunten die ook door de literatuur worden gegeven bij een gebruikte methode. In dit verband is een knelpunt een probleem wat door belanghebbers van het orderproces als een probleem wordt erkend voor beheersing van voorraad en monitoring van het proces. Daarbij moeten observaties en literatuur dit probleem ook erkennen. Bij aangeven van problemen is de ondersteuning van literatuur ook nodig. Voor de gebruikte methodes zijn ook knelpunten te noemen die de literatuur ook beaamd.

In dit hoofdstuk worden alle knelpunten beschreven die in de huidige situatie aan de orde zijn. In paragraaf 4.1 worden de knelpunten bij de behandeling van verschillende typen onderdelen beschreven. Daarna worden in de paragrafen 4.2, 4.3 en 4.4 de knelpunten in respectievelijk het bestelproces, productie- en montageproces en het afrondingsproces beschreven. Paragraaf 4.5 zal knelpunten bij de voorraadbeheersing en monitoring op zichzelf beschrijven. Ten slotte wordt in paragraaf 4.6 een terugblik van dit hoofdstuk beschreven.

4.1 Onderdelen

Ontbrekende indelingsmethodiek

In hoofdstuk drie is aangehaald dat onderdelen als standaard en niet standaard ingedeeld kunnen worden. Onder de standaard onderdelen vallen de U-elementen en de artikelen van een lage waarde en hoog volume per machine. Onder deze als tweede genoemde vallen onder andere de bouten en moeren. U-elementen worden gemaakt op basis van een prognose, zodat deze delen MTS geproduceerd en besteld wordt. Voor het aanvullen van sommige van de kleine artikelen wordt gebruik gemaakt van een two-bin systeem, zoals beschreven in paragraaf 3.2.1. Welke artikelen er door middel van dit systeem worden gehouden is niet bepaald door opgestelde maatstaaf of regeling. De indeling van voorraden is in dit geval berust op ervaring. De indeling is niet gebaseerd op een indelingsmethodiek, zoals deze beschreven staan in paragraaf 2.2.2. In samenspraak met PRODUCENT X is gesteld dat alle onderdelen niet dezelfde mate van beheersing nodig hebben. Er is nu dus niet een regeling voor het bepalen van de geschikte behandeling van elk artikel. Zodat artikelen te weinig of te veel aandacht kunnen krijgen.

Niet bijwerken van stuklijsten in ISAH

Daarnaast is voor het omgaan van onderdelen een stuklijst erg belangrijk bij productie. Nu worden stuklijsten uit ISAH gebruikt, mits aanwezig. De aanwezigheid is vaak beperkt doordat de stuklijsten voornamelijk van PRODUCENT K overgenomen zijn, zoals in paragraaf 3.4.3 is genoemd. Wanneer er een verandering aan een machine klantspecifiek is zal er altijd een nieuwe tekening gemaakt moeten worden. Aan deze tekening hangen onderdelen vast die nog niet gespecificeerd in ISAH staan. Echter wordt er tot nu toe bijna nooit een stuklijst aan ISAH toegevoegd. Dit wordt als te tijdrovend gezien en bovendien kan niet voorspeld worden of deze stuklijst wederom nodig gaat zijn. Als voorraad wel in

dit systeem bijgehouden moet worden, kan het onvolledig verwerken van voorraadafname ervoor zorgen dat het systeem niet werkt. Voorraadniveaus zullen afwijken van de werkelijkheid.

4.2 Het bestelproces

De handelingen die bij het bestellen gedaan worden, leveren niet altijd toegevoegde waarde op. Het feit dat er een gebrek aan systematiek en overzicht is, maakt het niet gemakkelijker.

Tijdens het bestelproces zijn er meerdere verspillende handelingen te noemen. Door met belanghebbers van het bestelproces te spreken zijn deze knelpunten aan het licht gekomen. Daarnaast heeft observatie van mijzelf ook tot dit inzicht geleid.

<u>Ontbrekende vaste voorraadlocatie en misverstanden veroorzaakt door handmatige methodiek</u>

Als het proces start zal de levertijd worden bepaald. Dit wordt gedaan aan de hand van voorraad inschatting uit het hoofd of door een blik in voorraad te werpen, zoals beschreven is in paragraaf 3.3. Hierdoor weet PRODUCENT X wat er wel en niet op voorraad is, zodat geproduceerd en bijbesteld kan worden. In paragraaf 3.3.1 werd al beschreven dat beheersing op basis van ervaring en door middel van periodieke controles verloopt. Daardoor is de voorraadlocatie en het eventuele niveau niet door middel van een systeem of methode vastgelegd, waardoor afhankelijkheid van bepaalde personen groot is en zal er gezocht worden naar voorraad. De handelingen zijn dan naar voorraad toe bewegen, zoeken naar voorraad locatie, checken of het correcte en gezochte deel aanwezig is en het bepalen van het voorraadniveau. Als de order daadwerkelijk bevestigd wordt zal mondeling aan inkoop de eventuele benodigde inkoopdelen vastgesteld worden en zal productie en montage ingepland worden. Miscommunicaties en telfouten komen voor doordat dit een handmatige methode van bijhouden en bijwerken van voorraad is. In paragraaf 2.2.4, bij handmatige methoden, is deze wijze van voorraad bijhouden ook beschreven als gevoelig voor misverstanden. Dit zijn ook misverstanden gemaakt door mondelinge communicatie en het in de steek laten van geheugen van belanghebbers.

<u>Handelingen buiten ISAH om en het ontbreken van artikelnummers</u>

Paragraaf 3.3 beschrijft dat als een order bevestigd is, ISAH wordt gebruikt voor het aanmaken van een werkbon. Vanaf dat moment verloopt het proces volledig buiten het ERP systeem om en begeleidt de productiemanager het verdere proces. Als er koopdelen bestelt worden, gaat de werkbon meteen naar expeditie. Hier worden sommige onderdelen zonder artikelnummer aangetroffen terwijl er wel eens afzet is voor deze artikelen. Prijzen zijn niet duidelijk, dus kan het erg veel tijd kosten om te achterhalen wat dit artikel kost. De verkoop van dit artikel is hierdoor minder rendabel.

Een controle stap om bestellingen, van koopdelen die geplaatst zijn, te achterhalen is er ook niet. Althans niet in een systeem zoals ISAH.

Aanvragen voor bestellingen kunnen door drukte, dan wel miscommunicatie, niet doorkomen. Hoe later dit opgemerkt wordt, hoe hoger de kosten kunnen worden. Zoals al gezegd worden voorraadniveaus niet bijgehouden in een systeem. Dus ook niet in ISAH. De controle op voorraad op basis van ervaring en een planning in een Excel sheet wordt naast ISAH bijgehouden. Doordat er extra handelingen voor bijvoorbeeld inkoop, buiten ISAH om gedaan worden, is er een grotere kans op fouten door transmissie van informatie.

4.3 Het productie- en montageproces

Voor het productie- en montageproces zijn ook een aantal knelpunten te noemen. Deze liggen in het verlengde van de problemen van het bestelproces.

Misgrijpen door handmatige methodiek van voorraadbeheersing

De afhankelijkheid van ervaring speelt vooral parten in het productie- en montageproces. Er moet, zoals beschreven in paragraaf 4.2, nog steeds wel gezocht worden naar voorraden. Voorraadniveaus die men uit het hoofd weet kunnen verandert zijn, doordat artikelen al uit voorraad gehaald zijn voor andere orders.

Voorraden zijn nog niet toegewezen aan een specifieke order. Althans niet met behulp van een systematiek. Als voorraad bestemd voor een bepaalde order al onttrokken is voor een andere order, dan kost de eerste order mogelijk meer tijd. Op het moment dat er tekort in voorraad geconstateerd wordt kan er pas daarop ingespeeld worden. Dit valt vaak pas op door observatie van de productiemanager of een andere belanghebber, zoals een periodieke controle beschreven in paragraaf 2.2.3.

Ook kan er doordat te lage voorraadniveaus mondeling doorgegeven worden een bericht vergeten of verkeerd worden begrepen. Deze misverstanden werden ook al in paragraaf 4.2 benoemd. Het nabestellen of produceren van benodigde delen om niet toereikende voorraad van een order tijdens productie aan te vullen kost vaak meer geld en zorgt voor een langere doorlooptijd. Het misgrijpen van voorraad wordt door PRODUCENT X als een te vaak voorkomend fenomeen beschreven.

Ontbrekende nacalculatie en irreële schattingen

Paragraaf 3.4.4 beschrijft dat voor elke te produceren machine een bepaalde productietijd opgesteld is. Dit is naar verwachting van productietijd per productiedeel. Elk productiedeel bestaat uit meerdere bewerkingen, zoals allerlei verspanende handelingen, spuiten, lassen en stralen. Alle bewerkingstijden worden niet getoetst aan de hand van een nacalculatie die valt te vergelijken met de voorcalculatie. Ook zijn deze voorgecalculeerde tijden overgenomen van PRODUCENT K, zodat deze wellicht irreëel voor de productie bij PRODUCENT X zijn.

Het grootste knelpunt tijdens het productie- en montageproces is een systematiek in het daadwerkelijke orderpicken. Hiermee wordt bedoelt dat er niet volgens een systeem doorgegeven wordt dat er voorraad gepickt wordt, waardoor voorraadniveaus moeilijk bij te houden zijn. Zoals eerder gezegd kunnen voorraden aanwezig zijn, maar wanneer voor twee orders dezelfde voorraad aangesproken wordt kan dit voor een van de twee problemen opleveren. Voor beide order lijkt er voorraad aanwezig, totdat de artikelen uit voorraad gehaald worden en de tweede order ineens niet genoeg grondstoffen voor productie meer heeft.

Fase van productie is niet transparant

Ook is de fase van productie niet altijd voor alle belanghebbers duidelijk. Daartoe dienen ze te communiceren met de productiemanager (zie paragraaf 3.4.4) of er moet door middel van observatie in productie meer duidelijk worden. Dit laatste is weer een vorm van periodieke controle, zoals beschreven in paragraaf 2.2.3. Daarnaast worden voorraden geteld door de persoon die de observatie doet. Fouten met tellen worden opgemerkt in de handmatige methoden in paragraaf 2.2.5. Manueel bijwerken brengt al veel fouten met zich mee, laat staan bij het gebruik van mondelinge communicatie in combinatie met voorraadgegevens uit het hoofd kennen.

4.4 Het afrondingsproces

Fase van productie is niet transparant

Bij het afronden is ook de fase van productie niet voor iedereen bekend. Zoals al gezegd bij 4.3 moet iedereen die belang heeft bij de productie van een order zelf observeren of communiceren met de productiemanager. In geval van het afrondingsproces zal de belangrijkste fase het gereed melden zijn. Of de order daadwerkelijk gereed is, zal wederom door communicatie van het productiepersoneel naar de productiemanager duidelijkheid moeten geven.

Tijdens het afronden worden ook klanten(dealers) in ISAH gezet, maar de facturering gaat buiten ISAH om. Het omzetten van data uit ISAH naar een andere manier van factureren kost tijd.

4.5 Monitoring van proces en voorraad

Fase van productie moeilijk bij te houden

Tijdens het gehele proces wordt er geprobeerd de voorraden en de fasen van productie bij te houden. Er mist op dit gebied controle, omdat deze fasen alleen bij te houden zijn door daadwerkelijk bij het produceren en monteren te kijken. Ook kunnen, zoals eerder beschreven, voorraadlocaties en –niveaus alleen bijgehouden worden door op de verscheidene voorraadlocaties te kijken en het materiaalverbruik bij te houden. Deze beide methoden kunnen ook ondersteund worden door communicatie met de gebruikers van het materiaal. Naast de fouten bij voorraadobservatie, worden ook fouten gemaakt door miscommunicatie. Dit alles kan resulteren in te laat leveren van de machine of in het ergste geval helemaal niet kunnen leveren. Er is bij PRODUCENT X meerdere malen voorgekomen dat de levertijden niet haalbaar meer lijken. Uiteindelijk is het nabestellen van materiaal, voor een hogere prijs, dan de redding.

De enige manier om het proces en de voorraad te kunnen monitoren in de huidige situatie, is gebaseerd op ervaring.

Miscommunicatie bij aansturing van inkoop en productie

Naast het letten op voorraad, moet voorraad ook aangevuld worden met zowel koopdelen als maakdelen. Aansturen tot inkoop of productie van artikelen wordt ook op basis van ervaring gedaan. Er wordt nu vaak getracht om bestellingen te combineren zodat er schaalvoordelen ontstaan, alleen wordt dit door gemaakte telfouten of zoekgeraakte voorraad lastig. Het is voor inkoop en de aansturing van productie niet mogelijk om via een snelle weg de precieze actuele voorraad, of in het beste geval de meest actuele productiestatus, te zien. Echter zijn er wel sommige artikelen die bijgehouden en aangevuld worden door een two-bin systeem, zoals in paragraaf 4.1 staat beschreven. Al is hier de grote buffer in dit systeem samen met het hoofdmagazijn als knelpunt te noemen. Het two-bin systeem wordt nog niet ingezet als reductor van voorraad in het hoofdmagazijn, zoals dit namelijk wel bedoelt is (zie paragraaf 2.2.6).

4.6 Terugblik op hoofdstuk 4

In paragrafen 4.1 tot en met 4.5 zijn de deelvragen van de tweede onderzoeksvraag beantwoord. Dit is gedaan door middel van het beschrijven van de knelpunten uit de huidige situatie. De gevonden knelpunten zijn beschreven voor de verschillende typen onderdelen, het bestel-, productie-, montage- en afrondingsproces en daarnaast nog de monitoring van proces en voorraad.

Het onderscheiden van onderdelen voor de juiste behandeling gebeurd niet met behulp van vastgestelde grenzen. Dus de indeling van onderdelen die gebruikt wordt voor de machines uit VOORRAADGROEP Y mist een gestructureerde indeling. Daarnaast gaat het maken van stuklijsten niet altijd het ISAH systeem in, waardoor het bijhouden van voorraden ook moeilijk wordt. Al worden deze voorraden sowieso niet in een systeem bijgehouden.

Voorraadniveaus worden met eigen ogen beoordeelt en op basis van ervaring gecontroleerd. In het bestelproces worden voorraden niet direct aangewezen aan een order en de locatie is daarbij ook niet altijd helder. Daarnaast staan in ISAH enkel stuklijsten die vaak nodig zijn en niet de uitzonderingssituatie. Ook is er in het bestelproces soms problematiek omtrent artikelnummers die niet aan sommige artikelen toegewezen zijn.

In productie- en montageprocessen komen is de afhankelijk van ervaring vooral een probleem. Niveaus en toewijzingen van voorraad worden uit het hoofd gedaan. Locaties zijn hierdoor vaak niet gestandaardiseerd en zorgen voor het missen van en zoeken naar voorraad. Het toewijzen van de aanwezige voorraad aan een order gebeurd niet, waardoor in geval van meer orders knelpunten kunnen ontstaan. Voor één order is er dan in een keer geen voorraad meer van een onderdeel, terwijl dat eerst wel zo leek. Ook wordt de kostprijs van een artikel gebaseerd op calculaties van PRODUCENT K. Als laatste kan aangehaald worden dat de fase waarin productie zich bevindt alleen door observatie en mondelinge communicatie te achterhalen is.

Het gereed melden van een product is ook berust op mondelinge communicatie en de facturering van dit gerede product wordt buiten ISAH om gedaan. Door deze vorm van communicatie wordt ook de inkoop van ruw materiaal en koopdelen aangestuurd.

In paragraaf 1.3.1 worden een viertal kandidaat kernproblemen genoemd. Deze problemen worden hier ook na verder onderzoek gevonden. Er is namelijk een grote kans op fouten door het gebruik van het hoofd bij het opslaan van voorraadgegevens. Dit is het geval voor het hele orderproces, zoals in 4.2, 4.3, 4.4 en 4.5 wordt aangehaald. De gebrekkige berichtgeving over de fase van productie wordt ook herkend. In paragraaf 4.3, 4.4 en 4.5 wordt dit opgemerkt. Als derde en vierde kandidaat kernprobleem werd de kans op een veel te laag en veel te hoog voorraadniveau benoemd in 1.3.1. De kans wordt veroorzaakt door het gebruik van de handmatige voorraadbeheersingsmethode. Deze vier kernproblemen beschrijven de gevonden problemen precies zoals deze ook al in de probleemanalyse werden gevonden.

Hoofdstuk 5 zal, aan de hand van de derde onderzoeksvraag, de gevonden oplossingen beschrijven.

Hoofdstuk 5 - Oplossingen

Dit hoofdstuk beschrijft aan de hand van de derde onderzoeksvraag de gevonden oplossingen. Deze onderzoeksvraag luidt:

Hoe kan producent X de gevonden oplossing het beste implementeren?

De oplossingen worden gevormd uit het literatuuronderzoek van hoofdstuk 2, de huidige situatie die is beschreven in hoofdstuk 3 en de problemen die zijn aangekaart in hoofdstuk 4. Indien er een afweging nodig blijkt, wordt deze in combinatie met een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd.

Voor de gevonden problemen in hoofdstuk 4 worden oplossingen aangedragen. Deze oplossingen worden algemeen beschreven en in het volgende hoofdstuk, hoofdstuk 6, toegepast op de situatie bij PRODUCENT X. Uit deze implementaties en toepassingen bij PRODUCENT X zal een stappenplan voortvloeien. Dit stappenplan zal als de aanbeveling en het resultaat van dit onderzoek gelden.

In paragraaf 5.1 wordt de indeling van voorraad beschreven, zodat een methodiek de mate van voorraadbeheersing van elk artikel bepalen kan. Hiervoor wordt literatuur uit paragraaf 2.2.2 gebruikt. Paragraaf 5.2 zal dan de wijze van aanvullen voor een deel van de artikelen beschrijven. Deze artikelen worden bijgehouden met een two-bin systeem zoals beschreven in paragraaf 2.2.6. De andere artikelen zullen meer aandacht krijgen. Hiervoor wordt in paragraaf 5.5 een oplossing gevonden. Paragraaf 5.3 beschrijft dat artikelen een vaste locatie moeten krijgen. Dit wordt onder andere in als knelpunt in paragraaf 4.2 benoemd. Daarna wordt in paragraaf 5.4 beschreven dat artikelnummers aanwezig moeten zijn voor elk te verkopen artikel. Als laatste wordt in paragraaf 5.5 een afweging door middel van AHP(zie paragraaf 2.5) gebruikt om een oplossing voor het bijhouden, bijwerken en aanvullen van de tweede groep onderdelen te kiezen. De literatuur voor het bijhouden komt uit paragrafen 2.2.4, 2.3 en 2.4. Voor het bijwerken worden de mogelijkheden van paragraaf 2.2.5 meegenomen en voor het aanvullen paragraaf 2.2.6. Dit hoofdstuk eindigt met een terugblik op de gevonden oplossingen in paragraaf 5.6.

5.1 Voorraadindeling

In paragrafen 3.2 en 4.1 is naar voren gekomen dat de indeling van voorraden vooral gebaseerd is op ervaring. Er is geen lijn te trekken waarbij men kan zeggen dat het ene product wel een speciale behandeling krijgt en het andere niet. Systematische indeling van onderdelen bestaat op dit moment niet.

Om een systematische indeling te verkrijgen, is aan te bevelen dat PRODUCENT X de voorraad indeelt in een anonieme of klantspecifieke voorraad. De indeling zal aan de hand van de ABC classificatie methode op te stellen zijn. Deze oplossing komt voort uit de literatuur van paragraaf 2.2.2. Er worden in die paragraaf vijf redenen genoemd om onderdelen anoniem te behandelen. Dit houdt in dat deze onderdelen net zo goed minder controle kunnen hebben en niet op order worden besteld. Daarnaast komen de andere onderdelen meer in aanmerking voor order gestuurd bestellen of produceren. Volgens het Pareto principe hebben deze onderdelen een dusdanig grote impact door de urgentie in het productieproces of de hoge waarde ten opzichte van de totale waarde van de machine.

5.2 Aanvullen

Het aanvullen van voorraden wordt hoofdzakelijk gedaan op basis van ervaring. Echter is er een uitzondering voor een aantal artikelen. Zoals genoemd in paragraaf 5.1, worden deze voorraden aangevuld en bijgehouden op basis van een two-bin systeem.

Als aanbeveling komt naar voren dat de manier van indelen moet veranderen, zodat bij een bepaalde indeling altijd een two-bin systeem wordt gebruikt. De rest van de in te delen onderdelen zullen in een andere manier van bijhouden moeten vallen. Deze manier van bijhouden, wordt bepaald aan de hand van de gevonden oplossing in paragraaf 5.5. Door een systematische indeling is het gemakkelijker om te bepalen welke voorraden welke mate van controle en beheer vereisen. De mate van controle, gebaseerd op ervaring, wordt verlaagd en zorgt voor een rationele verdeling en keuze voor aanvullen. De afhankelijkheid van ervaren mensen neemt hierdoor af. De knelpunten door deze afhankelijkheid, genoemd in hoofdstuk 4, worden zo verbeterd.

De gebruikte literatuur komt uit paragraaf 2.2.6, waarbij gekeken is naar de manieren van aanvullen. Zo wordt ook het attenderen op een voorraadtekort beschreven. Met een two-bin systeem worden voorraadtekorten goed opgemerkt, terwijl de artikelen die meer aandacht verdienen beter een systeemalarmering kunnen krijgen. Hiermee is de kans op fouten kleiner en is er bovendien minder tijd nodig om tekorten te constateren.

5.3 Locatie

De locatie van de onderdelen die door een two-bin systeem worden bijgehouden is vast. Deze bevinden zich namelijk allemaal op de montageplaatsen. Echter is er voor de rest van de onderdelen geen vastgelegde locatie. Doordat voorraad niet in een systeem wordt bijgehouden, staan deze voorraadlocaties niet als vast te boek. Dit komt mede doordat alles uit het hoofd wordt gedaan. Paragrafen 4.2 en 4.3 hebben de fouten door onbekende locaties en handmatige beheersing van voorraad benoemd.

Elk artikel een vaste locatie toewijzen is de aanbeveling voor dit probleem. Het zoeken naar voorraden wordt gereduceerd, zodat ook het aanvullen van voorraden wordt vereenvoudigt. Voor de artikelen die door een two-bin systeem worden bijgehouden geldt altijd een vaste locatie.

De oplossing van paragraaf 5.5 bevat het bijwerken en bijhouden van voorraad. Hierbij is het toewijzen van locaties ook essentieel.

5.4 Artikelnummers en stuklijsten

Voor een aantal artikelen geldt dat deze geen artikelnummers hebben, zoals genoemd is in paragraaf 4.2. Bij een klantorder van deze artikelen is bij expeditie niet duidelijk wat voor prijzen er gelden. Ook zijn stuklijsten niet altijd aanwezig, laat staan in het ISAH systeem (zie paragraaf 4.1). Deze lijsten zijn voor productie en het bijhouden van de voorraden cruciaal. Als er een voorraadsysteem wordt gebruikt waarbij niet alle artikelen afgeschreven worden, werkt dit systeem niet. Consequentheid mist dan in zo’n soort systeem.

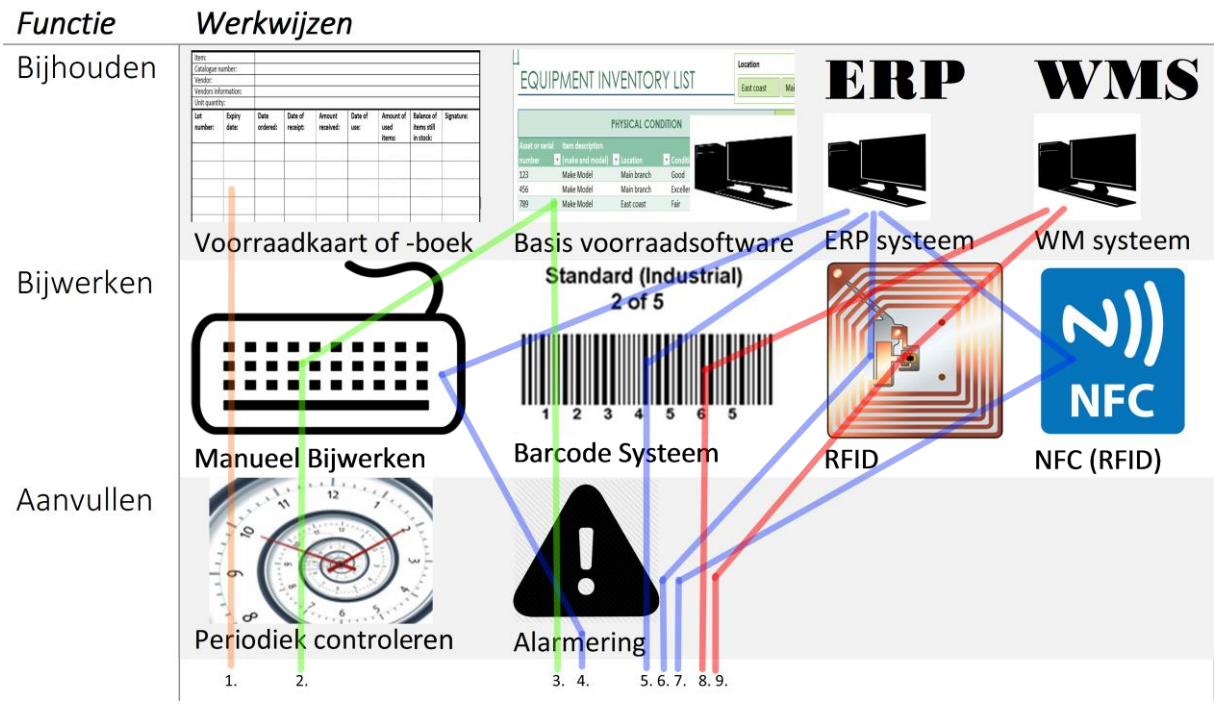
Als aanbeveling voor dit probleem geldt dat alle artikelen waarvoor een kans op verkopen bestaat, een artikelnummer moeten hebben. Aan deze artikelnummers hangen inkoop- en verkoopprijzen en bijvoorbeeld specifieke informatie over de grootte en gewicht van het artikel.

Daarnaast is aan te bevelen dat stuklijsten, na bijwerken, altijd toegevoegd worden aan het systeem van paragraaf 5.5. Dit systeem kan alleen werken als alle voorraden, benodigd voor een order, correct worden afgeschreven.

5.5 Bijhouden, bijwerken en aanvullen

Na de indeling van voorraad, paragraaf 5.1, houdt men twee soorten voorraad over. De ene soort gaat aangevuld en bijgehouden worden door een two-bin systeem. (Chu, Liang, & Liao, 2008) Alle andere artikelen kunnen het beste door middel van alarmeringen bijgehouden worden. Die alarmeringen worden geproduceerd door een geavanceerder voorraadsysteem. Dit systeem is een combinatie van oplossingen die op elkaar ingespeeld moeten zijn. Hoe voorraadgegevens bijgewerkt worden heeft bijvoorbeeld impact op de manier van bijhouden.

Uit de literatuur van paragrafen 2.2, 2.3 en 2.4 zijn een aantal oplossingen aan te dragen. Echter moeten combinaties van bijhouden, bijwerken en aanvullen gemaakt worden. Deze combinaties zijn het beste te vormen met behulp van een morfologisch overzicht. (Zeiler, Savanovic, & Quanjel, 2007) Hierin wordt op een gestructureerde wijze een combinatie van oplossingen gekozen. Dit gebeurd door lijnen te trekken. Elke combinatie is gevormd door een lijn. In figuur 5.5.1 staat de uitwerking van het morfologisch overzicht afgebeeld.



figuur 5.5.1 Morfologisch overzicht met aangeduide oplossingen

Uit figuur 5.5.1 komen negen mogelijke oplossingen naar voren. Deze oplossingen zijn:

1.	Voorraadkaart of -boek	+ manueel bijwerken	+ Periodiek controleren
2.	Basis voorraadsoftware	+ manueel bijwerken	+ Periodiek controleren
3.	Basis voorraadsoftware	+ barcode systeem	+ Alarmeringen
4.	ERP systeem	+ manueel bijwerken	+ Alarmeringen
5.	ERP systeem	+ barcode systeem	+ Alarmeringen
6.	ERP systeem	+ RFID	+ Alarmeringen
7.	ERP systeem	+ NFC (RFID)	+ Alarmeringen
8.	WM systeem	+ barcode systeem	+ Alarmeringen
9.	WM systeem	+ RFID	+ Alarmeringen

Deze combinaties zijn gekozen aan de hand van de mogelijkheden die de systemen hebben. Een voorraadkaart en –boek hebben alleen manueel bijwerken als mogelijkheid. Voor de basis voorraadsoftware is het bijwerken met een barcode systeem ook mogelijk. Daarnaast is het alarmeren

voor lage voorraadniveaus ook een optie. De reden voor het meewegen van vier oplossingen met ERP is doordat dit systeem al in gebruik is, maar dat niet al haar functionaliteit benut wordt. Als laatste zijn er twee oplossingen met een WM systeem. Dit systeem is vooral om bewegingen van voorraad onder controle te houden. Hierdoor wordt niet het manueel bewerken voor dit systeem meegewogen.

Om de juiste oplossing te kiezen zal er gebruik gemaakt worden van de AHP methode. Er is niet gekozen voor SMART, omdat niet alle details meegenomen worden met deze methode en er een zekere mate van onzekerheid een rol speelt. Dit komt simpelweg door de wijze van scoren en het gebruik van veel uitgebreidere vergelijkingen. Er worden meer scores uitgedeeld en de score schaal is groter en dus gedetailleerder ten opzichte van SMART. Ook worden gewichten van criteria dusdanig met elkaar vergeleken, waardoor de bepaling van de gewichten consistenter is. Echter is nog niet toegelicht hoe AHP werkt, dus wordt er eerst een uitleg van deze methode beschreven. Waarna een afweging van de oplossingen volgt.

De methodiek van AHP

De methode is een mathematische afwegingsmethode, die alternatieve oplossingen vergelijken kan. Uit deze vergelijking komt de beste oplossing gegeven de gebuikte criteria. Deze afwegingscriteria dienen als eerste opgesteld te worden. Als deze opgesteld zijn, worden deze paarsgewijs met elkaar vergeleken. Om de paarsgewijze vergelijking objectief te maken wordt er gebruik gemaakt van scores. In figuur 5.5.2 staat een tabel met scores, die gelden voor AHP.

Score	Definitie
1	Criteria A en B zijn van gelijke belangrijkheid
3	Criterium A is gematigd belangrijk ten opzichte van criterium B
5	Criterium A is duidelijk beter dan criterium B
7	Criterium A is veel beter dan criterium B
9	Criterium A is extreem veel belangrijker dan criterium B
2, 4, 6, 8	Even criteria geven de tussenliggende waarde van de twee aangrenzende criteria weer

figuur 5.5.2 Scores die gelden voor AHP

Paarsgewijze vergelijkingen van criteria uitvoeren

Elk criterium wordt alsmaar met een ander criterium vergeleken. Als criterium A duidelijk beter is dan B, wordt score 5 genoteerd. Is dit precies andersom, dan geldt een score 1/5. Als alle paarsgewijze vergelijkingen zijn voltooid, kan men bepalen hoe belangrijk alle criteria ten opzichte van elkaar zijn. Het gemiddelde van deze relatieve belangrijkheid is het gewicht voor dat criterium. Het gewicht geeft de zwaarte van een criterium in een afweging aan.

Om te bepalen of dit gewicht correct bepaalt is, kan het beste gecontroleerd worden op inconsistentie. Wanneer het inconsistentie ratio onder de 0,1 blijkt, kan zonder twijfel gesteld worden dat de paarsgewijze vergelijking consistent is gedaan. De gewichten van de criteria zijn hierdoor met meer dan voldoende juistheid bepaald.

Alternatieven vergelijken per criterium
Nadat de gewichten van de criteria zijn bepaalt, kunnen alle oplossingen per criterium afgewogen worden. Hiervoor worden wederom paarsgewijze vergelijkingen gemaakt, waarbij ditmaal de oplossingen tegen elkaar worden afgezet. De manier van scoren is hetzelfde als bij het vergelijken van de criteria. Daarnaast zal ook hier een inconsistentie controle gedaan worden.

Als laatste zal de uitkomst, van het afwegen, met een gevoeligheidsanalyse worden getest. Deze gevoeligheidsanalyse moet testen of de oplossing wel robuust is en niet bij verandering van een criterium een slecht alternatief zal zijn.

De afweging van oplossingen voor PRODUCENT X

Nu worden de oplossingen, die uit het morfologisch overzicht zijn ontstaan, afgewogen.
Stap 1

Om te beginnen moeten criteria opgesteld worden. De criteria toepasselijk voor de afweging bij PRODUCENT X zijn kosten, functionaliteit, afhankelijkheid en simpliciteit, toepasbaarheid, gebruiksgemak en foutkans. Deze criteria zijn opgesteld door te brainstormen met belanghebbers van PRODUCENT X. Een brainstorm voor het vinden van criteria is de meest gebruikelijk tactiek hiervoor (Hicks, 2004). Een korte uitleg van deze criteria volgt hieronder.

Kosten

Aanschaf kosten en de verwachte kosten die jaarlijks terugkomen. Soms zijn deze daadwerkelijke kosten moeilijk te schatten en is een discussie voor de scoring mogelijk. Voor de scoring geldt dat lagere kosten hoger scoren. Dit wordt gezien als relatief ten opzichte van een ander systeem.

Functionaliteit

Functionaliteit die het PRODUCENT X kan bieden. Welke mogelijkheden en uitbreidmogelijkheden. Voorbeelden van functionaliteiten zijn: data opslaan in een systeem, systeem voor meerdere gebruikers tegelijk, zo actueel mogelijke data, suggesties voor routes bij orderpicken, tekeningen en stuklijsten die gekoppeld zijn aan voorraadniveaus, het bijwerken van data gaat snel, veel data tegelijk bijwerken of mogelijke alarmeringen voor aanvullen.

Dubbele en redundante functies aan het huidige systeem kunnen zorgen voor een lagere score. In het algemeen geldt dat een hogere functionaliteit dus wel een hogere score krijgt.

Afhankelijkheid en simpliciteit

Hoe gemakkelijk kan de gebruiker veranderingen aan voorraad doorgeven en hoe gemakkelijk wordt voorraadinformatie gevonden? Als er een hoge simpliciteit met de wijze van bijwerken is, is het risico voor de afhankelijkheid van mensen lager dan bij een complexer systeem. Het systeem van bijhouden moet afhankelijkheid zoveel mogelijk onderdrukken en simpliciteit in de hand werken. Als een personeelslid met ervaring weg gaat, kan dit opgevangen worden door een goed systeem. Is dat er niet, dan is de afhankelijkheid van die personen hoog. Lage afhankelijkheid en hoge simpliciteit zorgen voor een hoge score.

Toepasbaarheid

Past het systeem van bijhouden en bijwerken bij PRODUCENT X? De volgorde en wijze van werken moeten geschikt zijn voor PRODUCENT X. De gebruiker moet goed om kunnen gaan met de manier van bijhouden en bijwerken. Een hogere toepasbaarheid geeft een hogere score.

Gebruiksgemak

De gebruiksvriendelijkheid voor de gebruiker van het systeem moet hoog zijn. Zijn het vervelende stappen om uit te voeren of geeft de werkwijze juist een boost aan de werksfeer? Hierbij geldt ook dat een hogere mate van gebruiksgemak een hogere score krijgt. Werksfeer wordt in gebruiksgemak meegenomen, doordat het tevreden gebruiken van een systeem tot een betere sfeer op de werkvloer leidt.

Foutkans

Het criterium foutkans beschrijft de kans op fouten, wat geldt voor een oplossing. Het gaat om fouten die bij invoeren of bijhouden kunnen voorkomen. De kans op fouten bij invoeren, wordt bijvoorbeeld bepaald door typefouten, leesfouten en transmissiefouten. Hoe minder kans op fouten, des te hoger de score.

Stap 2

Bij deze stap worden de criteria paarsgewijs vergeleken. Deze vergelijking is in samenwerking met de productiemanager van PRODUCENT X opgesteld, omdat de weging van de criteria aangeeft waar de belangrijkheid ligt. De zwaarte van de criteria is een weerspiegeling van de wensen van PRODUCENT X.

In bijlage **G** staat de volledige paarsgewijze vergelijking, waaruit de gewichten van figuur 5.5.3 ontstaan zijn.

Gewichten van de criteria zijn:	
Kosten	0,033314282
Functionaliteit	0,228098632
Afhankelijkheid en simpliciteit	0,056499953
Toepasbaarheid	0,413252754
Gebruiksgemak	0,080821801
Foutkans	0,188012578

figuur 5.5.3 De gewichten van de criteria

Om te toetsen of deze gewichten met voldoende consistentie zijn bepaalt, is er een controle uitgevoerd. Daarmee is uiteindelijk het inconsistentie ratio uitgerekend. Deze consistentie controle staat ook weergegeven in bijlage **G**.

Inconsistentie ratio = 0,081436768

Wanneer het inconsistentie ratio onder de **0,1** blijkt, kan zonder twijfel gesteld worden dat de paarsgewijze vergelijking consistent is uitgevoerd. De gewichten van de criteria zijn hierdoor met meer dan voldoende juistheid bepaald.

Stap 3
In de derde stap worden alle alternatieven per criterium paarsgewijs vergeleken.

Alle alternatieven worden per criteria afgewogen. Hiervoor worden wederom paarsgewijze vergelijkingen gemaakt, waarbij ditmaal de oplossingen tegen elkaar worden afgezet. De manier van scoren is hetzelfde als bij het vergelijken van de criteria.

Als alle paarsgewijze vergelijkingen zijn voltooid, kan men bepalen hoe belangrijk alle oplossingen zijn ten opzichte van elkaar. Alle kolommen worden bij elkaar opgeteld tot een totaal. Daarna wordt een nieuwe tabel gevormd door steeds de score per cel te delen door de som van die totale kolom.

Door vervolgens de gemiddelden te nemen van een bepaalde rij in die kolom, weet je de score van een alternatief op dat criterium.

Hoe het scoren verloopt, hangt af van het criterium. In principe wordt gekeken naar de literatuur van paragrafen 2.2 tot en met 2.4 voor het vergelijken van alternatieven per criterium. Als er grensgevallen zijn, worden deze bij de criteria hieronder beschreven. Deze grensgevallen zijn de vergelijkingen waarbij scores erg dicht bij elkaar liggen.

Kosten
Voor dit criterium zijn de scores gebaseerd op een redenering met behulp van het literatuuronderzoek. De berekening staat in bijlage **H**.

Voor het bijhouden geldt dat een voorraadkaart en –boek vrijwel niets kost. PRODUCENT X is al in bezit van een ERP systeem, alleen is het invoeren van stuklijsten en de bij behorende artikelen iets tijdrovender dan het gebruik van een voorraadkaart. Een basis software systeem heeft een aanschaf waarde die meegenomen moet worden en de invoering van voorraadinformatie kost ook veel tijd. Als laatste is het gebruik van een WMS systeem het duurste. Deze systemen zijn duurder dan basis voorraadsoftware en hebben nog meer implementatietijd nodig.

Voor het bijwerken wordt gebruik gemaakt van manueel bijwerken, barcode systemen of een vorm van RFID. Het manueel bijwerken brengt vrijwel geen kosten met zich mee, enkel papier en inkt. Een barcode systeem brengt ook kosten voor inkt. Daarnaast vooral kosten voor een scanner(s). NFC lezers zijn vergeleken met de barcodelezers ongeveer even duur. Echter zijn de NFC chips een stuk duurder dan inkt. RFID spant uiteraard de kroon, doordat de chips enorm in waarde kunnen oplopen. Daarnaast wordt er vooral gebruik gemaakt van leespoorten, die nogal wat duurder dan een NFC of barcodelezer zijn.

De grensgevallen bij het afwegen zijn opties 2 en 4. Deze opties zijn respectievelijk basis voorraadsoftware + manueel bijwerken tegenover ERP systeem + manueel bijwerken. De kosten voor basis voorraadsoftware zijn niet hoog en een ERP pakket heeft PRODUCENT X al. Enkel alarmeringen toevoegen in ERP tegenover de aanschaf van basis software. Beide heeft het nog veel invoertijd van data nodig, waardoor deze opties als even zwaar in de afweging zijn meegenomen.

De score van oplossingen die uit de vergelijkingen naar voren komt, is afgebeeld in figuur 5.5.4.

Score op kosten:	
Oplossing:	
1	0,2932823
2	0,1765038
3	0,0805646
4	0,1820125
5	0,1223091
6	0,029513
7	0,0588084
8	0,0384804
9	0,0185259
SOM	1

figuur 5.5.4 Score op kosten

Om te toetsen of deze scores met voldoende consistentie zijn bepaalt, is er een controle uitgevoerd. Daarmee is uiteindelijk het inconsistentie ratio uitgerekend. Deze consistentie controle staat ook weergegeven in bijlage **H**.

Inconsistentie ratio = 0,033267

Wanneer het inconsistentie ratio onder de **0,1** blijkt, kan zonder twijfel gesteld worden dat de paarsgewijze vergelijking consistent is uitgevoerd. De scores van de oplossingen voor dit criterium zijn hierdoor met meer dan voldoende juistheid bepaald.

Functionaliteit
Voor dit criterium zijn de scores gebaseerd op een redenering met behulp van het literatuuronderzoek. De berekening staat in bijlage **I**.

Voor het bijhouden is te stellen dat een WM systeem het meest geavanceerd is op het gebied van voorraadbeheer, maar is daarmee ook het meest complexe systeem. Een ERP systeem biedt ook erg veel functionaliteit, maar dit is vooral ook veel functionaliteit naast voorraadbeheer. Een basis software systeem kan ook erg veel bijhouden, echter is een koppeling met RFID niet gebruikelijk en is een koppeling met andere systemen niet voor de hand liggend. Handmatige methode zijn betreft functionaliteit erg beperkt.

Voor het bijwerken is er met het manueel bijwerken erg veel verschil op te merken. Zo is het bijwerken met een pen heel wat minder functioneel als een handzaam toetsenbordje. Daarentegen zijn barcode systemen, NFC toepassingen en RFID systemen vol van functionaliteit. Met barcodes kan snel voorraad ingevoerd worden en daarbij kunnen de codes ook nog uitgeprint worden. Met een NFC toepassingen kan gemakkelijk gewerkt worden, door middel van het bijwerken door aanraking. Als laatste wordt RFID genoemd, omdat de functionaliteit hierbij erg groot is. Het bijwerken van data kan volledig draadloos verlopen. Hiermee zijn oneindig veel toepassingen te bedenken.

Bij het aanvullen door alarmering wordt er systematisch aangezet tot aanvullen. Slimme inkopen kunnen daarom gemaakt worden.

De grensgevallen bij het afwegen zijn de opties 5 tegenover 7 en opties 6 tegenover 8. Bij opties 5 en 7 is het enige verschil de manier van bijwerken. Namelijk barcodes tegenover NFC. Echter is dit als nagenoeg hetzelfde genomen, omdat de functionaliteit van het printen van barcodes niet meer weegt

als het scannen door aanraken. Opties 6 en 8 hebben veel functionaliteit. Een WM systeem meer ten opzichte van een ERP systeem, alleen bijwerken door middel van RFID meer ten opzichte van een barcode systeem.

De score van oplossingen die uit de vergelijkingen naar voren komt, is afgebeeld in figuur 5.5.5.

Score op functionaliteit:	
Oplossing:	
1	0,018834
2	0,025677
3	0,037191
4	0,067382
5	0,111301
6	0,161771
7	0,095158
8	0,184803
9	0,297883
SOM	1

figuur 5.5.5 Score op functionaliteit

Om te toetsen of deze gewichten met voldoende consistentie zijn bepaalt, is er een controle uitgevoerd. Daarmee is uiteindelijk het inconsistentie ratio uitgerekend. Deze consistentie controle staat ook weergegeven in bijlage **I**.

Inconsistentie ratio = 0,041761

Wanneer het inconsistentie ratio onder de **0,1** blijkt, kan zonder twijfel gesteld worden dat de paarsgewijze vergelijking consistent is uitgevoerd. De gewichten van de criteria zijn hierdoor met meer dan voldoende juistheid bepaald.

Afhankelijkheid en simpliciteit
Voor dit criterium zijn de scores gebaseerd op een redenering met behulp van het literatuuronderzoek. De berekening staat in bijlage **J**.

Voor het bijhouden kan bij een handmatige methode niet veel voorruitgang op de huidige situatie geboekt worden. De afhankelijkheid van ervaring is dan nog steeds hoog, al is een dergelijk systeem wel simpel. Door een basis voorraadsoftware te gebruiken kan er al veel denkwerk en afhankelijkheid weggenomen worden. Al is elk soort koppeling niet mogelijk, dus is men vaak nog afhankelijk van de transmissie tussen verschillende systemen. Voor een ERP systeem is eigenlijk geen nee te koop, de afhankelijkheid van een dergelijk systeem kan helemaal weggenomen worden. Dit is dan afhankelijk van de mate van integratie. Een WM systeem is ten opzichte van een ERP systeem wel meer afhankelijk. Vaak moeten er koppelingen gemaakt worden. Wel is het erg simpel gemaakt om optimale locaties en looproutes voor orderpicken te geven.

Voor het bijwerken is er weer de grootste afhankelijkheid bij manueel bijwerken. Dit berust voornamelijk op ervaring en daarbij is de simpliciteit ver te zoeken als de communicatie niet goed verloopt. Met het gebruik van de automatische systemen is er veel minder last van afhankelijkheid. Dit is meer berust op een routine en zorgt voor veel simpliciteit.

Aanvullen van alarmeringen brengt rust en systematiek, terwijl aanvullen door periodieke controles veel afhankelijkheid brengt.

De grensgevallen bij het afwegen zijn de opties 5, 7 en 9 tegenover elkaar. Opties 5 en 7 hebben een ERP systeem waarbij de simpliciteit en afhankelijk met het bijwerken door barcodes of NFC redelijk hetzelfde is. Het gebruik van een WM systeem met RFID scoort qua bijwerken van data wel hoger dan de opties 5 en 7. Echter is het implementeren van een WM systeem weer meer een roep naar ervaren mensen. Daarnaast is een WM systeem ook weer een ander systeem dan het huidige ERP. Het systeem is nog niet zo bekend.

De score van oplossingen die uit de vergelijkingen naar voren komt, is afgebeeld in figuur 5.5.6.

Score op afhankelijkheid en simpliciteit:	
Oplossing:	
1	0,020622
2	0,032482
3	0,052683
4	0,045969
5	0,14837
6	0,289358
7	0,157113
8	0,107296
9	0,146107

figuur 5.5.6 Score op afhankelijkheid en simpliciteit

Om te toetsen of deze gewichten met voldoende consistentie zijn bepaalt, is er een controle uitgevoerd. Daarmee is uiteindelijk het inconsistentie ratio uitgerekend. Deze consistentie controle staat ook weergegeven in bijlage **J**.

Inconsistentie ratio = 0,069147

Wanneer het inconsistentie ratio onder de **0,1** blijkt, kan zonder twijfel gesteld worden dat de paarsgewijze vergelijking consistent is uitgevoerd. De gewichten van de criteria zijn hierdoor met meer dan voldoende juistheid bepaald.

Toepasbaarheid
Voor dit criterium zijn de scores gebaseerd op een redenering met behulp van het literatuuronderzoek. De berekening staat in bijlage **K**.

Voor het bijhouden is een ERP systeem het meest eenvoudig qua toepassing. Een ERP systeem is al in gebruik, alleen worden de functies voor voorraadbeheer niet gebruikt. De functies die niet gebruikt worden, zijn goed toepasbaar voor het probleem. De toepasbaarheid van een WM systeem is ook goed, alleen minder gemakkelijk toe te passen op het huidige probleem. WM systemen missen bovendien een stukje koppelingsmogelijkheden als deze op zichzelf wordt gebruikt. Bij basis software vergt het nog meer tijd, omdat er geen koppelingen mogelijk zijn. Stuklijsten gaan niet rechtstreeks met dit systeem werken.

Voor het bijwerken is het gebruik van automatische systemen goed toepasbaar. De wijze van werken past hier goed bij. Barcode systemen zorgen voor een reductie in afhankelijkheid, gemaakte fouten en 2-D codes kunnen bij lichte beschadiging nog goed gelezen worden. RFID is qua functionaliteit erg goed toepasbaar voor het probleem, alleen speelt de omgeving deze oplossing erg parten. Metaalomgevingen zorgen vaak voor verstoringen van radiogolven. Daarnaast is de toepasbaarheid van NFC ook goed, echter niet beter dan gebruik van barcodering.

De toepasbaarheid van alarmeringen als aanzet voor aanvullen is hoog, aangezien de kans op communicatiefouten en bestelfouten weg is. Enkel aanvullen door periodieke controle brengt te veel kans op fouten. Deze fouten zijn het (te) laat bestellen en zonder voordeel moeten bestellen. Dit met alle gevolgen van dien.

De grensgevallen bij het afwegen zijn opties 2 en 6 tegenover elkaar en opties 3 en 8 tegenover elkaar. De toepasbaarheid van basis voorraadsoftware (in optie 2) is minder als die van een ERP systeem (optie 6), aangezien PRODUCENT X al wel in het bezit is van ISAH. Echter is het manueel bijwerken van voorraad nog een betere optie dan het gebruik van RFID in de staalomgeving die PRODUCENT X heeft. Opties 3 en 8 hebben beide een nieuw voorraadsysteem, die minder toepasbaar is als het gebruik van het huidige ISAH systeem. Daarnaast wordt met beide opties wel een barcode systeem voor bijwerken gebruikt. In de afweging heeft optie 8 tegen over 3 wel een voorsprong doordat er nog wel meerdere koppelingsopties met een WM systeem zijn.

De score van oplossingen die uit de vergelijkingen naar voren komt, is afgebeeld in figuur 5.5.7.

Score op toepasbaarheid:	
Oplossing:	
1	0,022024
2	0,047006
3	0,100192
4	0,188298
5	0,316909
6	0,051008
7	0,08733
8	0,154159
9	0,033074
SOM	1

figuur 5.5.7 Score op toepasbaarheid

Om te toetsen of deze gewichten met voldoende consistentie zijn bepaalt, is er een controle uitgevoerd. Daarmee is uiteindelijk het inconsistentie ratio uitgerekend. Deze consistentie controle staat ook weergegeven in bijlage **K**.

Inconsistentie ratio = 0,054341

Wanneer het inconsistentie ratio onder de **0,1** blijkt, kan zonder twijfel gesteld worden dat de paarsgewijze vergelijking consistent is uitgevoerd. De gewichten van de criteria zijn hierdoor met meer dan voldoende juistheid bepaald.

Gebruiksgemak
Voor dit criterium zijn de scores gebaseerd op een redenering met behulp van het literatuuronderzoek. De berekening staat in bijlage **L**.

Voor het bijhouden is voor het gebruiksgemak vooral gekeken naar hoe gemakkelijk het systeem werkt, met zoveel mogelijk functionaliteit. Het WM systeem is hierbij het meest complexe systeem.

Voor het bijwerken is het belangrijk dat het plezierig voor de gebruiker werkt. Hoeveel stappen moeten doorlopen worden en hoe gemakkelijk gaat dit. Hierbij zijn de meest manuele methodes uiteraard het slechtste en de automatische systemen zijn favoriet.

Het aanvullen door alarmering is hierbij ook een stuk gebruiksvriendelijker. Er hoeft niet nagedacht te worden over bestelhoeveelheden en het bestelmoment wordt aangegeven.

De grensgevallen bij het afwegen zijn erg vaak aanwezig hier. Bij gebruiksgemak kan het implementeren wel hele verschillen brengen. Het behouden van ISAH is gebruiksvriendelijker dan het aanschaffen van een ander systeem. Daarnaast is het bijwerken door middel van RFID voor productie het grootst. Afnemend in gebruiksgemak gaat dit van RFID > naar NFC en Barcode > naar manueel bijwerken.

De score van oplossingen die uit de vergelijkingen naar voren komt, is afgebeeld in figuur 5.5.8.

Score op gebruiksgemak:	
Oplossing:	
1	0,020249
2	0,030247
3	0,063166
4	0,053599
5	0,197751
6	0,313873
7	0,155348
8	0,075833
9	0,089933
SOM	1

figuur 5.5.8 Score op gebruiksgemak

Om te toetsen of deze gewichten met voldoende consistentie zijn bepaalt, is er een controle uitgevoerd. Daarmee is uiteindelijk het inconsistentie ratio uitgerekend. Deze consistentie controle staat ook weergegeven in bijlage **L**.

Inconsistentie ratio = 0,048887

Wanneer het inconsistentie ratio onder de **0,1** blijkt, kan zonder twijfel gesteld worden dat de paarsgewijze vergelijking consistent is uitgevoerd. De gewichten van de criteria zijn hierdoor met meer dan voldoende juistheid bepaald.

Foutkans
Voor dit criterium zijn de scores gebaseerd op een redenering met behulp van het literatuuronderzoek. De berekening staat in bijlage **M**.

De kans op fouten voor het bijhouden, wordt voornamelijk bepaalt door de manier van opslaan. Een duidelijke manier van opslaan zorgt voor minder uitleesfouten door de gebruiker.

Met manueel bijwerken worden fouten het snelste gemaakt. Deze fouten zijn schrijffouten en typefouten. Met barcode scannen kunnen fouten gemaakt worden doordat een code niet goed gelezen wordt of niet meer leesbaar is. Met RFID zijn de foutkansen het kleinste.

Aanvullen door middel van alarmeringen verkleint de kans op fouten enorm. Hierbij wordt wel aangenomen dat periodieke controles dan handmatig verricht worden.

De grensgevallen bij het afwegen zijn bepaald door de methoden van bijwerken. Alle voorraadsystemen kunnen namelijk wel koppelingen maken. Echter is dit wel minder gemakkelijk met een basis voorraadsoftware die naast een ERP wordt gebruikt. Opties 5 en 7 liggen dicht bij elkaar, doordat barcode en NFC een soortgelijke foutkans hebben met het bijwerken. 2D-barcodes kunnen namelijk erg goed en snel gelezen worden.

De score van oplossingen die uit de vergelijkingen naar voren komt, is afgebeeld in figuur 5.5.9.

Score op foutkans:	
Oplossing:	
1	0,021162
2	0,029327
3	0,061178
4	0,048348
5	0,145671
6	0,254087
7	0,164523
8	0,10929
9	0,166414
SOM	1

figuur 5.5.9 Score op foutkans

Om te toetsen of deze gewichten met voldoende consistentie zijn bepaalt, is er een controle uitgevoerd. Daarmee is uiteindelijk het inconsistentie ratio uitgerekend. Deze consistentie controle staat ook weergegeven in bijlage **M**.

Inconsistentie ratio = 0,038972

Wanneer het inconsistentie ratio onder de **0,1** blijkt, kan zonder twijfel gesteld worden dat de paarsgewijze vergelijking consistent is uitgevoerd. De gewichten van de criteria zijn hierdoor met meer dan voldoende juistheid bepaald.

Stap 4

De eindscore voor de oplossingen wordt gemaakt door middel van alle scores voor de criteria te vermenigvuldigen met de gevonden gewichten in stap 2. Als resultaat is figuur 5.5.10 gemaakt, waarbij de totaalscore is bepaald door de som van de scores voor elke oplossing. Optellen geschiedt van links naar rechts in deze opmaak.

Totaal score alternatieven:

	Kosten	Functionaliteit	Afhankelijkheid en simpliciteit	Toepasbaarheid	Gebruiksgemak	Foutkans		**Totaalscore**
1	0,0097705	0,004296	0,001165	0,009102	0,001637	0,003979		**0,029949**
2	0,0058801	0,005857	0,001835	0,019425	0,002445	0,005514		**0,040956**
3	0,002684	0,008483	0,002977	0,041404	0,005105	0,011502		**0,072156**
4	0,0060636	0,01537	0,002597	0,077815	0,004332	0,00909		**0,115267**
5	0,0040746	0,025388	0,008383	0,130964	0,015983	0,027388		**0,212179**
6	0,0009832	0,0369	0,016349	0,021079	0,025368	0,047772		**0,14845**
7	0,0019592	0,021705	0,008877	0,036089	0,012556	0,030932		**0,112119**
8	0,0012819	0,042153	0,006062	0,063707	0,006129	0,020548		**0,139881**
9	0,0006172	0,067947	0,008255	0,013668	0,007269	0,031288		**0,129043**

figuur 5.5.10 Totaalscore van alle alternatieven

Oplossing 5 komt als beste oplossing uit de analyse.

Stap 5

In deze stap wordt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op de oplossingen van stap 4. Hiertoe wordt telkens de score voor een criterium op nul gesteld om de robuustheid van het eindresultaat te bepalen. Bij verandering van een criterium moet de oplossing niet meteen een slecht alternatief zijn. De wijze waarop de analyse gedaan is, is in bijlage **N** toegelicht.

Wat hier opvalt, is het feit dat oplossing 5 bij het veranderen van de weging voor vijf van de zes keer de beste score behaald. Dit komt vooral doordat toepasbaarheid het zwaarste weegt. De beste oplossing is dan snel gevonden, omdat oplossing 5 ook gewoon goed scoort op de andere criteria. Echter geldt dat de toepasbaarheid in eerste instantie al hoog moet zijn, anders is de oplossing bij voorbaat al afgeschreven. De consequentie hiervan is dat de keuze van de systemen al erg beperkt wordt doordat dit criterium zo zwaar weegt. RFID is namelijk wel een erg functionele oplossing om data bij te werken. In oplossingen 6 en 9 wordt RFID gebruikt. Deze oplossingen hebben los van andere voorwaarden een hoge functionaliteit en een kleine foutkans. Echter is de toepasbaarheid van deze RFID systemen nog lang niet altijd geschikt in staalomgevingen. Functionaliteit zonder toepasbaarheid is als een windmolen zonder wind.

Stap 6

De oplossingen voor het bijhouden, bijwerken en aanvullen zijn in figuur 5.5.11 op volgorde van score gezet.

Volgorde		Totaalscore
1	**Oplossing 5:** ERP systeem Barcode systeem Alarmeringen	**0,212179**
2	**Oplossing 6:** ERP systeem RFID Alarmeringen	**0,14845**
3	**Oplossing 8:** WM systeem Barcode systeem Alarmeringen	**0,139881**
4	**Oplossing 9:** WM systeem RFID Alarmeringen	**0,129043**
5	**Oplossing 4:** ERP systeem Manueel bijwerken Alarmeringen	**0,115267**
6	**Oplossing 7:** ERP systeem NFC (RFID) Alarmeringen	**0,112119**
7	**Oplossing 3:** Basis voorraadsoftware Barcode systeem Alarmeringen	**0,072156**
8	**Oplossing 2:** Basis voorraadsoftware Manueel bijwerken Periodiek controleren	**0,040956**
9	**Oplossing 1:** Voorraadkaart of -boek Manueel bijwerken Periodiek controleren	**0,029949**

figuur 5.5.11 Alternatieven op volgorde van scorehoogte

De beste oplossing voor het bijwerken, bijhouden en aanvullen is door middel van het gebruik van oplossing 5. De keuze valt dan op een ERP systeem, die met barcodering voorraadinformatie zal bijwerken en alarmeringen als aanzet tot inkopen geeft. Ook na het controleren van consistenties bij het invullen en het uitvoeren van een gevoeligheidsanalyse blijkt dit de beste oplossing.

5.6 Terugblik hoofdstuk 5

In dit hoofdstuk zijn de aanbevolen oplossingen voor de gevonden problemen aangekaart. Voor een aantal oplossingen zorgt de directe literatuur voor resultaat, maar voor het bijhouden, bijwerken en aanvullen zorgt de afwegingsmethode AHP voor resultaat.

Oplossing 1

Om elke soort voorraadartikel de juiste behandeling te geven, moet er een voorraadindeling gemaakt worden. Deze voorraadindeling bij PRODUCENT X is in de huidige situatie berust op ervaring. Een nieuwe indeling, met een verdeling in anonieme en klantspecifieke voorraad is de aanbevolen oplossing. De bepaling van deze verdeling gaat aan de hand van de ABC classificatie methode.

Oplossing 2

Het aanvullen van de voorraden gebeurd ook voornamelijk op basis van ervaring. Echter worden sommige voorraadartikelen wel bijgehouden met een two-bin systeem. De indeling van voorraad zal uitwijzen welke manier van aanvullen gekozen wordt.

Oplossing 3

Er komt regelmatig voor dat voorraadlocaties niet duidelijk zijn. Om wat aan opgeslagen voorraadinformatie te hebben, zal op z'n minst de locatie van een artikel duidelijk moeten zijn.

Oplossing 4

Doordat artikelnummers en stuklijsten niet altijd in het ERP systeem staan, zijn onnodige kosten zo gemaakt. Het zoeken naar prijzen en het twee maal maken van bijna identieke stuklijsten kan voorkomen worden. Het toevoegen van artikelnummers en correct bijwerken van stuklijsten is een aanbeveling.

Oplossing 5

Voor het bijwerken, bijhouden en aanvullen kan het beste gekozen worden voor oplossing 5, het ERP systeem in combinatie met barcodering en voorraadalarmeringen. Deze oplossing komt op basis van AHP als beste naar voren. De gewichten van de afwegingscriteria en scores van de oplossingen zijn gecontroleerd op consistentie. Ook is de eindoplossing op robuustheid getoetst door middel van een gevoeligheidsanalyse.

In hoofdstuk 6 wordt gekeken naar de toepassing en implementatie van de oplossingen bij PRODUCENT X. Ook wordt de volgorde van deze oplossingen in stappen beschreven.

Hoofdstuk 6 - Implementatie

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe PRODUCENT X de oplossing kan toepassen. Hierbij wordt aangegeven met wat voor stappen er antwoord wordt gegeven op de derde onderzoeksvraag. Dit hoofdstuk geldt tevens als de aanbeveling voor PRODUCENT X.

De vijf oplossingen uit hoofdstuk 5 worden op volgorde van toepassen beschreven. Ook wordt er onderscheid gemaakt in een toekomstige en speculatieve fase. De toekomstige fase zal later uitgevoerd worden, wanneer er met voldoende tevredenheid met het systeem is gewerkt. De speculatieve fase, is een fase waar nog enige discussie nodig is. Dit is zo genoemd, omdat dit nog niet de prioriteit heeft en ook afhankelijk van andere factoren is.

In paragraaf 6.1 worden de aanbevolen implementatiestappen beschreven. De volgorde van deze stappen is zo gekozen, omdat er stappen zijn die elkaar moeten opvolgen. Daarna wordt in paragraaf 6.2 een schematische weergave van het stappenplan gegeven. Zo dat een eindconclusie wordt beschreven in het laatste hoofdstuk, hoofdstuk 7.

6.1 Implementatie

Stap 1 Artikelnummers toevoegen

Voor het wegnemen van onnodige zoekacties is het aan te bevelen om artikelnummers toe te voegen. Dit geldt voor elk artikel wat een kans tot verkopen heeft. Of anders gezegd, alle producten die als sparepart gezien kunnen worden. Bij deze artikelnummers is in ieder geval een specificatie van de prijs nodig.

Stap 2 Voorraad indelen

De indeling van voorraad moet gebaseerd worden op de ABC classificatie methode, waarbij een anonieme en klantspecifieke voorraad wordt bijgehouden. Het doel is om de anonieme voorraad te behandelen en aan te vullen op basis van een two-bin systeem. Dit is al benoemd in paragrafen 5.2 en 5.3. Daarbij wordt een aanbeveling voor de behandeling van de klantspecifieke voorraad gegeven in stap 4. De klantspecifieke voorraad wordt dan gezien als voorraadgroep A en de anonieme voorraad als groep B. Er wordt gekozen voor twee voorraadgroepen van de ABC methode aangezien het gaat om de mate van beheersing die een artikel nodig heeft. A en B groepen krijgen dan vrijwel altijd dezelfde behandeling, terwijl C dus anders wordt behandelt. A en B wordt hier dus voorraadgroep A en C is dan voorraadgroep B.

In samenspraak is een afwegingsmethodiek opgesteld, waaraan elk artikel getoetst kan worden. Hierbij wordt gekeken naar de totale waarde van een te produceren machine. Daarin is een artikel een X aantal keren benodigd, heeft dit artikel een bepaalde levertijd en een X aantal mogelijke leveranciers. In figuur 6.1.1 is de gemaakte afwegingmethodiek afgebeeld. Er is gekozen voor het meenemen van levertijden en aantal leveranciers, aangezien deze serieus impact hebben op risico's omtrent leverhaalbaarheid van PRODUCENT X machines. Echter wordt de afwegingsmethodiek wel vergeleken met het traditioneel indelen van artikelen in een ABC systeem.

De grenswaarde is de waarde die de grens tussen voorraadgroepen A en B bepaalt. Hierbij is de 2% gebaseerd op de ABC classificatie methode, waar gekeken wordt naar de C-groep die vaak het hoogste volume en de laagste waarde in een voorraad bezetten. De eerste 'x 2' staat voor de levertijd binnen tien dagen en de 'x 1' staat voor drie of meer leveranciers. Wanneer er dus daadwerkelijk 2% van de waarde aan artikelen wordt ingevoerd, kan dit artikel alleen nog voor voorraadgroep B in aanmerking komen als er maximaal 10 werkdagen levertijd op zit en er in ieder geval drie mogelijke leveranciers voor het artikel zijn. Deze grenswaarde is door PRODUCENT X als reëel geacht, al kan in de praktijk

blijken dat dat een artikel anders ingedeeld dient te worden. Echter wordt er ook ter controle de traditionele ABC indeling gebruikt.

De score op 'waarde van artikelen' is gebaseerd op het veel gebruikte gebruiksratio bij de ABC classificatie methode. Dit is ook beschreven in paragraaf 2.2.2.

Daarnaast zijn scoreverdelingen van 1, 2 en 5 bij 'levertijd' gebaseerd op de bepaling van een anonieme en klantspecifieke voorraad, zoals deze beschreven is in paragraaf 2.2.2. De levertijd of productietijd van een artikel is erg bepalend. Als er een hele korte levertijd/productietijd is, kan deze altijd nog wel op tijd gereed zijn. Hoe langer de tijd, hoe riskanter voor de waarborging van het proces. Vandaar dat er gekozen is voor een oplopend karakter wat loopt van 1 naar 2 naar 5. Hoe langer de tijd, hoe meer beheersing gewenst is. Dit is gebaseerd op een 5-puntsschaal, echter scoren de nummers 3, 4 en 5 op de schaal altijd 5 hier, aangezien 3, 4 en 5 allemaal dusdanig bij een beheersing verdienen van voorraadgroep A. (Kiris, 2013)

De score voor 'aantal leveranciers' werkt precies andersom als de levertijd. Als er maar één leverancier voor het artikel is, zal deze een monopolistische rol hebben. De leverancier heeft de klant in de tang qua levertijd en qua prijs. Dus het aantal leveranciers is bepalend voor het waarborgen van het proces. Vandaar dat er gekozen is voor een aflopend karakter wat loopt van 5 naar 2 naar 1. Hoe meer leveranciers er voor een artikel zijn, hoe minder risico. Dit is gebaseerd op een 5-puntsschaal, echter scoren de nummers 3, 4 en 5 op de schaal altijd 5 hier, aangezien 3, 4 en 5 allemaal dusdanig bij een beheersing verdienen van voorraadgroep A. (Kiris, 2013)

De uiteindelijke bepaling van de artikelscore is gebaseerd op het 'weighted product model' waarbij criteria met ongelijke meeteenheden met elkaar vermenigvuldigd kunnen worden. (Triantaphyllou, 2000) Deze methode is dus geschikt om eenvoudig een aantal criteria mee te nemen van verschillende orde. De gewichten van de drie criteria worden als gelijk geacht doordat deze allemaal veel impact hebben op het verbeteren van de procesbewaking. Dan vallen de machten tegen elkaar weg bij het vergelijken met een grenswaarde. Dit is in samenspraak met PRODUCENT X gegaan.

Afwegingsmethodiek

	Uitleg:
Grenswaarde:	$= (2\%\ van\ de\ totale\ waarde\ van\ de\ machine, waarin\ het\ voorraadartikel\ verwerkt\ wordt)\ \times\ 2\ \times 1$
Criteria:	Score:
Waarde van artikelen (W)	$= hoeveelheid\ artikelen\ benodigd\ \times waarde\ van\ 1\ artikel$
Levertijd (L)	= 1: wanneer de levertijd van een artikel maximaal 5 werkdagen is
	= 2: wanneer de levertijd van een artikel maximaal 10 werkdagen is
	= 5: wanneer de levertijd van een artikel meer dan 10 werkdagen is
Aantal leveranciers (AL)	= 5: wanneer er maar 1 leverancier voor het artikel is
	= 2: wanneer er maar 2 leveranciers voor het artikel zijn
	= 1: wanneer er 3 of meer leveranciers voor het artikel zijn
Artikelscore:	$= W \times L \times AL$
Indeling:	Grenswaarde < Artikelscore = voorraadgroep A Grenswaarde > Artikelscore = voorraadgroep B

figuur 6.1.1 Afwegingsmethodiek voor indelen van voorraad

De methodiek begint met het bepalen van de grenswaarde. Daarna worden voor het artikel de drie criteriascores en de totale artikelscore bepaald. Om het artikel in te delen zal de grenswaarde met de artikelscore worden vergeleken.

Hieronder worden enkele rekenvoorbeelden van deze afwegingsmethodiek gegeven.

Rekenvoorbeelden:

Voor een machine van €40000, - geldt een grenswaarde van

1600 (=$(2\%\ van\ 40000 \times\ 2\ \times 1$) Hieronder worden enkele waardes van artikelen getoetst.

5000 waarde, 1 dag levertijd en 4 leveranciers = $5000 \times 1 \times 1 = 5000$

1600 is kleiner dan 5000, dus voorraadgroep A.

600 waarde, 8 dagen levertijd en 2 leveranciers = $600 \times 2\ \times 2 = 2400$

1600 is kleiner dan 2400, dus voorraadgroep A.

600 waarde, 8 dagen levertijd en 3 leveranciers = $600 \times 2 \times 1 = 1200$

1600 is groter dan 1200, dus voorraadgroep B.

1200 waarde, 2 dagen levertijd en 8 leveranciers =$1200 \times 1 \times 1 = 1200$

1600 is groter dan 1200, dus voorraadgroep B.

Om de gekregen artikelscore te controleren, is aan te bevelen om ook de waarde van de artikelen(ook aangeduid met W in de afwegingsmethodiek) apart uit te zetten tegen alle gevonden scores door middel van de afwegingsmethodiek. Dit is de min of meer standaard methode en neemt enkel waarde mee. Dan kan het beste een overzicht gemaakt worden waarbij alle artikelen gesorteerd worden op waarde. De hoogste 80% wordt dan ingedeeld in A en de rest in groep B, zodat volgens het pareto principe wordt gewerkt. Door dan vervolgens de scores te vergelijken, kan er alsnog bepaald worden door de belanghebbers dat een aantal artikelen wel voorraadgroep A of juist voorraadgroep B moeten worden. Het vergelijken met een traditioneel systeem wordt erg vaak ter controle gedaan (Wan Lung, 2007).

Stap 3 Uitbreiden huidig two-bin systeem fase 1

Voor voorraadgroep B is vastgesteld dat deze het beste bijgehouden en aangevuld kan worden door een eenvoudig two-bin systeem. (Chu, Liang, & Liao, 2008) Dit two-bin systeem is een goed systeem voor het bijhouden van artikelen die een lage waarde en een hoog volume hebben. Ook zal hier een geschikte locatie voor gevonden moeten worden. Het magazijn en de montageplaatsen behoren tot de optionele locaties.

Stap 4 Bijhouden en bijwerken fase 1

Voor voorraadgroep A is het aan te bevelen om het bijhouden en bijwerken te doen volgens de oplossing van paragraaf 5.5. Deze oplossing is het gebruik van het huidige ISAH pakket in combinatie met een barcode systeem en de alarmeringen die via ISAH gegeneerd worden.

Om te starten met deze manier van bijhouden is het aan te raden om eerst de aanwezige voorraad te tellen en daarna in te voeren in ISAH. Het toevoegen van deze voorraadniveaus en voorraadlocaties zal in een kort tijdspan moeten gebeuren, aangezien orderpicken tijdens productie in principe door gaat.

Om met barcode scanning te beginnen zijn op z'n minst twee handheld barcode scanners nodig. Deze scanners zullen eerst bij het ingaan van ruw materiaal en inkoopdelen ingezet worden. Hierdoor kan begonnen worden met het invoeren van voorraad als deze het bedrijf binnenkomt. Huidige voorraadniveaus zijn dan duidelijk en de invoer van voorraad zal dit niveau bijwerken. Als er dan een order binnenkomt zullen direct alle aanwezige artikelen afgeboekt worden uit voorraad, door middel van het ISAH systeem.

De barcodes die gebruikt worden, kunnen het beste toegevoegd worden aan de werkbon. De keuze voor het type barcode valt, mits mogelijk, op een 2-D code, aangezien deze bestand is tegen beschadigen en ook nog eens snellere leessnelheden kan behalen.

Stap 5 Koppelen van stuklijsten

Na stap 4 kan gezegd worden dat stuklijsten voor productie en het orderpicken een belangrijke rol spelen. Als een stuklijst niet bijgewerkt wordt, worden verkeerde voorraden of geen voorraden afgeboekt. Het is enorm belangrijk dat het gebruik van een automatisch systeem voor voorraden door de gebruiker consequent wordt nageleefd. Om een correcte naleving te behalen is de aanbeveling om stuklijsten altijd direct bij te werken in het ERP systeem.

Met het tekenprogramma en ISAH is tegenwoordig ook een koppeling mogelijk. Deze koppeling maakt het invoeren en bijwerken van een stuklijst, vanuit het gebruikte tekenprogramma, een eenvoudig karweitje.

Stap 6 Aanvullen door alarmeringen en controles

In de vierde stap staat beschreven dat met het gebruik van het ISAH systeem voorraadniveaus bekend zijn. Om deze niveaus op peil te houden kunnen de alarmeringen van een ERP systeem van pas komen. Het bepalen van de hoogte van de veiligheidsvoorraad is nu nodig. Doormiddel van discussies en de nodige ervaring kunnen deze niveauhoogtes tot stand komen.

Als het vraagpatroon verandert, zijn deze veilige grenzen aan te passen en worden andere bestelhoeveelheden als advies gegeven.

Naast deze alarmeringen zijn vooral in het begin periodieke controles nodig. Deze controles kunnen het beste de eerste drie tot zes maanden elke maand uitgevoerd worden en daarna jaarlijks. Dit wordt gedaan ter evaluatie van het systeem, omdat dit in een overgang naar continue voorraadcontrole systeem met een jaarlijkse controle wel geschikt is. In de overgang is de kans op fouten groot en daarbij is er nog geen gewenning met de nieuwe procedure van barcode scannen. De periodieke controle dient als evaluatie van het voorraad systeem. Deze evaluatie is belangrijk om na te gaan of het doel bereikt is. (Heerkens & van Winden, 2012)

Stap 7 Bijhouden en bijwerken fase 2

Om het bijhouden en bijwerken tot een hoger niveau te brengen, kan er nu gekeken worden naar het behalen van hogere transparantie met de voorraadniveaus.

Opnieuw een aanschaf van barcodescanners kan gedaan worden. Met deze stap kan het scannen van gerede machines beginnen. Hierbij kan in het ISAH systeem bijgehouden worden wanneer een machine gereed is. Dit kan gedaan worden voor het bijhouden van de voorraad aan gerede machines. Elke order is namelijk niet een klantorder en PRODUCENT X produceert ook het liefste seriematig.

Toekomstige fases:

Stap 8 Uitbreiden huidig two-bin systeem fase 2

In stap 3, is gekozen om voorraadgroep B bij te houden door middel van een two-bin systeem. Om dit systeem voor de aanvuller van deze bakjes te vereenvoudigen kunnen barcodes aan de bakjes toegevoegd worden. Door deze barcodes te scannen kan er automatisch een bestelorder voor dat bakje gemaakt worden.

Eveneens zal het gebruik van 2-D codering betere resultaten als 1-D codering opleveren. De kans op beschadigen bij het verplaatsen van deze bakjes is namelijk groot. Ook speelt leessnelheid en opslagcapaciteit een rol bij dit systeem.

Als deze manier van bijhouden is aangenomen, kunnen de voorraden van deze groep B artikelen zoveel mogelijk gereduceerd worden. Hiertoe kan er steeds minder voorraad van deze artikelen in het hoofdmagazijn worden bewaard.

Stap 9 Bijhouden en bijwerken fase 3

Om een hogere mate van actuele voorraadinformatie te krijgen en om een beeld van benodigde arbeidsuren te krijgen, is het aan te bevelen om vaker voorraadinformatie bij te werken. Het is hier het eenvoudigst om af te scheiden delen van productie en montage eerst aan te pakken.

Het voorstel is dan ook om voor het begin van de eindmontage, en aan het eind, voorraad bij te werken door middel van de barcodes op de werkbon. Een verbetert beeld van de kostprijs van monteren is dan het resultaat.

Daarnaast kan voorraad bijgewerkt worden, nadat alle verspanende activiteiten uitgevoerd zijn.

Of in het kader van de standaard onderdelen, kan begonnen worden met het bijhouden van de productie van U-elementen. Met deze nacalculatie kan nog eens kritisch naar de kostprijs gekeken worden.

Speculatieve fase:

Stap 10 Gebruik van een WM systeem

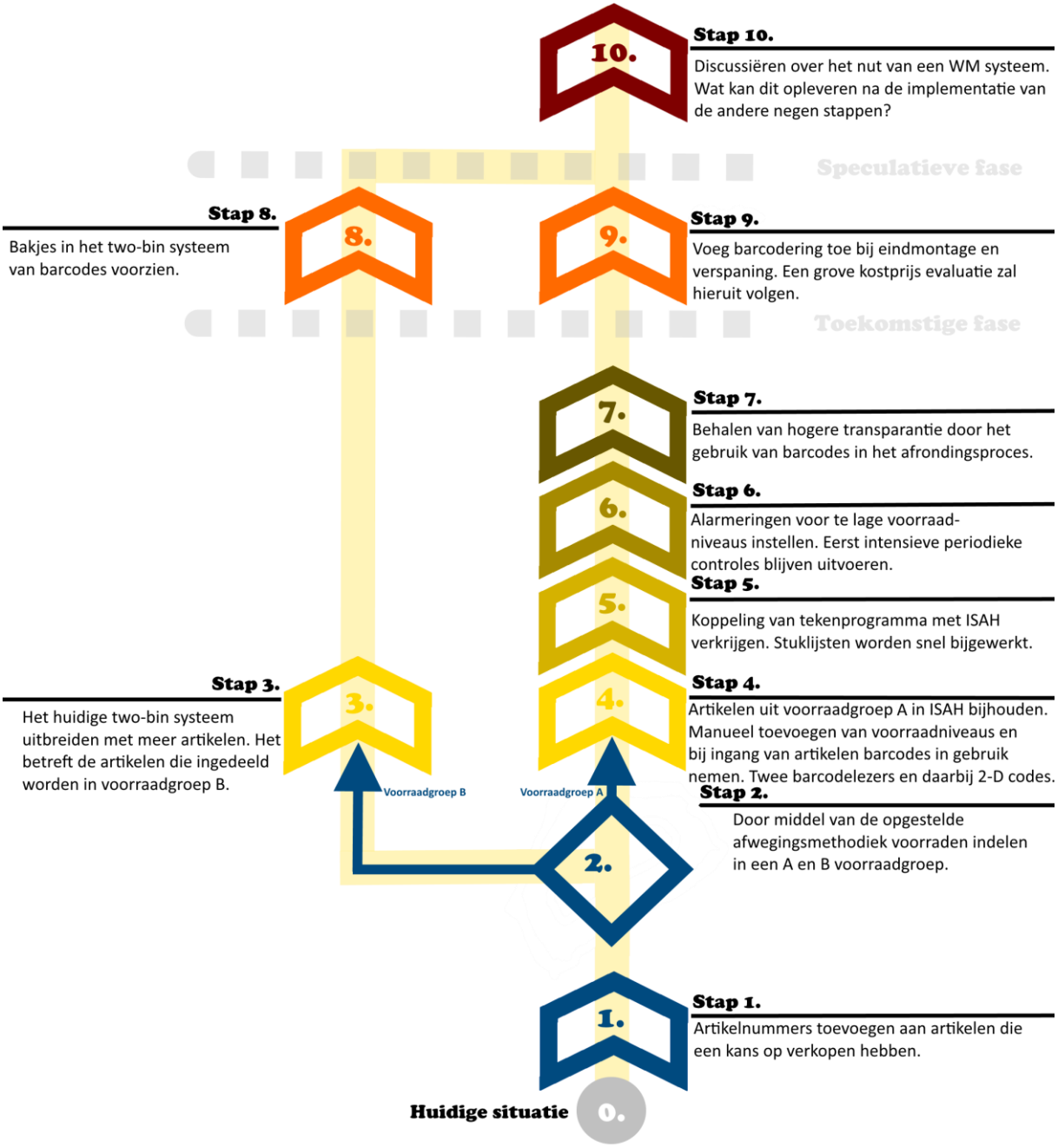
In deze fase, kan er gediscussieerd worden over de noodzaak van een WM systeem. Optimale locaties, optimale looproutes voor orderpicken en het herontwerpen van magazijnen behoren tot de nieuwe functionaliteiten.

Oplossing 8 in paragraaf 5.5 scoort ook erg goed. Dit is de oplossing van een WM systeem in combinatie met barcodering. Dit is het resultaat van het systeem alleen. Stel dat er een koppeling met ISAH mogelijk is, waardoor de functionaliteiten van een WM systeem toegevoegd worden aan ISAH.

De opbrengst van een dergelijk systeem moet echter wel opwegen tegen de kosten. De discussie hierover zal na een succesvolle implementatie van stappen 1 tot en met 9 kunnen volgen.

6.2 Stappenplan

Het stappenplan die als aanbeveling voor PRODUCENT X geldt, is toegelicht in paragraaf 6.1. In deze paragraaf wordt in figuur 6.2.1 de schematische weergave van het stappenplan gevisualiseerd. Van onder naar boven wordt dit stappenplan uitgelezen. Beginnend bij de huidige situatie, stap 0.



figuur 6.2.1 Het stappenplan ter aanbeveling

De volgorde van dit stappenplan is zo gekozen, omdat een aantal stappen een andere moeten inleiden. Zo is artikelnummers toevoegen een stap die hoe dan ook moet gebeuren. Om vervolgens de behandeling van elk artikel afzonderlijk te bepalen is eerst de afwegingsmethodiek voor het indelen van voorraad nodig. Daarna volgen de stappen elkaar op, per voorraadgroep.

Door het gebruik van dit stappenplan is het mogelijk de procesbewaking van de PRODUCTGROEP Y te verbeteren. Het is daarbij zaak dat iedereen feedback geeft over hoe het systeem voldoet. Aanpassingen kunnen het beste zo vroeg mogelijk gedaan worden.

Nu volgt hoofdstuk 7, waarin de eindconclusie van dit onderzoek wordt gegeven. Daarnaast wordt er een discussie over eventueel verder onderzoek en een evaluatie van het beslissingsproces gegeven.

Hoofdstuk 7 - Eindconclusie

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe PRODUCENT X uiteindelijk de proces bewaking kan verbeteren. Dit door een conclusie te geven aan de hand van het antwoord op de probleemstelling in paragraaf 7.1. Ook wordt er een discussie met betrekking tot vervolgonderzoek gegeven in paragraaf 7.2 en ten slotte wordt in paragraaf 7.3 een korte evaluatie van het beslissingsproces beschreven.

7.1 Eindconclusie

In hoofdstuk 6 is beschreven wat de aanbeveling voor PRODUCENT X is, en hoe deze kan verlopen. Hoofdstukken 5 en 6 hebben antwoord op de derde onderzoeksvraag gegeven.

De derde onderzoeksvraag luidt:

Hoe kan PRODUCENT X de gevonden oplossing het beste implementeren?

In hoofdstuk 5 zijn de gevonden oplossingen gekozen en hoofdstuk 6 heeft beschreven op wat voor manier deze oplossingen bij PRODUCENT X het beste geïmplementeerd kunnen worden.

Als alle drie onderzoeksvragen beantwoord zijn, kan gekeken worden naar de probleemstelling.

De probleemstelling luidt:

Wat moet er aan de voorraadbeheersing en het monitorend vermogen in het orderproces veranderen om de procesbewaking van de PRODUCTGROEP Y te verbeteren?

Het antwoord op de probleemstelling is beschreven als een stappenplan in paragraaf 6.1 en is weergegeven in figuur 6.2.1, in paragraaf 6.2. Door het volgen van het stappenplan wordt ervoor gezorgd dat afhankelijk wordt weggenomen en zekerheid van het proces toeneemt. De voorraad wordt beheert op twee manieren en zorgt daarmee voor een gepaste beheersing. Daarnaast wordt de manier van bijhouden als verbetering van monitoring gezien. Met een ERP systeem wordt het monitoren van het proces gemakkelijker gemaakt. Hoe verder het stappenplan is toegepast, hoe meer monitoring en beheersing wordt bewerkstelligd.

7.2 Vervolgonderzoek

Als er verder onderzoek bij PRODUCENT X gedaan zal worden, zou ik dit doen wanneer er op z'n minst zeven stappen van het stappenplan uitgevoerd zijn. Dan kan het nieuwe systeem geëvalueerd worden en kan er meteen gekeken worden of een WM systeem nog een oplossing is. Is dit niet het geval; wat is dan wel een goede aanvulling op de nieuwe manier van procesbewaking?

7.3 Evaluatie beslissingsproces

Het beslissingsproces is goed verlopen, doordat er een resultaat is dat in samenspraak met PRODUCENT X al deels naar voren kwam. Discussies tijdens het onderzoeksproces hebben geleid tot gemeenschappelijk beeld van de problemen.

Als er opnieuw begonnen moest worden met het onderzoek, zou ik ook kijken bij soortgelijke bedrijven. Samen met de productiemanager heb ik pas later gesproken over dit idee. Dit zou ook tot goede ideeën uit de praktijk kunnen leiden. Andere bedrijven waar veel met staal wordt gewerkt gebruiken misschien wel andere methodes dan die de literatuur voorschrijft.

Verwijzingen

AllBidigit Group. (2012, 11 21). *Gebruik van barcodes bij document management.* Opgehaald van AllBidigit: www.allbidigit.nl/pdfs/cases/publicatie_barcodes-213.pdf

Barcoding Incorporated. (2014). *Warehouse Management Systems (WMS), Software for warehouse management*. Opgehaald van Barcoding.com: http://www.barcoding.com/tracking-software/barcode_warehouse_wms.shtml

Ben & Wil business-ict-alignment. (2014). *Ben & Wil - Van IST naar SOLL*. Opgehaald van ben-en-wil.nl: http://www.ben-en-wil.nl/denk-even-mee-mainmenu-31/van-ist-naar-soll-mainmenu-90.html

Bonsor, K., & Fenlon, W. (2011). *HowStuffWorks "Active, Semi-Passive and Passive RFID tags"*. Opgehaald van HowStuffWorks: http://electronics.howstuffworks.com/gadgets/high-tech-gadgets/rfid3.htm

BusinessDictionary.com. (2014). *What is sparepart? definition and meaning*. Opgehaald van BusinessDictionary.com: http://www.businessdictionary.com/definition/spare-part.html

Chen, S.-L., Kuo, S.-K., & Lin, C.-T. (2009). A metallic RFID tag design for steel-bar and wire-rod management application in the steel industry. *Progress In Electromagnetics Research 91*, 195-212.

Chu, C.-W., Liang, G.-S., & Liao, C.-T. (2008). Controlling inventory by combining ABC analysis and fuzzy classification. *Computers & Industrial Engineering 55*, 841-851.

Denso Wave Incorporated. (2014). *What is a barcode?* Opgehaald van Denso Wave Incorporated: https://www.denso-wave.com/en/adcd/fundamental/barcode/

Dobkin, D., & Weigand, S. (2005). *Environmental Effects on RFID Tag Antennas.* Sunnyvale, CA, USA and San Jose, CA, USA: Enigmatics and WJ Communications.

Drury, C. (2012). *Management and cost accounting.* Cheriton House, United Kingdom: Cengage learning.

Duijser, L. (2009, 10 10). Bij Vector loont lean manufacturing. *aandrijfnieuws vol. 10*, 10-11. Opgehaald van Sew-eurodrive: www.sew-eurodrive.nl/NL_artikelen/pdf_doc/AB09_010-011.pdf

Encyclo.nl. (2014). *Expeditie - Encyclo*. Opgehaald van Encyclo.nl Nederlandse Encyclopdie: http://www.encyclo.nl/begrip/expeditie

Encyclo.nl. (2014). *Monitoren - Encyclo*. Opgehaald van Encyclo.nl Nederlandse Encyclopedie: http://www.encyclo.nl/begrip/monitoren

Encyclo.nl. (2014). *Orderpicken - Encyclo*. Opgehaald van Encyclo.nl Nederlandse Encyclopedie: http://www.encyclo.nl/begrip/orderpicken

e-Stockcard. (2014). *eStockcard Inventory Software*. Opgehaald van e-Stockcard For Better Inventory Control: http://www.estockcard.com

EVO. (2014). *Barcode scanners state-of-the-art*. Opgehaald van Evo: http://www.evo.nl/site/datalogic-benelux-barcode-scanner

Fefco. (2014). *Developments and improvements in the corrugated industry*. Opgehaald van Fefco Corrugated Packaging: http://www.fefco.org/corrugated-packaging/high-tech-innovative

Goodwin, O. (2012, Maart 16). *Reading barcodes in the 21ste century*. Opgehaald van Leadtools.com: https://www.leadtools.com/blog/document-imaging/reading-barcodes-in-the-21st-century/

Goodwin, P., & Wright, G. (2009). *Decision Analysis for Management Judgement.* The Atrium, United Kingdom: John Wiley and Sons, Ltd.

Habé Centrale Retourencentra. (2014). *RTI-inslagcontrole*. Opgehaald van Habé Centrale Retourencentra: http://www.habe-crc.nl/nederlands/retouren_wist_je_dat/rti-activiteiten/?page=rti-inslagcontrole

Heerkens, H., & van Winden, A. (2012). *Geen probleem.* Nieuwegein: Van Winden Communicatie.

Hicks, M. J. (2004). *Problem solving and decision making: Hard, soft and creative approaches.* London: Cengage learning EMEA.

Hinrichs, B. (2011). *Hochschule Emden/Leer: ABC-Analysis*. Opgehaald van Hochschule Emden/Leer - University of Applied Sciences: http://www.hs-emden-leer.de/forschung-transfer/projekte/controlling-lexikon/controlling-themen/a/abc-analysis.html

inFlow. (2014). *inFlow Inventory Software*. Opgehaald van inflowinventory.com: http://www.inflowinventory.com

Inpaspages. (2014, Juni 8). *Stockbook: Inventory management system.* Opgehaald van Inpaspages: http://www.inpaspages.com/stock-book/

Investopedia. (2014). *Economies of scale definition | Investopedia*. Opgehaald van Investopedia: http://www.investopedia.com/terms/e/economiesofscale.asp

Jacobs, F., Berry, W., Whybark, D., & Vollman, T. (2005). *Manufacturing planning and control for supply chain management.* McGraw-Hill.

Kiris, S. (2013). Multi-Criteria Inventory Classification. *Informatica Vol. 24, No. 2*, 199-217.

LeanENT. (2014). *Two-bin.* Opgehaald van LeanENT: http://leanent.nl/two-bin

Leeds Metropolitan University. (2014). *Stock control and inventory tips.* Opgehaald van Leeds Metropolitan University : http://www.leedsmet.ac.uk/assets/docs/employability/resourcecentre/Stock%20control%20and%20inventory%20tips.doc

Manthou, V., & Vlachopoulou, M. (2001). Bar-code technology for inventory and marketing management systems: A model for its development and implementation. *Int. J. Production Economics*, 157-164.

Microsoft Office. (2013). *Equipment inventory list - Templates.* Opgehaald van Office.com: http://office.microsoft.com/en-us/templates/equipment-inventory-list-TC104099168.aspx

Miltenburg, J., & Wijngaard, J. (1991). Designing and phasing in just-in-time production systems. *International Journal of Production Research vol. 29*, 115-131.

Paruccini, M., Haastrup, P., & Bain, D. (1997, May 14). Decision support systems in the service of policy makers. *The IPTS report*, pp. 28-35.

Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research 48*, pp. 9-26.

Sabbir Arif, A., & Stuerzlinger, W. (2009). *Analysis of Text Entry Performance Metrics.* Torronto, Canada: Department of Computer Science & Engineering - York University.

Sallinen, M., Strömmer, E., & Ylisaukko-oja, A. (2007). Implementation of NFC technology for Industrial Applications: case flexible production. *Proceedings of SPIE vol. 6773*, 6777308-8 8p.

Sallinen, M., Strömmer, E., & Ylisaukko-oja, A. (2008). Application Scenario for NFC: Mobile Tool for Industrial Worker. *The Second International Conference on Sensor Technologies and Applications* (pp. 586-591). Oulu, FInland: VIT Technical Research Centre of Finland.

SAP. (2014). *Integration of stocks - Integration of transaction data - SAP library*. Opgehaald van sap.com: http://help.sap.com/saphelp_ewm70/helpdata/en/c1/b50d383aa02a11e10000009b38f8cf/content.htm

Slack, N., Chambers, S., & Johnston, R. (2010). *Operations management.* Edinburgh Gate, England: Pearson Education Limited.

Steenwoerd, A. H. (2013). *VOORRAADBELEID VMI.* Enschede: Universiteit Twente.

Triantaphyllou, E. (2000). *Multi-Criteria Decision Making: a comparative study.* Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Ustundag, A., & Tanyas, M. (2009). The impacts of Radio Frequency Identification (RFID) technology on supply chain costs. *Transportation Research part E*, 29-38.

Véronneau, S., & Jacques, R. (2009). RFID benefits, costs, and possibilities: The economical analysis of RFID deployment in a cruise corporation global service supply chain. *International Journal of Production Economics vol. 122*, 692-702.

Wan Lung, N. (2007). A simple classifier for multiple criteria ABC analysis. *European Journal of Operations Research 177*, 344-353.

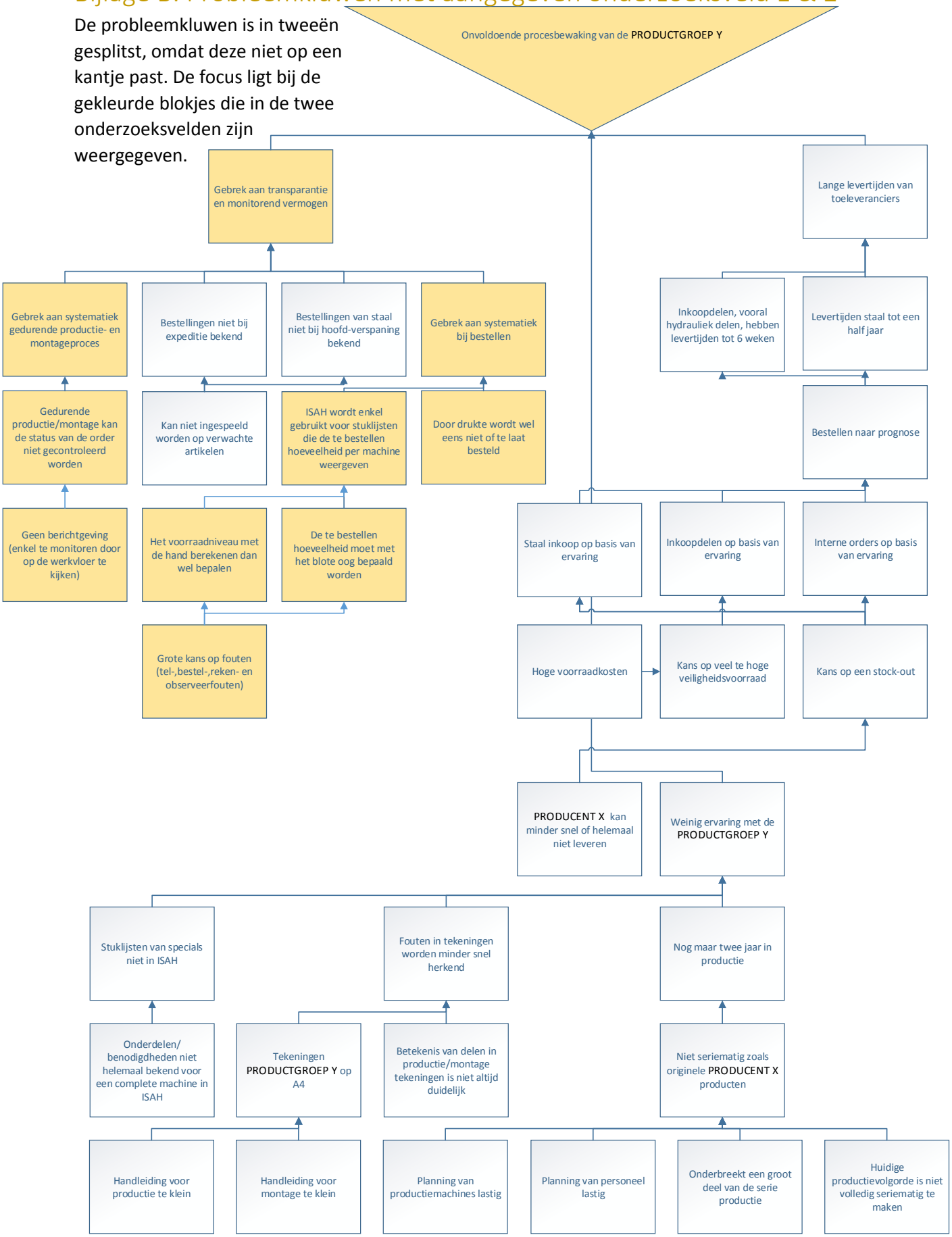
Woo, G. (2012, Juni 5). *The Difference Between Warehouse Management and ERP Software Systems*. Opgehaald van Bluelink: http://info.bluelinkerp.com/blog-0/bid/52440/The-Difference-Between-Warehouse-Management-and-ERP-Software-Systems

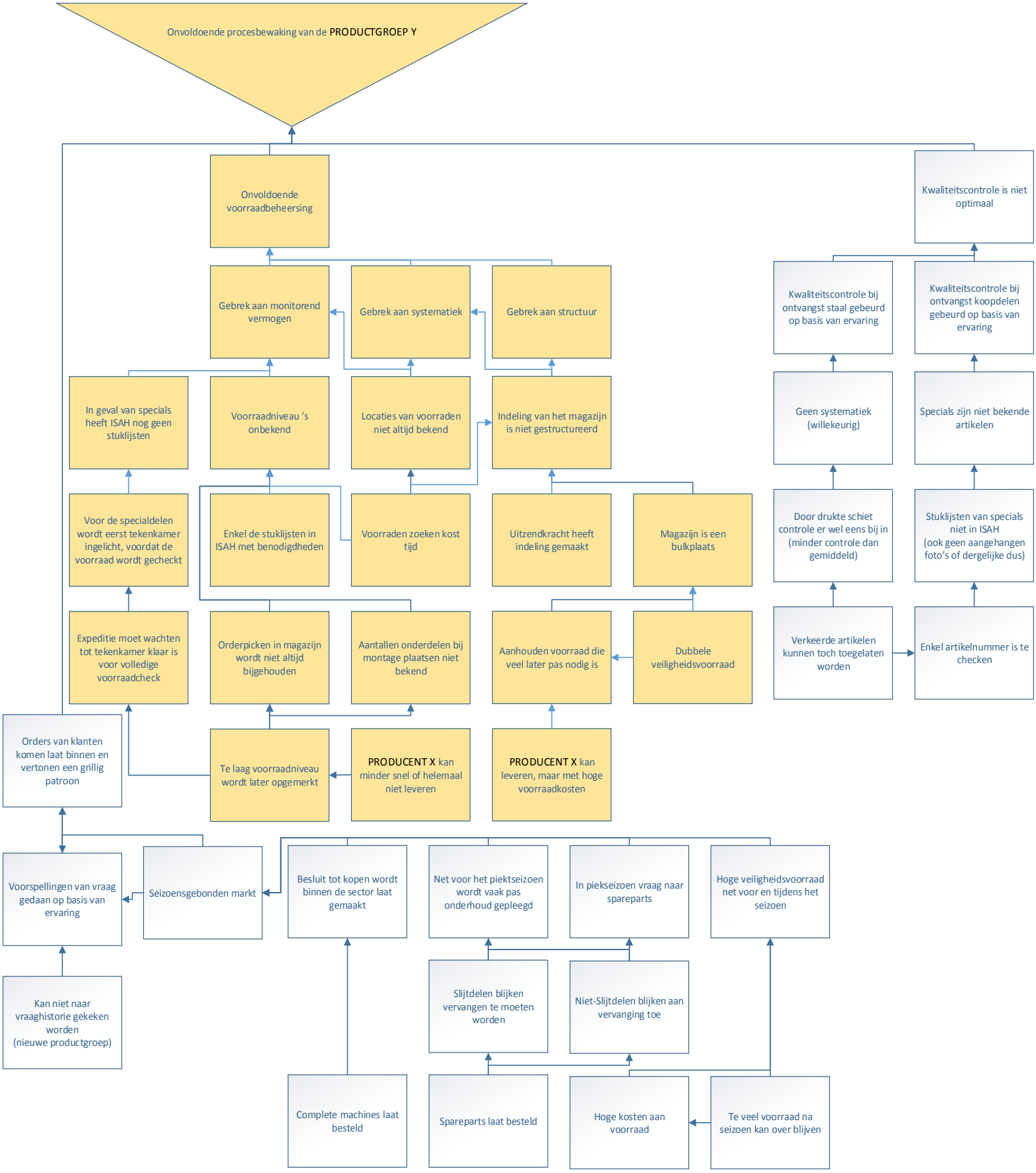
World Health Organization. (2013). *Laboratory quality stepwise implementation tool.* Opgehaald van World Health Organization: https://extranet.who.int/lqsi/content/prepare-stock-cards-and-set-inventory-management-system

Zeiler, W., Savanovic, P., & Quanjel, E. (2007). Integral Design: The Reflective Morphological Overview. *ASME 2007 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference* (pp. 513-521). Las Vegas, Nevada, VS: ASME.

Bijlage B: Probleemkluwen met aangegeven onderzoeksveld 1 & 2

De probleemkluwen is in tweeën gesplitst, omdat deze niet op een kantje past. De focus ligt bij de gekleurde blokjes die in de twee onderzoeksvelden zijn weergegeven.




Onvoldoende procesbewaking van de PRODUCTGROEP Y
Onvoldoende voorraadbeheersing
Kwaliteitscontrole is niet optimaal
Gebrek aan monitorend vermogen
Gebrek aan systematiek
Gebrek aan structuur
Kwaliteitscontrole bij ontvangst staal gebeurd op basis van ervaring
Kwaliteitscontrole bij ontvangst koopdelen gebeurd op basis van ervaring
In geval van specials heeft ISAH nog geen stuklijsten
Voorraadniveau 's onbekend
Locaties van voorraden niet altijd bekend
Indeling van het magazijn is niet gestructureerd
Geen systematiek (willekeurig)
Specials zijn niet bekende artikelen
Voor de specialdelen wordt eerst tekenkamer ingelicht, voordat de voorraad wordt gecheckt
Enkel de stuklijsten in ISAH met benodigdheden
Voorraden zoeken kost tijd
Uitzendkracht heeft indeling gemaakt
Magazijn is een bulkplaats
Door drukte schiet controle er wel eens bij in (minder controle dan gemiddeld)
Stuklijsten van specials niet in ISAH (ook geen aangehangen foto's of dergelijke dus)
Expeditie moet wachten tot tekenkamer klaar is voor volledige voorraadcheck
Orderpicken in magazijn wordt niet altijd bijgehouden
Aantallen onderdelen bij montage plaatsen niet bekend
Aanhouden voorraad die veel later pas nodig is
Dubbele veiligheidsvoorraad
Verkeerde artikelen kunnen toch toegelaten worden
Enkel artikelnummer is te checken
Orders van klanten komen laat binnen en vertonen een grillig patroon
Te laag voorraadniveau wordt later opgemerkt
PRODUCENT X kan minder snel of helemaal niet leveren
PRODUCENT X kan leveren, maar met hoge voorraadkosten
Voorspellingen van vraag gedaan op basis van ervaring
Seizoensgebonden markt
Besluit tot kopen wordt binnen de sector laat gemaakt
Net voor het piektseizoen wordt vaak pas onderhoud gepleegd
In piekseizoen vraag naar spareparts
Hoge veiligheidsvoorraad net voor en tijdens het seizoen
Kan niet naar vraaghistorie gekeken worden (nieuwe productgroep)
Slijtdelen blijken vervangen te moeten worden
Niet-Slijtdelen blijken aan vervanging toe
Complete machines laat besteld
Spareparts laat besteld
Hoge kosten aan voorraad
Te veel voorraad na seizoen kan over blijven

Problemen die buiten het onderzoek vallen

Hieronder worden vier problemen geconcretiseerd die niet zijn meegenomen in het onderzoek. Wel staan deze problemen weergegeven in bovenstaande probleemkluwen.

Lange levertijden van toeleveranciers:

De levertijd op staal en veel koopdelen is vaak lang. Met vaste leveranciers van PRODUCENT X is echter wel een goede prijs vast te stellen. Bij staal komt dit doordat er a fabriek, vanuit hoogovens in Scandinavië of Rusland, wordt ingekocht. Echter zijn de levertijden wel erg lang, waardoor bij een dreigende stock-out opnieuw besteld moet worden. Dit gebeurd bij staalleveranciers in Nederland. De prijs voor staal is hoger bij deze leveranciers, maar dan is de levertijd wel beduidend korter.

Het bestellen van deze staaldelen wordt gedaan op basis van een prognose en dat maakt het nog problematischer om een goede voorraad te plannen. De prognose is een aanname en de levertijd ook. Dus er wordt een aanname op een aanname gedaan. Het risico bij het aanvullen van voorraad is hoog doordat de bestelhoeveelheden op basis van ervaring zijn bepaald. Er is kans op te weinig voorraad en niet kunnen leveren. Of er is te veel voorraad, wat hoge voorraadkosten met zich meebrengt. Hoe groot de kans op een stock-out is, is niet bekend. Al is het wel duidelijk dat er beter een ruime voorraad kan liggen, zodat er voldoende levergarantie aan de klant kan worden geboden. Op deze problematiek zal echter niet verder ingegaan worden. Na overleg met PRODUCENT X zal dit deel niet in het onderzoeksveld vallen.

Weinig ervaring met PRODUCTGROEP Y:

PRODUCENT X fabriceert de producten van deze productgroep nog maar twee jaar. Daaruit blijkt dat PRODUCENT X nog maar weinig ervaring heeft met de productie en beheersing van deze productgroep. De productgroep is nog niet seriematig zoals de originele PRODUCENT X producten.

Wanneer met de productie wordt gestart, moet een andere serieproductie onderbroken worden. Daarnaast is de huidige opbouwvolgorde van PRODUCTGROEP Y machines nog niet geschikt voor serieproductie. Planning van mens en machine is lastig, doordat er eigenlijk twee productielijnen naast moeten lopen. Een met de machines en daarnaast een met de gebruikelijke producten van PRODUCENT X. Personeel en bewerkingsmachines zijn maar een keer in te zetten.

Bovendien worden fouten door het gebrek aan ervaring niet snel herkend. Deze fouten komen doordat productieonderdelen nog niet voldoende bekend zijn. Door deze onbekendheid komen tekenfouten niet aan het licht. Daarnaast worden er ook nog eens twee verschillende typen tekeningen aan het productiepersoneel meegegeven. Deze tekeningen, met daaraan stuklijsten, zijn van PRODUCENT K overgenomen en zijn niet volgens dezelfde standaarden opgebouwd. Bovendien worden deze overgenomen stuklijsten nog niet bijgewerkt in ISAH, in geval van specials. Op deze problematiek zal echter niet verder ingegaan worden. Na overleg met PRODUCENT X zal dit deel niet in het onderzoeksveld vallen.

Klantorders komen laat binnen en vertonen grillig patroon:

Orders van klanten komen over het algemeen laat binnen en vertonen daarbij een grillig patroon. Het laat binnenkomen van een order betekent dat klanten op het laatste moment de beslissing tot kopen maken. Als dan niet aan die vraag voldaan kan worden, gaan deze klanten hoogstwaarschijnlijk naar een concurrent. Het grillige vraagpatroon wil zeggen dat de vraag erg onregelmatig is en dat dit deels komt doordat er niet in grote aantallen besteld wordt.

Het voorspellen van de vraag wordt op gevoel gedaan. Dit komt doordat er onvoldoende ervaring en vraaghistorie aanwezig is. De seizoensgebonden markt helpt hier ook niet bij. Deze markt is seizoensgebonden doordat de machines in een geringe tijd aan slijten onderhevig zijn en daarnaast wordt onderhoud vaak net voor die tijd gepleegd. Ook wordt, zoals al gezegd, het besluit tot kopen van een nieuwe machine in de sector vaak laat gemaakt.

Het is moeilijk om te bepalen welke artikelen en hoeveel daarvan op voorraad gehouden moeten worden. Op deze problematiek zal echter niet verder ingegaan worden. Na overleg met PRODUCENT X zal dit niet in het onderzoeksveld vallen.

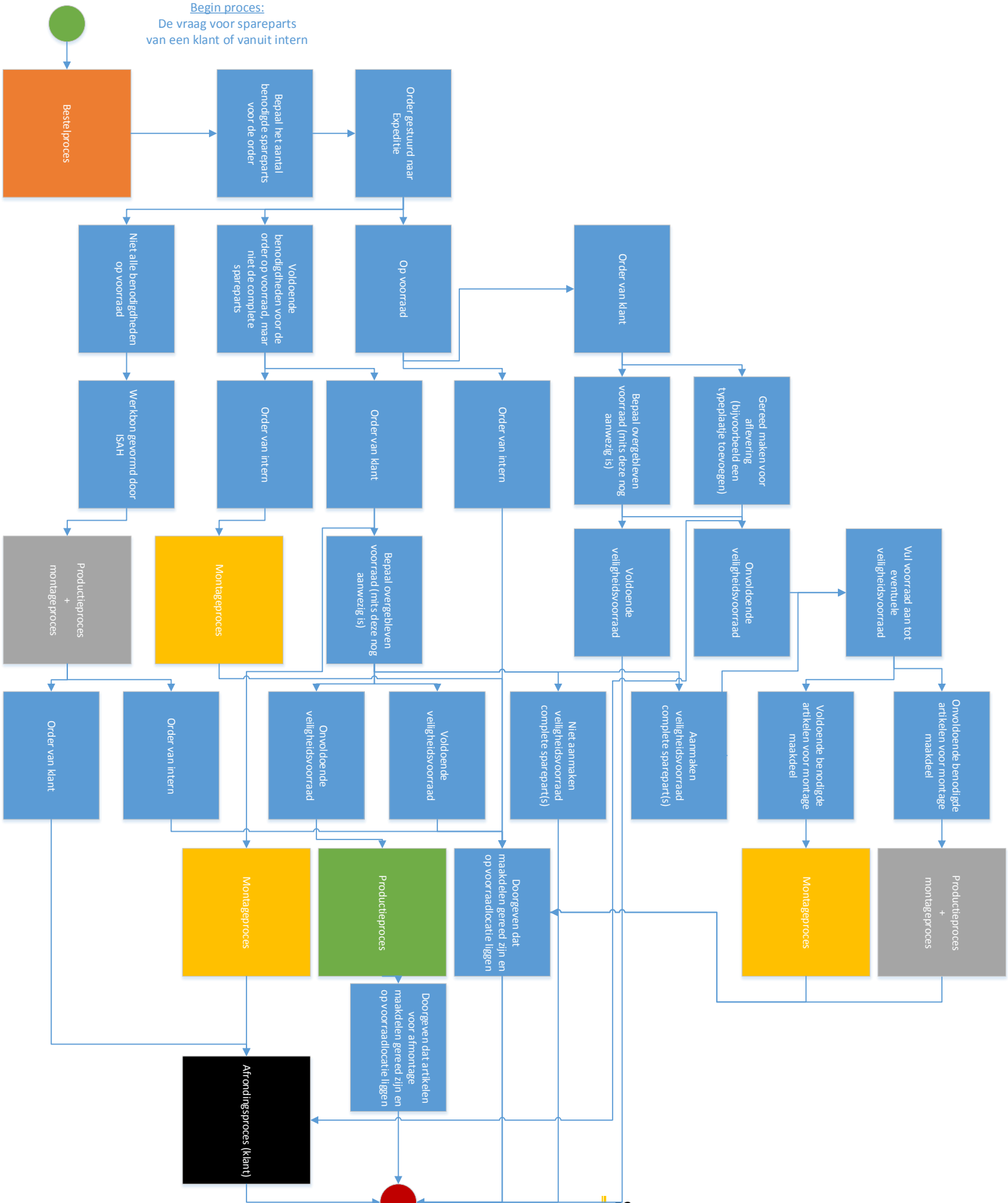
Kwaliteitscontrole is niet optimaal:

De wijze van kwaliteit controleren is niet optimaal. Dit komt doordat staal en koopdelen op basis van ervaring gecontroleerd worden. Er is geen gestructureerde manier van controleren en daarbij komt dat specials niet bekend zijn bij het personeel. Waarop gelet moet worden bij controle is dan vaak niet duidelijk.

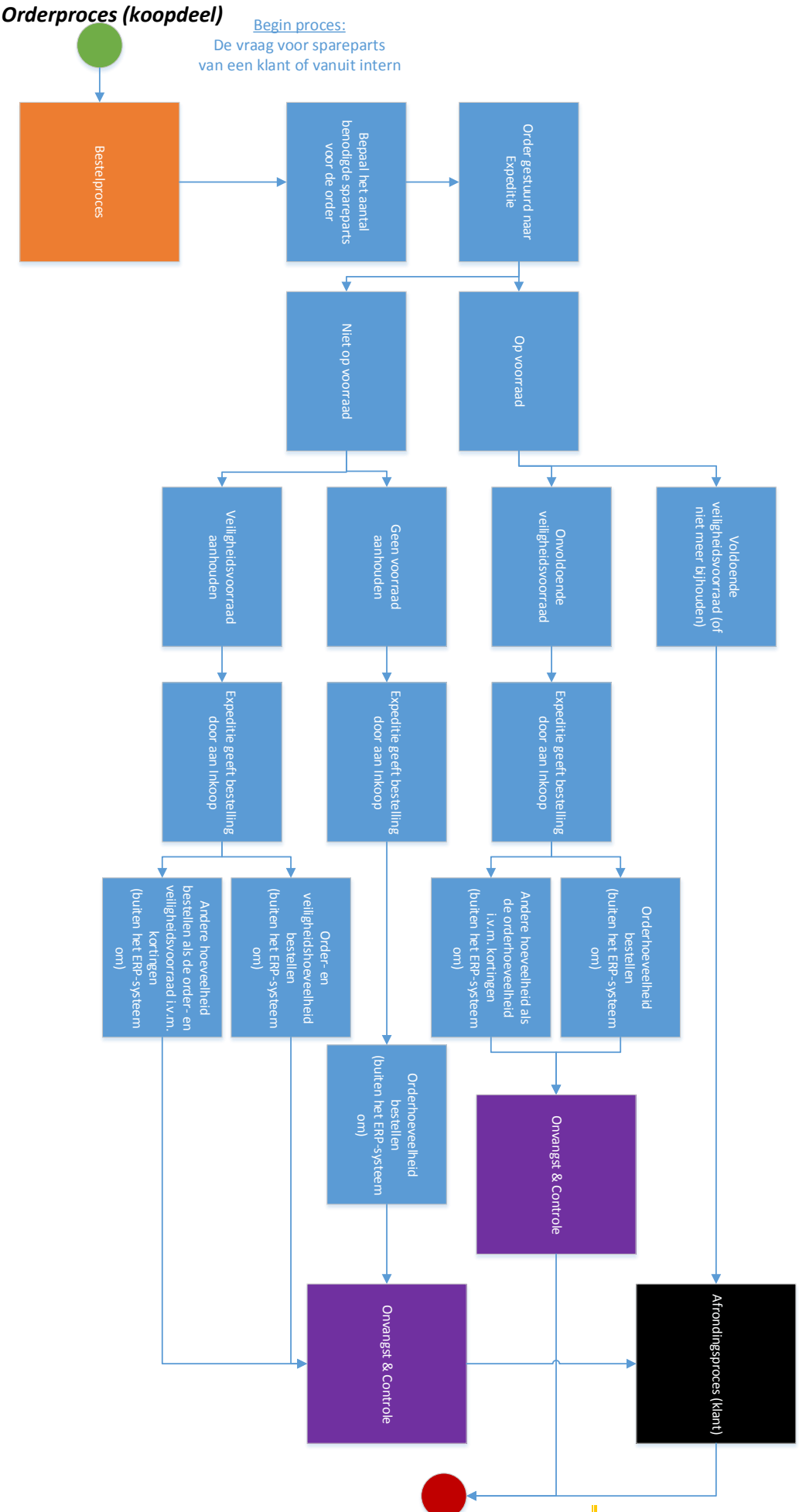
Verkeerde artikelen kunnen toch door de controle komen, doordat er een gebrek aan systematiek en ervaring is. Op deze problematiek zal echter niet verder ingegaan worden. Na overleg met PRODUCENT X zal dit niet in het onderzoeksveld vallen.

Bijlage C: Orderproces

Orderproces (maakdeel):

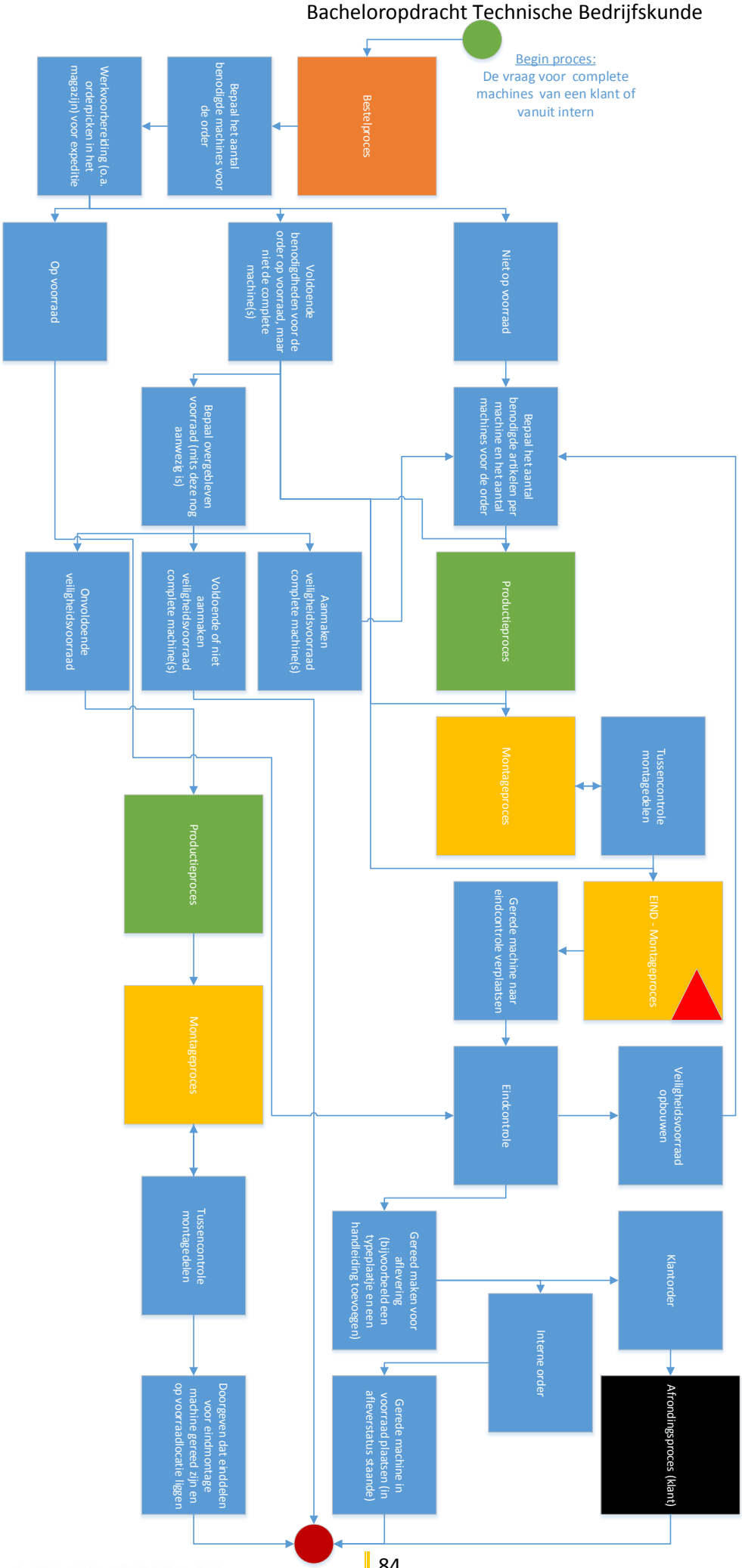


Orderproces (koopdeel)



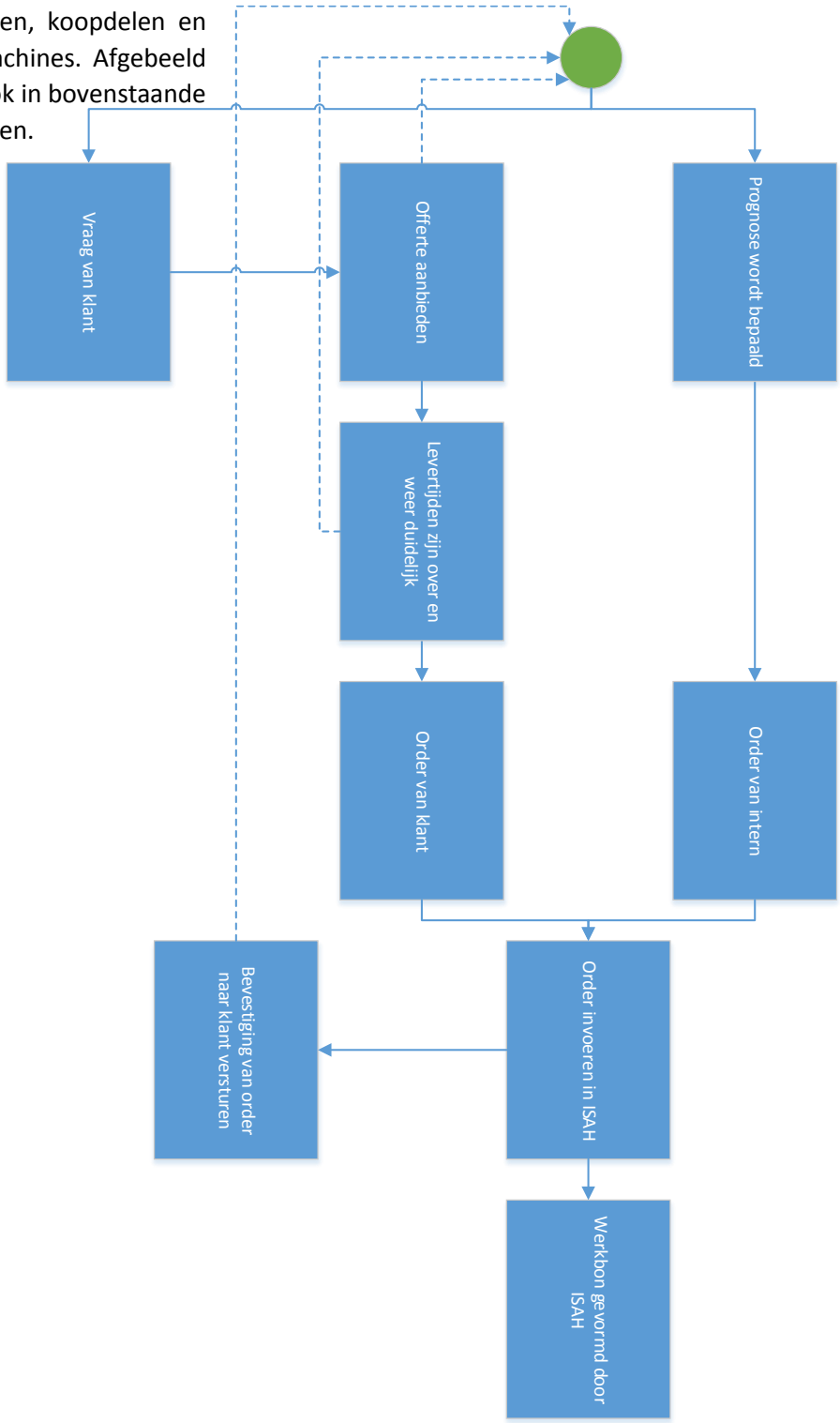
Orderproces

(complete machine)



Bestelproces

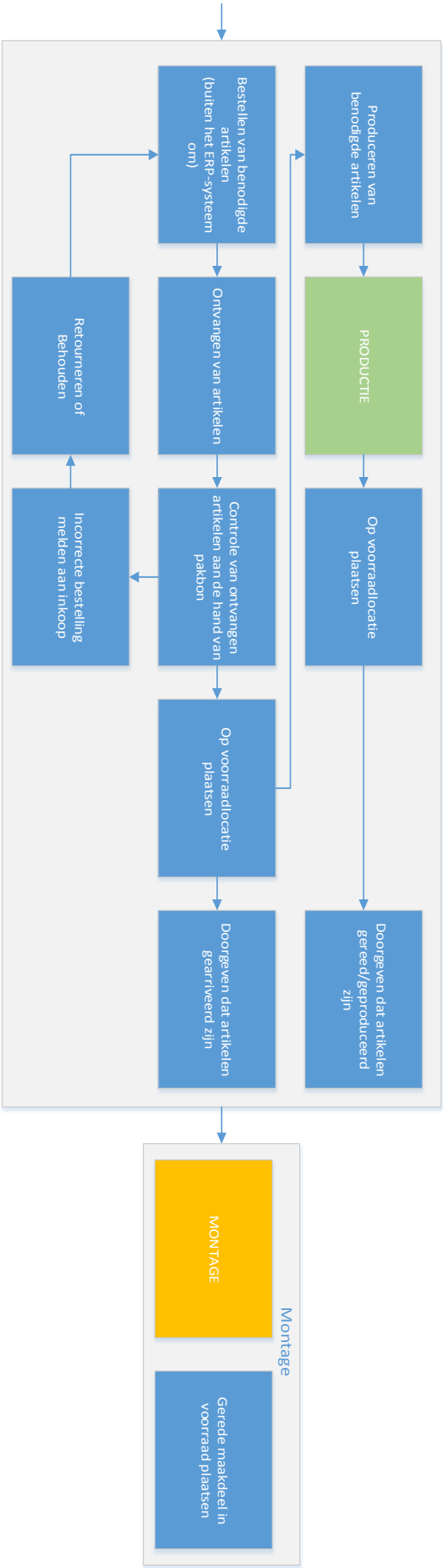
Gebruikt in de orderprocessen van maakdelen, koopdelen en complete machines. Afgebeeld als oranje blok in bovenstaande orderprocessen.



Productie- en montageproces

Gebruikt in de orderprocessen van maakdelen, koopdelen en complete machines.

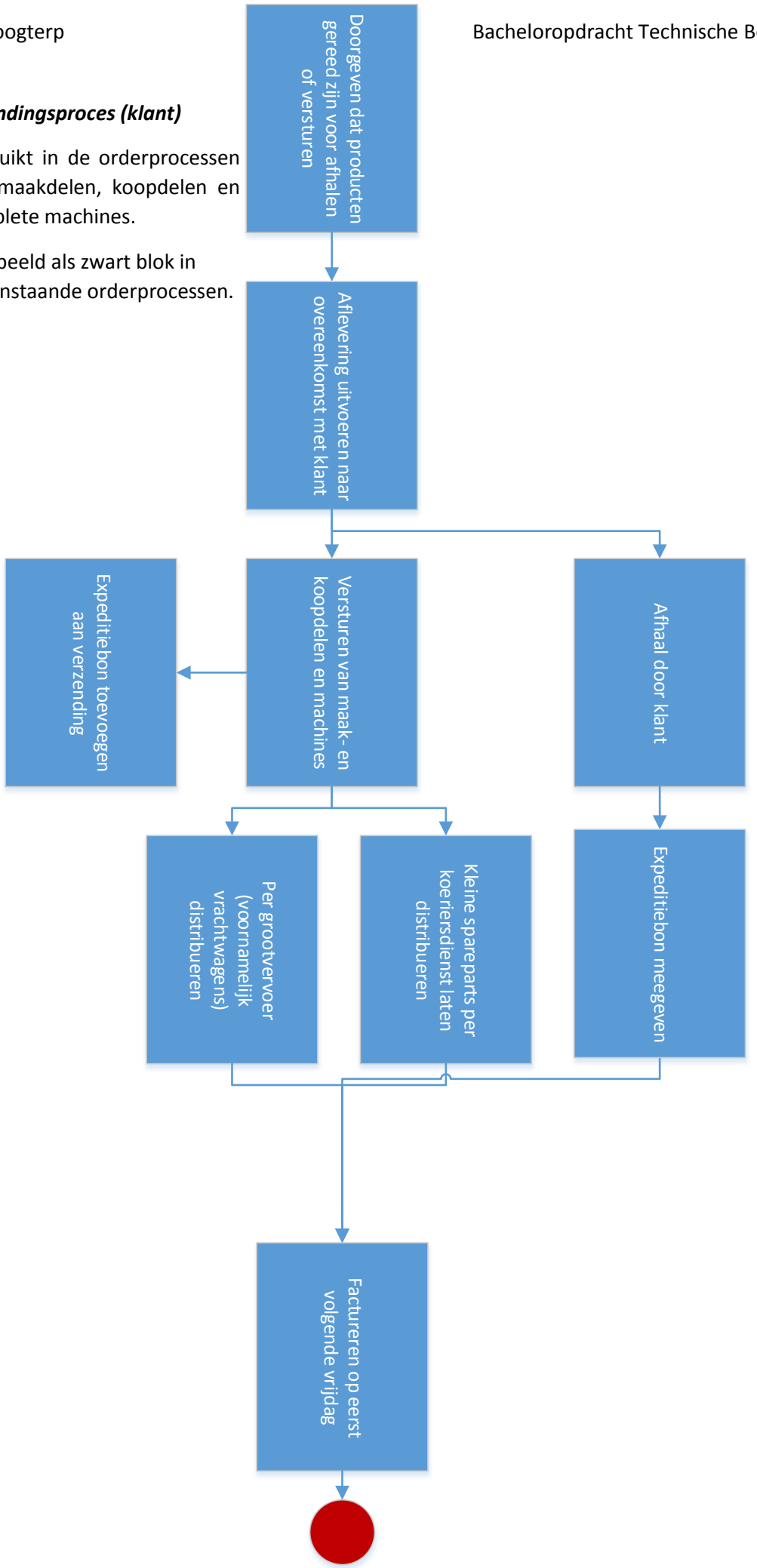
Afgebeeld als grijs blok in bovenstaande orderprocessen. Als er alleen een productieproces wordt afgebeeld is dit blok groen en een afzonderlijke montage wordt met geel onderscheiden.



Afrondingsproces (klant)

Gebruikt in de orderprocessen van maakdelen, koopdelen en complete machines.

Afgebeeld als zwart blok in bovenstaande orderprocessen.



Ontvangst & controle

Gebruikt in de orderprocessen van maakdelen, koopdelen en complete machines.

Afgebeeld als paars blok in bovenstaande orderprocessen.

Bijlage G: Paarsgewijze vergelijking van de criteria

Alle zes criteria worden tegen elkaar afgewogen. Deze paarsgewijze vergelijkingen zijn in samenspraak met PRODUCENT X gedaan. Er wordt gestart met deze vergelijkingen door per rij de criteria af te werken. Eerst kosten tegen functionaliteit, dan kosten tegen afhankelijkheid en simpliciteit, dan kosten tegen toepasbaarheid, en zo verdergaand voor alle rijen.

	Kosten	**Functionaliteit**	**Afhankelijkheid en simpliciteit**	**Toepasbaarheid**	**Gebruiksgemak**	**Foutkans**
Kosten	1	1/6	1/3	1/7	1/4	1/5
Functionaliteit	6	1	5	1/3	2	3
Afhankelijkheid en simpliciteit	3	1/5	1	1/6	1/3	1/5
Toepasbaarheid	7	3	6	1	7	3
Gebruiksgemak	2	1/2	3	1/7	1	1/5
Foutkans	5	1/3	5	1/3	5	1
SOM	24	5,2	20,33333333	2,119047619	15,58333333	7,6

Als alle paarsgewijze vergelijkingen zijn voltooid, kan men bepalen hoe belangrijk alle criteria zijn ten opzichte van elkaar. Alle kolommen worden bij elkaar opgeteld tot een totaal. Daarna wordt de onderstaande tabel gevormd, door steeds de score per cel te delen door de som van die totale kolom.

	Kosten	**Functionaliteit**	**Afhankelijkheid en simpliciteit**	**Toepasbaarheid**	**Gebruiksgemak**	**Foutkans**	**GEMIDDELDE**
Kosten	0,041666667	0,032051282	0,016393443	0,06741573	0,016042781	0,026316	**0,033314282**
Functionaliteit	0,25	0,192307692	0,245901639	0,157303371	0,128342246	0,394737	**0,228098632**
Afhankelijkheid en simpliciteit	0,125	0,038461538	0,049180328	0,078651685	0,021390374	0,026316	**0,056499953**
Toepasbaarheid	0,291666667	0,576923077	0,295081967	0,471910112	0,449197861	0,394737	**0,413252754**
Gebruiksgemak	0,083333333	0,096153846	0,147540984	0,06741573	0,064171123	0,026316	**0,080821801**
Foutkans	0,208333333	0,064102564	0,245901639	0,157303371	0,320855615	0,131579	**0,188012578**

Door vervolgens de gemiddelden te nemen van een bepaalde rij, weet je het gewicht van een criterium.

In de onderstaande tabel staan de gewichten van de criteria.

De gewichten van de criteria zijn:	
W (Kosten)	0,033314282
W (Functionaliteit)	0,228098632
W (Afhankelijkheid en simpliciteit)	0,056499953
W (Toepasbaarheid)	0,413252754
W (Gebruiksgemak)	0,080821801
W (Foutkans)	0,188012578
SOM	1

Om te toetsen of deze gewichten met voldoende consistentie zijn bepaalt, is er een controle uitgevoerd.

Consistentie controleren:

1)	**Kosten**	**Functionaliteit**	**Afhankelijkheid en simpliciteit**	**Toepasbaarheid**	**Gebruiksgemak**	**Foutkans**
Gewichten	**0,033314282**	**0,228098632**	**0,056499953**	**0,413252754**	**0,080821801**	**0,188013**
Kosten	1	1/6	1/3	1/7	1/4	1/5
Functionaliteit	6	1	5	1/3	2	3
Afhankelijkheid en simpliciteit	3	1/5	1	1/6	1/3	1/5
Toepasbaarheid	7	3	6	1	7	3
Gebruiksgemak	2	1/2	3	1/7	1	1/5
Foutkans	5	1/3	5	1/3	5	1

Daartoe invullen van de gevonden gewichten en daaronder de eerste paarsgewijze vergelijking van de criteria.

2)	**Kosten**	**Functionaliteit**	**Afhankelijkheid en simpliciteit**	**Toepasbaarheid**	**Gebruiksgemak**	**Foutkans**	**SOM**
Kosten	0,033314282	0,038016439	0,018833318	0,059036108	0,02020545	0,037603	0,207008112
Functionaliteit	0,199885692	0,228098632	0,282499763	0,137750918	0,161643602	4/7	1,573916342
Afhankelijkheid en simpliciteit	0,099942846	0,045619726	0,056499953	0,068875459	0,0269406	0,037603	0,3354811
Toepasbaarheid	0,233199974	0,684295895	0,338999716	0,413252754	0,565752607	0,564038	2,799538681
Gebruiksgemak	0,066628564	0,114049316	0,169499858	0,059036108	0,080821801	0,037603	0,527638162
Foutkans	0,16657141	0,076032877	0,282499763	0,137750918	0,404109005	0,188013	1,254976551

Vermenigvuldig het gewicht bovenaan de kolom, met elk getal daaronder. Tel de rijen van de tabel op, die als resultaat ontstaat.

3)	Sommaties	Gewichten	Ratio
Kosten	0,207008112	0,033314282	**6,21379479**
Functionaliteit	1,573916342	0,228098632	**6,900156873**
Afhankelijkheid en simpliciteit	0,3354811	0,056499953	**5,937723566**
Toepasbaarheid	2,799538681	0,413252754	**6,774398117**
Gebruiksgemak	0,527638162	0,080821801	**6,528413814**
Foutkans	1,254976551	0,188012578	**6,674960594**
		Gemiddeld ratio:	**6,504907959**

Deel elke som van de rij door het gewicht, die voor dat criterium gevonden is. Hieruit komt een ratio per criteria uit, die samen gemiddeld wordt tot een gemiddeld ratio.
4) Nu kan er een inconsistentie index berekend worden aan de hand van de volgende formule:

$$\text{Inconsistentie index} = \frac{(\text{Gemiddeld ratio van stap 3} - \text{n})}{(\text{n} - 1)}$$

Met n is het aantal rijen, dan wel attributen in de tabel.)

Inconsistentie index = 0,100981592

Aan de hand van de tabel "Willekeurige indexen voor het controleren van de consistentie van een tabel" kan gesteld worden of er consistent gehandeld is bij de paarsgewijze vergelijkingen. Dus de consistentie bij het bepalen van de gewichten van de criteria.

Willekeurige indexen voor het controleren van de consistentie van een tabel

n	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Random index	**0**	**0,58**	**0,9**	**1,12**	**1,24**

Inconsistentie ratio = 0,081436768

Wanneer het inconsistentie ratio onder de **0,1** blijkt, kan zonder twijfel gesteld worden dat de paarsgewijze vergelijking consistent is gedaan. De gewichten van de criteria zijn hierdoor met meer dan voldoende juistheid bepaald.

Bijlage H: Paarsgewijze vergelijking van de alternatieven

Het criterium: Kosten (waarbij alternatieven 1 tot en met 9 worden vergeleken)

Alle oplossingen worden per criteria afgewogen. Hiervoor worden wederom paarsgewijze vergelijkingen gemaakt, waarbij ditmaal de oplossingen tegen elkaar worden afgezet. De manier van scoren is hetzelfde als bij het vergelijken van de criteria.

Kosten

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
1	1	2	5	2	3	8	6	7	9
2	1/2	1	3	1	2	5	4	5	7
3	1/5	1/3	1	1/3	1/2	4	2	3	5
4	1/2	1	3	1	2	6	4	5	8
5	1/3	1/2	2	1/2	1	5	3	4	7
6	1/8	1/5	1/4	1/6	1/5	1	1/4	1/2	3
7	1/6	1/4	1/2	1/4	1/3	4	1	2	4
8	1/7	1/5	1/3	1/5	1/4	2	1/2	1	3
9	1/9	1/7	1/5	1/8	1/7	1/3	1/4	1/3	1
SOM	3,0789683	5,62619	15,28333	5,575	9,42619	35,33333	21	27,83333	47

Als alle paarsgewijze vergelijkingen zijn voltooid, kan men bepalen hoe belangrijk alle oplossingen zijn ten opzichte van elkaar. Alle kolommen worden bij elkaar opgeteld tot een totaal. Daarna wordt de onderstaande tabel gevormd door steeds de score per cel te delen door de som van die totale kolom.

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**GEMIDDELDE**
1	0,3247841	0,35548	0,327154	0,358744	0,318262	0,226415	0,285714	0,251497	0,191489	0,293282
2	0,1623921	0,17774	0,196292	0,179372	0,212175	0,141509	0,190476	0,179641	0,148936	0,176504
3	0,0649568	0,059247	0,065431	0,059791	0,053044	0,113208	0,095238	0,107784	0,106383	0,080565
4	0,1623921	0,17774	0,196292	0,179372	0,212175	0,169811	0,190476	0,179641	0,170213	0,182012
5	0,1082614	0,08887	0,130862	0,089686	0,106087	0,141509	0,142857	0,143713	0,148936	0,122309
6	0,040598	0,035548	0,016358	0,029895	0,021217	0,028302	0,011905	0,017964	0,06383	0,029513
7	0,0541307	0,044435	0,032715	0,044843	0,035362	0,113208	0,047619	0,071856	0,085106	0,058808
8	0,0463977	0,035548	0,02181	0,035874	0,026522	0,056604	0,02381	0,035928	0,06383	0,03848
9	0,0360871	0,025391	0,013086	0,022422	0,015155	0,009434	0,011905	0,011976	0,021277	0,018526

Door vervolgens de gemiddelden te nemen van een bepaalde rij, weet je de score van een alternatief op dat criterium.

In de onderstaande tabel staan de scores van de alternatieven voor dit criterium.

Score op kosten:

Oplossing:	
1	0,2932823
2	0,1765038
3	0,0805646
4	0,1820125
5	0,1223091
6	0,029513
7	0,0588084
8	0,0384804
9	0,0185259
SOM	1

Om te toetsen of deze scores met voldoende consistentie zijn bepaalt, is er een controle uitgevoerd.

Consistentie controleren:

1)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
Scores	**0,2932823**	**0,176504**	**0,080565**	**0,182012**	**0,122309**	**0,029513**	**0,058808**	**0,03848**	**0,018526**
1	1	2	5	2	3	8	6	7	9
2	1/2	1	3	1	2	5	4	5	7
3	1/5	1/3	1	1/3	1/2	4	2	3	5
4	1/2	1	3	1	2	6	4	5	8
5	1/3	1/2	2	1/2	1	5	3	4	7
6	1/8	1/5	1/4	1/6	1/5	1	1/4	1/2	3
7	1/6	1/4	1/2	1/4	1/3	4	1	2	4
8	1/7	1/5	1/3	1/5	1/4	2	1/2	1	3
9	1/9	1/7	1/5	1/8	1/7	1/3	1/4	1/3	1

Daartoe invullen van de gevonden scores en daaronder de eerste paarsgewijze vergelijking van de oplossingen.

2)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**SOM**
1	0,2932823	0,353008	0,402823	0,364025	0,366927	0,236104	0,352851	0,269363	0,166733	**2,805116**
2	0,1466411	0,176504	0,241694	0,182012	0,244618	0,147565	0,235234	0,192402	0,129681	**1,696351**
3	0,0586565	0,058835	0,080565	0,060671	0,061155	0,118052	0,117617	0,115441	0,092629	**0,763621**
4	0,1466411	0,176504	0,241694	0,182012	0,244618	0,177078	0,235234	0,192402	0,148207	**1,74439**
5	0,0977608	0,088252	0,161129	0,091006	0,122309	0,147565	0,176425	0,153922	0,129681	**1,16805**
6	0,0366603	0,035301	0,020141	0,030335	0,024462	0,029513	0,014702	0,01924	0,055578	**0,265932**
7	0,0488804	0,044126	0,040282	0,045503	0,04077	0,118052	0,058808	0,076961	0,074104	**0,547486**
8	0,0418975	0,035301	0,026855	0,036402	0,030577	0,059026	0,029404	0,03848	0,055578	**0,353521**

9	0,0325869	0,025215	0,016113	0,022752	0,017473	0,009838	0,014702	0,012827	0,018526	**0,170031**

Vermenigvuldig de score bovenaan de kolom, met elk getal daaronder. Tel de rijen van de tabel op, die als resultaat ontstaat.

3)	**Sommaties**	**Scores**	**Ratio**
1	2,8051157	0,293282	**9,564559**
2	1,6963514	0,176504	**9,610851**
3	0,7636206	0,080565	**9,478359**
4	1,7443903	0,182012	**9,583904**
5	1,1680504	0,122309	**9,549989**
6	0,2659324	0,029513	**9,010684**
7	0,5474863	0,058808	**9,309656**
8	0,3535212	0,03848	**9,187047**
9	0,1700314	0,018526	**9,178046**
	Average ratio:		**9,385899**

Deel elke som van de rij door de score, die voor die oplossing gevonden is. Hieruit komt een ratio per oplossing uit, die samen gemiddeld wordt tot een gemiddeld ratio.

4) Nu kan er een inconsistentie index berekend worden aan de hand van de volgende formule:

$$\text{Inconsistentie index} = \frac{(\text{Gemiddeld ratio van stap 3} - \text{n})}{(\text{n} - 1)}$$

Met n is het aantal rijen, dan wel attributen in de tabel.)

Inconsistentie index = **0,048237**

Aan de hand van de tabel "Willekeurige indexen voor het controleren van de consistentie van een tabel" kan gesteld worden of er consistent gehandeld is bij de paarsgewijze vergelijkingen. Dus de consistentie bij het bepalen van de scores van de oplossingen.

Willekeurige indexen voor het controleren van de consistentie van een tabel

	2	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Random index	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Inconsistentie ratio = **0,033267**

Wanneer het inconsistentie ratio onder de **0,1** blijkt, kan zonder twijfel gesteld worden dat de paarsgewijze vergelijking consistent is gedaan. De scores van de oplossingen zijn hierdoor met meer dan voldoende juistheid bepaald.

Bijlage I: Paarsgewijze vergelijking van de alternatieven

Het criterium: Functionaliteit (waarbij alternatieven 1 tot en met 9 worden vergeleken)

Alle oplossingen worden per criteria afgewogen. Hiervoor worden wederom paarsgewijze vergelijkingen gemaakt, waarbij ditmaal de oplossingen tegen elkaar worden afgezet. De manier van scoren is hetzelfde als bij het vergelijken van de criteria.

Functionaliteit

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1/2	1/3	1/5	1/6	1/7	1/6	1/7	1/9
2	2	1	1/2	1/4	1/5	1/6	1/5	1/6	1/8
3	3	2	1	1/3	1/4	1/5	1/4	1/5	1/6
4	5	4	3	1	1/2	1/4	1/2	1/4	1/5
5	6	5	4	2	1	1/2	2	1/2	1/4
6	7	6	5	4	2	1	3	1/2	1/3
7	6	5	4	2	1/2	1/3	1	1/2	1/4
8	7	6	5	4	2	2	2	1	1/2
9	9	8	6	5	4	3	4	2	1
SOM	46	37,5	28,83333	18,78333	10,61667	7,592857	13,11667	5,259524	2,936111

Als alle paarsgewijze vergelijkingen zijn voltooid, kan men bepalen hoe belangrijk alle oplossingen zijn ten opzichte van elkaar. Alle kolommen worden bij elkaar opgeteld tot een totaal. Daarna wordt de onderstaande tabel gevormd door steeds de score per cel te delen door de som van die totale kolom.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	GEMIDDELDE
1	0,021739	0,013333	0,011561	0,010648	0,015699	0,018815	0,012706	0,027162	0,037843	0,018834
2	0,043478	0,026667	0,017341	0,01331	0,018838	0,02195	0,015248	0,031689	0,042573	0,025677
3	0,065217	0,053333	0,034682	0,017746	0,023548	0,026341	0,01906	0,038026	0,056764	0,037191
4	0,108696	0,106667	0,104046	0,053239	0,047096	0,032926	0,038119	0,047533	0,068117	0,067382
5	0,130435	0,133333	0,138728	0,106477	0,094192	0,065851	0,152478	0,095066	0,085147	0,111301
6	0,152174	0,16	0,17341	0,212955	0,188383	0,131703	0,228717	0,095066	0,113529	0,161771
7	0,130435	0,133333	0,138728	0,106477	0,047096	0,043901	0,076239	0,095066	0,085147	0,095158
8	0,152174	0,16	0,17341	0,212955	0,188383	0,263405	0,152478	0,190131	0,170293	0,184803
9	0,195652	0,213333	0,208092	0,266193	0,376766	0,395108	0,304956	0,380263	0,340587	0,297883

Door vervolgens de gemiddelden te nemen van een bepaalde rij, weet je de score van een alternatief op dat criterium.

In de onderstaande tabel staan de scores van de alternatieven voor dit criterium.

Score op functionaliteit:	
Oplossing:	
1	0,018834
2	0,025677
3	0,037191
4	0,067382
5	0,111301
6	0,161771
7	0,095158
8	0,184803
9	0,297883
SOM	1

Om te toetsen of deze scores met voldoende consistentie zijn bepaalt, is er een controle uitgevoerd.

Consistentie controleren:

1)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
Scores	**0,018834**	**0,025677**	**0,037191**	**0,067382**	**0,111301**	**0,161771**	**0,095158**	**0,184803**	**0,297883**
1	1	1/2	1/3	1/5	1/6	1/7	1/6	1/7	1/9
2	2	1	1/2	1/4	1/5	1/6	1/5	1/6	1/8
3	3	2	1	1/3	1/4	1/5	1/4	1/5	1/6
4	5	4	3	1	1/2	1/4	1/2	1/4	1/5
5	6	5	4	2	1	1/2	2	1/2	1/4
6	7	6	5	4	2	1	3	1/2	1/3
7	6	5	4	2	1/2	1/3	1	1/2	1/4
8	7	6	5	4	2	2	2	1	1/2
9	9	8	6	5	4	3	4	2	1

Daartoe invullen van de gevonden scores en daaronder de eerste paarsgewijze vergelijking van de oplossingen.

2)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	SOM
1	0,018834	0,012839	0,012397	0,013476	0,01855	0,02311	0,01586	0,0264	0,033098	**0,174564**
2	0,037668	0,025677	0,018595	0,016846	0,02226	0,026962	0,019032	0,030801	0,037235	**0,235075**
3	0,056502	0,051354	0,037191	0,022461	0,027825	0,032354	0,023789	0,036961	0,049647	**0,338084**
4	0,09417	0,102708	0,111573	0,067382	0,05565	0,040443	0,047579	0,046201	0,059577	**0,625282**
5	0,113003	0,128386	0,148763	0,134764	0,111301	0,080885	0,190316	0,092402	0,074471	**1,074291**
6	0,131837	0,154063	0,185954	0,269528	0,222601	0,161771	0,285474	0,092402	0,099294	**1,602925**
7	0,113003	0,128386	0,148763	0,134764	0,05565	0,053924	0,095158	0,092402	0,074471	**0,896521**
8	0,131837	0,154063	0,185954	0,269528	0,222601	0,323541	0,190316	0,184803	0,148942	**1,811586**

9	0,169505	0,205417	0,223145	0,33691	0,445203	0,485312	0,380632	0,369607	0,297883	**2,913614**

Vermenigvuldig de score bovenaan de kolom, met elk getal daaronder. Tel de rijen van de tabel op, die als resultaat ontstaat.

3)	**Sommaties**	**Scores**	Ratio
1	0,174564	0,018834	**9,268619**
2	0,235075	0,025677	**9,155054**
3	0,338084	0,037191	**9,090516**
4	0,625282	0,067382	**9,279658**
5	1,074291	0,111301	**9,652146**
6	1,602925	0,161771	**9,908624**
7	0,896521	0,095158	**9,421398**
8	1,811586	0,184803	**9,80278**
9	2,913614	0,297883	**9,781057**
	Average ratio:		**9,484428**

Deel elke som van de rij door de score, die voor die oplossing gevonden is. Hieruit komt een ratio per oplossing uit, die samen gemiddeld wordt tot een gemiddeld ratio.

4) Nu kan er een inconsistentie index berekend worden aan de hand van de volgende formule:

$$\text{Inconsistentie index} = \frac{(\text{Gemiddeld ratio van stap 3} - \text{n})}{(\text{n} - 1)}$$

Met n is het aantal rijen, dan wel attributen in de tabel.)

Inconsistentie index = **0,060553**

Aan de hand van de tabel "Willekeurige indexen voor het controleren van de consistentie van een tabel" kan gesteld worden of er consistent gehandeld is bij de paarsgewijze vergelijkingen. Dus de consistentie bij het bepalen van de scores van de oplossingen.

Willekeurige indexen voor het controleren van de consistentie van een tabel

	2	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Random index	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Inconsistentie ratio = **0,041761**

Wanneer het inconsistentie ratio onder de **0,1** blijkt, kan zonder twijfel gesteld worden dat de paarsgewijze vergelijking consistent is gedaan. De scores van de oplossingen zijn hierdoor met meer dan voldoende juistheid bepaald.

Bijlage J: Paarsgewijze vergelijking van de alternatieven

Het criterium: Afhankelijkheid en simpliciteit (waarbij alternatieven 1 tot en met 9 worden vergeleken)

Alle oplossingen worden per criteria afgewogen. Hiervoor worden wederom paarsgewijze vergelijkingen gemaakt, waarbij ditmaal de oplossingen tegen elkaar worden afgezet. De manier van scoren is hetzelfde als bij het vergelijken van de criteria.

Afhankelijkheid en simpliciteit

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1/2	1/4	1/3	1/6	1/8	1/6	1/5	1/6
2	2	1	1/2	1/2	1/4	1/7	1/4	1/5	1/3
3	4	2	1	2	1/4	1/5	1/4	1/5	1/4
4	3	2	1/2	1	1/3	1/5	1/3	1/3	1/4
5	6	4	4	3	1	1/4	2	3	1/2
6	8	7	5	5	4	1	3	4	2
7	6	4	4	3	1/2	1/3	1	2	3
8	5	5	5	3	1/3	1/4	1/2	1	1/2
9	6	3	4	4	2	1/2	1/3	2	1
SOM	41	28,5	24,25	21,83333	8,833333	3,00119	7,833333	12,93333	8

Als alle paarsgewijze vergelijkingen zijn voltooid, kan men bepalen hoe belangrijk alle oplossingen zijn ten opzichte van elkaar. Alle kolommen worden bij elkaar opgeteld tot een totaal. Daarna wordt de onderstaande tabel gevormd door steeds de score per cel te delen door de som van die totale kolom.

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**GEMIDDELDE**
1	0,02439	0,017544	0,010309	0,015267	0,018868	0,04165	0,021277	0,015464	0,020833	0,020622
2	0,04878	0,035088	0,020619	0,022901	0,028302	0,0476	0,031915	0,015464	0,041667	0,032482
3	0,097561	0,070175	0,041237	0,091603	0,028302	0,06664	0,031915	0,015464	0,03125	0,052683
4	0,073171	0,070175	0,020619	0,045802	0,037736	0,06664	0,042553	0,025773	0,03125	0,045969
5	0,146341	0,140351	0,164948	0,137405	0,113208	0,0833	0,255319	0,231959	0,0625	0,14837
6	0,195122	0,245614	0,206186	0,229008	0,45283	0,333201	0,382979	0,309278	0,25	0,289358
7	0,146341	0,140351	0,164948	0,137405	0,056604	0,111067	0,12766	0,154639	0,375	0,157113
8	0,121951	0,175439	0,206186	0,137405	0,037736	0,0833	0,06383	0,07732	0,0625	0,107296
9	0,146341	0,105263	0,164948	0,183206	0,226415	0,166601	0,042553	0,154639	0,125	0,146107

Door vervolgens de gemiddelden te nemen van een bepaalde rij, weet je de score van een alternatief op dat criterium.

In de onderstaande tabel staan de scores van de alternatieven voor dit criterium.

Score op afhankelijkheid en simpliciteit:	
Oplossing:	
1	0,020622
2	0,032482
3	0,052683
4	0,045969
5	0,14837
6	0,289358
7	0,157113
8	0,107296
9	0,146107
SOM	1

Om te toetsen of deze scores met voldoende consistentie zijn bepaalt, is er een controle uitgevoerd.

Consistentie controleren:

1)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
Scores	**0,020622**	**0,032482**	**0,052683**	**0,045969**	**0,14837**	**0,289358**	**0,157113**	**0,107296**	**0,146107**
1	1	1/2	1/4	1/3	1/6	1/8	1/6	1/5	1/6
2	2	1	1/2	1/2	1/4	1/7	1/4	1/5	1/3
3	4	2	1	2	1/4	1/5	1/4	1/5	1/4
4	3	2	1/2	1	1/3	1/5	1/3	1/3	1/4
5	6	4	4	3	1	1/4	2	3	1/2
6	8	7	5	5	4	1	3	4	2
7	6	4	4	3	1/2	1/3	1	2	3
8	5	5	5	3	1/3	1/4	1/2	1	1/2
9	6	3	4	4	2	1/2	1/3	2	1

Daartoe invullen van de gevonden scores en daaronder de eerste paarsgewijze vergelijking van de oplossingen.

2)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	SOM
1	0,020622	0,016241	0,013171	0,015323	0,024728	0,03617	0,026185	0,021459	0,024351	**0,198251**
2	0,041245	0,032482	0,026342	0,022984	0,037093	0,041337	0,039278	0,021459	0,048702	**0,310922**
3	0,08249	0,064963	0,052683	0,091937	0,037093	0,057872	0,039278	0,021459	0,036527	**0,484302**
4	0,061867	0,064963	0,026342	0,045969	0,049457	0,057872	0,052371	0,035765	0,036527	**0,431132**
5	0,123735	0,129927	0,210732	0,137906	0,14837	0,072339	0,314226	0,321888	0,073054	**1,532177**
6	0,16498	0,227372	0,263415	0,229844	0,59348	0,289358	0,471338	0,429185	0,292215	**2,961187**
7	0,123735	0,129927	0,210732	0,137906	0,074185	0,096453	0,157113	0,214592	0,438322	**1,582965**

8	0,103112	0,162408	0,263415	0,137906	0,049457	0,072339	0,078556	0,107296	0,073054	**1,047545**
9	0,123735	0,097445	0,210732	0,183875	0,29674	0,144679	0,052371	0,214592	0,146107	**1,470277**

Vermenigvuldig de score bovenaan de kolom, met elk getal daaronder. Tel de rijen van de tabel op, die als resultaat ontstaat.

3)	**Sommaties**	**Scores**	Ratio
1	0,198251	0,020622	**9,613336**
2	0,310922	0,032482	**9,572223**
3	0,484302	0,052683	**9,192751**
4	0,431132	0,045969	**9,378818**
5	1,532177	0,14837	**10,32672**
6	2,961187	0,289358	**10,23366**
7	1,582965	0,157113	**10,07534**
8	1,047545	0,107296	**9,763115**
9	1,470277	0,146107	**10,06298**
	Average ratio:		**9,802106**

Deel elke som van de rij door de score, die voor die oplossing gevonden is. Hieruit komt een ratio per oplossing uit, die samen gemiddeld wordt tot een gemiddeld ratio.

4) Nu kan er een inconsistentie index berekend worden aan de hand van de volgende formule:

$$\text{Inconsistentie index} = \frac{(\text{Gemiddeld ratio van stap 3} - \text{n})}{(\text{n} - 1)}$$

Met n is het aantal rijen, dan wel attributen in de tabel.)

Inconsistentie index = **0,1003**

Aan de hand van de tabel "Willekeurige indexen voor het controleren van de consistentie van een tabel" kan gesteld worden of er consistent gehandeld is bij de paarsgewijze vergelijkingen. Dus de consistentie bij het bepalen van de scores van de oplossingen.

Willekeurige indexen voor het controleren van de consistentie van een tabel

	2	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Random index	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Inconsistentie ratio = **0,069147**

Wanneer het inconsistentie ratio onder de **0,1** blijkt, kan zonder twijfel gesteld worden dat de paarsgewijze vergelijking consistent is gedaan. De scores van de oplossingen zijn hierdoor met meer dan voldoende juistheid bepaald.

Bijlage K: Paarsgewijze vergelijking van de alternatieven

Het criterium: Toepasbaarheid (waarbij alternatieven 1 tot en met 9 worden vergeleken)

Alle oplossingen worden per criteria afgewogen. Hiervoor worden wederom paarsgewijze vergelijkingen gemaakt, waarbij ditmaal de oplossingen tegen elkaar worden afgezet. De manier van scoren is hetzelfde als bij het vergelijken van de criteria.

Toepasbaarheid

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1/3	1/5	1/6	1/9	1/3	1/4	1/5	1/2
2	3	1	1/2	1/5	1/7	1/2	1/3	1/4	3
3	5	2	1	1/2	1/5	3	2	1/3	4
4	6	5	2	1	1/4	5	3	2	6
5	9	7	5	4	1	5	4	2	6
6	3	2	1/3	1/5	1/5	1	1/3	1/4	2
7	4	3	1/2	1/3	1/4	3	1	1/2	3
8	5	4	3	1/2	1/2	4	2	1	4
9	2	1/3	1/4	1/6	1/5	1/2	1/3	1/4	1
SOM	38	24,66667	12,78333	7,066667	2,853968	22,33333	13,25	6,783333	29,5

Als alle paarsgewijze vergelijkingen zijn voltooid, kan men bepalen hoe belangrijk alle oplossingen zijn ten opzichte van elkaar. Alle kolommen worden bij elkaar opgeteld tot een totaal. Daarna wordt de onderstaande tabel gevormd door steeds de score per cel te delen door de som van die totale kolom.

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**GEMIDDELDE**
1	0,026316	0,013514	0,015645	0,023585	0,038932	0,014925	0,018868	0,029484	0,016949	0,022024
2	0,078947	0,040541	0,039113	0,028302	0,050056	0,022388	0,025157	0,036855	0,101695	0,047006
3	0,131579	0,081081	0,078227	0,070755	0,070078	0,134328	0,150943	0,04914	0,135593	0,100192
4	0,157895	0,202703	0,156454	0,141509	0,087597	0,223881	0,226415	0,29484	0,20339	0,188298
5	0,236842	0,283784	0,391134	0,566038	0,350389	0,223881	0,301887	0,29484	0,20339	0,316909
6	0,078947	0,081081	0,026076	0,028302	0,070078	0,044776	0,025157	0,036855	0,067797	0,051008
7	0,105263	0,121622	0,039113	0,04717	0,087597	0,134328	0,075472	0,07371	0,101695	0,08733
8	0,131579	0,162162	0,234681	0,070755	0,175195	0,179104	0,150943	0,14742	0,135593	0,154159
9	0,052632	0,013514	0,019557	0,023585	0,070078	0,022388	0,025157	0,036855	0,033898	0,033074

Door vervolgens de gemiddelden te nemen van een bepaalde rij, weet je de score van een alternatief op dat criterium.

In de onderstaande tabel staan de scores van de alternatieven voor dit criterium.

Score op toepasbaarheid:	
Oplossing:	
1	0,022024
2	0,047006
3	0,100192
4	0,188298
5	0,316909
6	0,051008
7	0,08733
8	0,154159
9	0,033074
SOM	1

Om te toetsen of deze scores met voldoende consistentie zijn bepaalt, is er een controle uitgevoerd.

Consistentie controleren:

1)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
Scores	**0,022024**	**0,047006**	**0,100192**	**0,188298**	**0,316909**	**0,051008**	**0,08733**	**0,154159**	**0,033074**
1	1	1/3	1/5	1/6	1/9	1/3	1/4	1/5	1/2
2	3	1	1/2	1/5	1/7	1/2	1/3	1/4	3
3	5	2	1	1/2	1/5	3	2	1/3	4
4	6	5	2	1	1/4	5	3	2	6
5	9	7	5	4	1	5	4	2	6
6	3	2	1/3	1/5	1/5	1	1/3	1/4	2
7	4	3	1/2	1/3	1/4	3	1	1/2	3
8	5	4	3	1/2	1/2	4	2	1	4
9	2	1/3	1/4	1/6	1/5	1/2	1/3	1/4	1

Daartoe invullen van de gevonden scores en daaronder de eerste paarsgewijze vergelijking van de oplossingen.

2)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	SOM
1	0,022024	0,015669	0,020038	0,031383	0,035212	0,017003	0,021833	0,030832	0,016537	**0,21053**
2	0,066073	0,047006	0,050096	0,03766	0,045273	0,025504	0,02911	0,03854	0,099221	**0,438482**
3	0,110121	0,094012	0,100192	0,094149	0,063382	0,153023	0,17466	0,051386	0,132295	**0,97322**
4	0,132145	0,23503	0,200383	0,188298	0,079227	0,255038	0,26199	0,308318	0,198442	**1,858873**
5	0,198218	0,329042	0,500958	0,753193	0,316909	0,255038	0,34932	0,308318	0,198442	**3,209439**
6	0,066073	0,094012	0,033397	0,03766	0,063382	0,051008	0,02911	0,03854	0,066147	**0,479328**
7	0,088097	0,141018	0,050096	0,062766	0,079227	0,153023	0,08733	0,07708	0,099221	**0,837858**
8	0,110121	0,188024	0,300575	0,094149	0,158455	0,204031	0,17466	0,154159	0,132295	**1,516468**

9	0,044048	0,015669	0,025048	0,031383	0,063382	0,025504	0,02911	0,03854	0,033074	**0,305757**

Vermenigvuldig de score bovenaan de kolom, met elk getal daaronder. Tel de rijen van de tabel op, die als resultaat ontstaat.

3)	**Sommaties**	**Scores**	Ratio
1	0,21053	0,022024	**9,559018**
2	0,438482	0,047006	**9,328204**
3	0,97322	0,100192	**9,713588**
4	1,858873	0,188298	**9,871965**
5	3,209439	0,316909	**10,12731**
6	0,479328	0,051008	**9,397185**
7	0,837858	0,08733	**9,594154**
8	1,516468	0,154159	**9,837032**
9	0,305757	0,033074	**9,244729**
	Average ratio:		**9,630354**

Deel elke som van de rij door de score, die voor die oplossing gevonden is. Hieruit komt een ratio per oplossing uit, die samen gemiddeld wordt tot een gemiddeld ratio.

4) Nu kan er een inconsistentie index berekend worden aan de hand van de volgende formule:

$$\text{Inconsistentie index} = \frac{(\text{Gemiddeld ratio van stap 3} - \text{n})}{(\text{n} - 1)}$$

Met n is het aantal rijen, dan wel attributen in de tabel.)

Inconsistentie index = **0,078794**

Aan de hand van de tabel "Willekeurige indexen voor het controleren van de consistentie van een tabel" kan gesteld worden of er consistent gehandeld is bij de paarsgewijze vergelijkingen. Dus de consistentie bij het bepalen van de scores van de oplossingen.

Willekeurige indexen voor het controleren van de consistentie van een tabel

	2	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Random index	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Inconsistentie ratio = **0,054341**

Wanneer het inconsistentie ratio onder de **0,1** blijkt, kan zonder twijfel gesteld worden dat de paarsgewijze vergelijking consistent is gedaan. De scores van de oplossingen zijn hierdoor met meer dan voldoende juistheid bepaald.

Bijlage L: Paarsgewijze vergelijking van de alternatieven

Het criterium: Gebruiksgemak (waarbij alternatieven 1 tot en met 9 worden vergeleken)

Alle oplossingen worden per criteria afgewogen. Hiervoor worden wederom paarsgewijze vergelijkingen gemaakt, waarbij ditmaal de oplossingen tegen elkaar worden afgezet. De manier van scoren is hetzelfde als bij het vergelijken van de criteria.

Gebruiksgemak

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1/2	1/5	1/4	1/7	1/8	1/7	1/4	1/5
2	2	1	1/3	1/3	1/6	1/7	1/6	1/2	1/3
3	5	3	1	2	1/4	1/5	1/4	1/3	1/2
4	4	3	1/2	1	1/4	1/5	1/4	1/2	1/2
5	7	6	4	4	1	1/2	2	3	3
6	8	7	5	5	2	1	4	5	5
7	7	6	4	4	1/2	1/4	1	3	2
8	4	2	3	2	1/3	1/5	1/3	1	1/2
9	5	3	2	2	1/3	1/5	1/2	2	1
SOM	43	31,5	20,03333	20,58333	4,97619	2,817857	8,642857	15,58333	13,03333

Als alle paarsgewijze vergelijkingen zijn voltooid, kan men bepalen hoe belangrijk alle oplossingen zijn ten opzichte van elkaar. Alle kolommen worden bij elkaar opgeteld tot een totaal. Daarna wordt de onderstaande tabel gevormd door steeds de score per cel te delen door de som van die totale kolom.

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**GEMIDDELDE**
1	0,023256	0,015873	0,009983	0,012146	0,028708	0,04436	0,016529	0,016043	0,015345	0,020249
2	0,046512	0,031746	0,016639	0,016194	0,033493	0,050697	0,019284	0,032086	0,025575	0,030247
3	0,116279	0,095238	0,049917	0,097166	0,050239	0,070976	0,028926	0,02139	0,038363	0,063166
4	0,093023	0,095238	0,024958	0,048583	0,050239	0,070976	0,028926	0,032086	0,038363	0,053599
5	0,162791	0,190476	0,199667	0,194332	0,200957	0,17744	0,231405	0,192513	0,230179	0,197751
6	0,186047	0,222222	0,249584	0,242915	0,401914	0,35488	0,46281	0,320856	0,383632	0,313873
7	0,162791	0,190476	0,199667	0,194332	0,100478	0,08872	0,115702	0,192513	0,153453	0,155348
8	0,093023	0,063492	0,14975	0,097166	0,066986	0,070976	0,038567	0,064171	0,038363	0,075833
9	0,116279	0,095238	0,099834	0,097166	0,066986	0,070976	0,057851	0,128342	0,076726	0,089933

Door vervolgens de gemiddelden te nemen van een bepaalde rij, weet je de score van een alternatief op dat criterium.

In de onderstaande tabel staan de scores van de alternatieven voor dit criterium.

Score op gebruiksgemak:	
Oplossing:	
1	0,020249
2	0,030247
3	0,063166
4	0,053599
5	0,197751
6	0,313873
7	0,155348
8	0,075833
9	0,089933
SOM	1

Om te toetsen of deze scores met voldoende consistentie zijn bepaalt, is er een controle uitgevoerd.

Consistentie controleren:

1)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
Scores	**0,020249**	**0,030247**	**0,063166**	**0,053599**	**0,197751**	**0,313873**	**0,155348**	**0,075833**	**0,089933**
1	1	1/2	1/5	1/4	1/7	1/8	1/7	1/4	1/5
2	2	1	1/3	1/3	1/6	1/7	1/6	1/2	1/3
3	5	3	1	2	1/4	1/5	1/4	1/3	1/2
4	4	3	1/2	1	1/4	1/5	1/4	1/2	1/2
5	7	6	4	4	1	1/2	2	3	3
6	8	7	5	5	2	1	4	5	5
7	7	6	4	4	1/2	1/4	1	3	2
8	4	2	3	2	1/3	1/5	1/3	1	1/2
9	5	3	2	2	1/3	1/5	1/2	2	1

Daartoe invullen van de gevonden scores en daaronder de eerste paarsgewijze vergelijking van de oplossingen.

2)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	SOM
1	0,020249	0,015124	0,012633	0,0134	0,02825	0,039234	0,022193	0,018958	0,017987	**0,188028**
2	0,040498	0,030247	0,021055	0,017866	0,032959	0,044839	0,025891	0,037916	0,029978	**0,28125**
3	0,101246	0,090742	0,063166	0,107198	0,049438	0,062775	0,038837	0,025278	0,044967	**0,583646**
4	0,080997	0,090742	0,031583	0,053599	0,049438	0,062775	0,038837	0,037916	0,044967	**0,490853**
5	0,141745	0,181484	0,252664	0,214397	0,197751	0,156937	0,310696	0,227498	0,269799	**1,952971**
6	0,161994	0,211731	0,31583	0,267996	0,395502	0,313873	0,621392	0,379164	0,449666	**3,117148**
7	0,141745	0,181484	0,252664	0,214397	0,098876	0,078468	0,155348	0,227498	0,179866	**1,530346**

8	0,080997	0,060495	0,189498	0,107198	0,065917	0,062775	0,051783	0,075833	0,044967	**0,739462**
9	0,101246	0,090742	0,126332	0,107198	0,065917	0,062775	0,077674	0,151666	0,089933	**0,873483**

Vermenigvuldig de score bovenaan de kolom, met elk getal daaronder. Tel de rijen van de tabel op, die als resultaat ontstaat.

3)	**Sommaties**	**Scores**	Ratio
1	0,188028	0,020249	**9,285669**
2	0,28125	0,030247	**9,298369**
3	0,583646	0,063166	**9,23987**
4	0,490853	0,053599	**9,157858**
5	1,952971	0,197751	**9,875901**
6	3,117148	0,313873	**9,931235**
7	1,530346	0,155348	**9,851073**
8	0,739462	0,075833	**9,751212**
9	0,873483	0,089933	**9,71258**
	Average ratio:		**9,567085**

Deel elke som van de rij door de score, die voor die oplossing gevonden is. Hieruit komt een ratio per oplossing uit, die samen gemiddeld wordt tot een gemiddeld ratio.

4) Nu kan er een inconsistentie index berekend worden aan de hand van de volgende formule:

$$\text{Inconsistentie index} = \frac{(\text{Gemiddeld ratio van stap 3} - \text{n})}{(\text{n} - 1)}$$

Met n is het aantal rijen, dan wel attributen in de tabel.)

Inconsistentie index = **0,070886**

Aan de hand van de tabel "Willekeurige indexen voor het controleren van de consistentie van een tabel" kan gesteld worden of er consistent gehandeld is bij de paarsgewijze vergelijkingen. Dus de consistentie bij het bepalen van de scores van de oplossingen.

Willekeurige indexen voor het controleren van de consistentie van een tabel

	2	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Random index	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Inconsistentie ratio = **0,048887**

Wanneer het inconsistentie ratio onder de **0,1** blijkt, kan zonder twijfel gesteld worden dat de paarsgewijze vergelijking consistent is gedaan. De scores van de oplossingen zijn hierdoor met meer dan voldoende juistheid bepaald.

Bijlage M: Paarsgewijze vergelijking van de alternatieven

Het criterium: Foutkans (waarbij alternatieven 1 tot en met 9 worden vergeleken.

Alle oplossingen worden per criteria afgewogen. Hiervoor worden wederom paarsgewijze vergelijkingen gemaakt, waarbij ditmaal de oplossingen tegen elkaar worden afgezet. De manier van scoren is hetzelfde als bij het vergelijken van de criteria.

Foutkans

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1/2	1/4	1/3	1/6	1/7	1/6	1/6	1/7
2	2	1	1/3	1/2	1/5	1/6	1/5	1/5	1/6
3	4	3	1	2	1/4	1/4	1/4	1/3	1/3
4	3	2	1/2	1	1/3	1/4	1/3	1/3	1/4
5	6	5	4	3	1	1/2	1	2	1/2
6	7	6	4	4	2	1	3	3	2
7	6	5	4	3	1	1/3	1	2	2
8	6	5	3	3	1/2	1/3	1/2	1	1/2
9	7	6	3	4	2	1/2	1/2	2	1
SOM	42	33,5	20,08333	20,83333	7,45	3,47619	6,95	11,03333	6,892857

Als alle paarsgewijze vergelijkingen zijn voltooid, kan men bepalen hoe belangrijk alle oplossingen zijn ten opzichte van elkaar. Alle kolommen worden bij elkaar opgeteld tot een totaal. Daarna wordt de onderstaande tabel gevormd door steeds de score per cel te delen door de som van die totale kolom.

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**GEMIDDELDE**
1	0,02381	0,014925	0,012448	0,016	0,022371	0,041096	0,023981	0,015106	0,020725	0,021162
2	0,047619	0,029851	0,016598	0,024	0,026846	0,047945	0,028777	0,018127	0,02418	0,029327
3	0,095238	0,089552	0,049793	0,096	0,033557	0,071918	0,035971	0,030211	0,048359	0,061178
4	0,071429	0,059701	0,024896	0,048	0,044743	0,071918	0,047962	0,030211	0,036269	0,048348
5	0,142857	0,149254	0,19917	0,144	0,134228	0,143836	0,143885	0,181269	0,072539	0,145671
6	0,166667	0,179104	0,19917	0,192	0,268456	0,287671	0,431655	0,271903	0,290155	0,254087
7	0,142857	0,149254	0,19917	0,144	0,134228	0,09589	0,143885	0,181269	0,290155	0,164523
8	0,142857	0,149254	0,149378	0,144	0,067114	0,09589	0,071942	0,090634	0,072539	0,10929
9	0,166667	0,179104	0,149378	0,192	0,268456	0,143836	0,071942	0,181269	0,145078	0,166414

Door vervolgens de gemiddelden te nemen van een bepaalde rij, weet je de score van een alternatief op dat criterium.

In de onderstaande tabel staan de scores van de alternatieven voor dit criterium.

Score op foutkans:

Oplossing:	
1	0,021162
2	0,029327
3	0,061178
4	0,048348
5	0,145671
6	0,254087
7	0,164523
8	0,10929
9	0,166414
SOM	1

Om te toetsen of deze scores met voldoende consistentie zijn bepaalt, is er een controle uitgevoerd.

Consistentie controleren:

1)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
Scores	**0,021162**	**0,029327**	**0,061178**	**0,048348**	**0,145671**	**0,254087**	**0,164523**	**0,10929**	**0,166414**
1	1	1/2	1/4	1/3	1/6	1/7	1/6	1/6	1/7
2	2	1	1/3	1/2	1/5	1/6	1/5	1/5	1/6
3	4	3	1	2	1/4	1/4	1/4	1/3	1/3
4	3	2	1/2	1	1/3	1/4	1/3	1/3	1/4
5	6	5	4	3	1	1/2	1	2	1/2
6	7	6	4	4	2	1	3	3	2
7	6	5	4	3	1	1/3	1	2	2
8	6	5	3	3	1/2	1/3	1/2	1	1/2
9	7	6	3	4	2	1/2	1/2	2	1

Daartoe invullen van de gevonden scores en daaronder de eerste paarsgewijze vergelijking van de oplossingen.

2)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	SOM
1	0,021162	0,014663	0,015294	0,016116	0,024278	0,036298	0,027421	0,018215	0,023773	**0,197222**
2	0,042325	0,029327	0,020393	0,024174	0,029134	0,042348	0,032905	0,021858	0,027736	**0,270199**
3	0,08465	0,087981	0,061178	0,096695	0,036418	0,063522	0,041131	0,03643	0,055471	**0,563475**
4	0,063487	0,058654	0,030589	0,048348	0,048557	0,063522	0,054841	0,03643	0,041604	**0,446031**
5	0,126975	0,146634	0,244711	0,145043	0,145671	0,127043	0,164523	0,21858	0,083207	**1,402388**
6	0,148137	0,175961	0,244711	0,193391	0,291342	0,254087	0,49357	0,32787	0,332829	**2,461897**
7	0,126975	0,146634	0,244711	0,145043	0,145671	0,084696	0,164523	0,21858	0,332829	**1,609661**
8	0,126975	0,146634	0,183533	0,145043	0,072835	0,084696	0,082262	0,10929	0,083207	**1,034475**

9	0,148137	0,175961	0,183533	0,193391	0,291342	0,127043	0,082262	0,21858	0,166414	**1,586663**

Vermenigvuldig de score bovenaan de kolom, met elk getal daaronder. Tel de rijen van de tabel op, die als resultaat ontstaat.

3)	**Sommaties**	**Scores**	Ratio
1	0,197222	0,021162	**9,319415**
2	0,270199	0,029327	**9,213351**
3	0,563475	0,061178	**9,210462**
4	0,446031	0,048348	**9,225483**
5	1,402388	0,145671	**9,6271**
6	2,461897	0,254087	**9,689191**
7	1,609661	0,164523	**9,783796**
8	1,034475	0,10929	**9,465427**
9	1,586663	0,166414	**9,53441**
	Average ratio:		**9,45207**

Deel elke som van de rij door de score, die voor die oplossing gevonden is. Hieruit komt een ratio per oplossing uit, die samen gemiddeld wordt tot een gemiddeld ratio.

4) Nu kan er een inconsistentie index berekend worden aan de hand van de volgende formule:

$$\text{Inconsistentie index} = \frac{(\text{Gemiddeld ratio van stap 3} - \text{n})}{(\text{n} - 1)}$$

Met n is het aantal rijen, dan wel attributen in de tabel.)

Inconsistentie index = **0,056509**

Aan de hand van de tabel "Willekeurige indexen voor het controleren van de consistentie van een tabel" kan gesteld worden of er consistent gehandeld is bij de paarsgewijze vergelijkingen. Dus de consistentie bij het bepalen van de scores van de oplossingen.

Willekeurige indexen voor het controleren van de consistentie van een tabel

	2	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Random index	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Inconsistentie ratio = **0,038972**

Wanneer het inconsistentie ratio onder de **0,1** blijkt, kan zonder twijfel gesteld worden dat de paarsgewijze vergelijking consistent is gedaan. De scores van de oplossingen zijn hierdoor met meer dan voldoende juistheid bepaald.

Bijlage N: Gevoeligheidsanalyse

Hier is de gevoeligheidsanalyse van paragraaf 5.5 uitgevoerd.

Bij een gevoeligheidsanalyse wordt elke keer een criterium met weging nul bedeelt. De andere criteria behouden in principe dezelfde weging, alleen worden ze omgerekend zodat de som van de vijf weegfactoren wel één is. In de oorspronkelijke afweging is ERP + barcode als oplossing naar voren gekomen. Nu wordt er gekeken naar de robuustheid van die bepaling.

	Gewichten	**(1 - Gewichten)**
W (Kosten)	0,033314282	0,966685718
W (Functionaliteit)	0,228098632	0,771901368
W (Afhankelijkheid en simpliciteit)	0,0565	0,943500047
W (Toepasbaarheid)	0,413252754	0,586747246
W (Gebruiksgemak)	0,080821801	0,919178199
W (Foutkans)	0,188012578	0,811987422
SOM	1	

Eerst worden de oorspronkelijke gewichten genomen. Daarvan wordt een kolom opgesteld waarbij 1 minus de gewichten staan. Daarna worden per criterium de nieuwe gewichten bepaalt. Deze nieuwe gewichten worden steeds bepaalt door de oorspronkelijke gewichten te delen door (1-Gewichten).

Zo wordt functionaliteit, bij kosten is nul $\frac{0{,}228098632}{0{,}966685718} = \mathbf{0{,}235959451}$.

Kosten	**Func.**	**Afh.&Sim.**	**Toep.**	**Gebr.**	**Foutk.**	**Nieuwe weging**
0	0,043159	0,035309253	0,056778	0,036244	0,0410281	← Kosten = 0
0,235959451	0	0,241757944	0,388751	0,248155	0,280914	← Func. = 0
0,058447075	0,073196	0	0,096294	0,061468	0,0695823	← Afh.&Sim. = 0
0,427494424	0,53537	0,437999718	0	0,449589	0,5089398	← Toep. = 0
0,083607112	0,104705	0,085661682	0,137746	0	0,0995358	← Gebr. = 0
0,194491938	0,243571	0,199271403	0,320432	0,204544	0	← Foutk. = 0
1	1	1	1	1	1	**SOM**

Om vervolgens de scores per oplossing te bepalen wordt gebruik gemaakt van de oorspronkelijke totaalscore per alternatief. Hiervan vermenigvuldigt men per alternatief alle scores met de nieuwe gewichten. Deze nieuwe gewichten gelden steeds voor een op nul gesteld criterium.

Kosten = 0			**Functionaliteit = 0**			**Afhankelijkheid en simpliciteit = 0**	
	Totaalscore			Totaalscore			Totaalscore
1	0,000965878		1	0,007649206		1	0,002139
2	0,001735332		2	0,011538331		2	0,003177
3	0,003479026		3	0,02194695		3	0,005879
4	0,005703154		4	0,035937741		4	0,009871
5	0,010530474		5	0,065560181		5	0,017596
6	0,00624602		6	0,032093762		6	0,009672
7	0,005023447		7	0,028443187		7	0,008103
8	0,006715646		8	0,033827236		8	0,011101
9	0,005547131		9	0,018047693		9	0,008949

Zo is de eindscore voor oplossing 1 bij (Foutkans = 0):

0,0097705*0,194491938 + 0,004296*0,243571 + 0,001165*0,199271403 + 0,009102*0,320432 + 0,001637*0,204544 + 0,003979*0 = 0,00643

Toepasbaarheid = 0			**Gebruiksgemak = 0**			**Foutkans = 0**	
	Totaalscore			Totaalscore			Totaalscore
1	0,009748		1	0,003016		1	0,00643
2	0,010358		2	0,004487		2	0,00966
3	0,015142		3	0,008216		3	0,017493
4	0,018532		4	0,013962		4	0,031261
5	0,04013		5	0,024483		5	0,053881
6	0,063054		6	0,013005		6	0,02438
7	0,037734		7	0,011247		7	0,021569
8	0,038984		8	0,015861		8	0,033392
9	0,059448		9	0,01287		9	0,024181

Wat hier opvalt, is het feit dat oplossing 5 bij het veranderen van de weging voor vijf van de zes keer de beste score behaald. Dit komt doordat toepasbaarheid het zwaarste weegt en daarmee de beste oplossing is. Als toepasbaarheid niet haalbaar is, is de oplossing bij voorbaat al niet de beste keuze.

Oplossing 6 en 9 zijn de oplossingen waarbij RFID wordt gebruikt. Deze oplossingen hebben los van andere voorwaarden een hoge functionaliteit en een kleine foutkans. Echter is de toepasbaarheid van deze RFID systemen nog lang niet altijd geschikt in staalomgevingen.