

Go with the Flow!

Een onderzoek naar efficiëntieverbetering door lay-out ontwerp voor de assemblageafdeling van Ahrend Productiebedrijf Zwanenburg op basis van het lean productie concept



Juul Jaspers, september 2009

Go with the Flow!

Een onderzoek naar efficiëntieverbetering door lay-out ontwerp voor de assemblageafdeling van Ahrend Productiebedrijf Zwanenburg op basis van het lean productie concept

*Ahrend Productiebedrijf Zwanenburg B.V.
Zwanenburg, september 2009*

Auteur

J.J.T. Jaspers BSc
s0038857
Production & Logistics Management
Industrial Engineering & Management

Afstudeercommissie

Prof.dr.ir. J.J. Krabbendam
Dr. J.M.G. Heerkens

Universiteit Twente
Universiteit Twente

Ir. B. Goossens
Ir. D. Van Egmond-Pennings

Ahrend Productiebedrijf Zwanenburg
Ahrend Productiebedrijf Zwanenburg

"Het enige wat we trachten te doen in lean-productie is een proces laten produceren wat het volgende proces nodig heeft, op het moment dat het dit nodig heeft.

*We proberen alle processen met elkaar te verbinden
– vanaf de eindafnemer tot aan de grondstoffen –
in een vloeiende flow zonder omwegen,
zodat er een zo kort mogelijke doorlooptijd ontstaat,
met de hoogste kwaliteit en de laagste kosten."*

- Mike Rother en John Shook, Leren zien -

Management Samenvatting (Nederlands)

Ahrend Productiebedrijf Zwanenburg (APZ) is nog niet tevreden met de huidige prestatie van de assemblageafdeling. De verwachting is dat de lay-out van invloed is op deze prestatie. Het doel van dit onderzoek is het doen van aanbevelingen voor het ontwerpen van een lay-out voor de assemblageafdeling van Ahrend Productiebedrijf Zwanenburg op basis van het lean productie concept die leidt tot verhoging van de efficiëntie.

Het doel van lean productie is het bereiken van de hoogste kwaliteit met zo laag mogelijke kosten, met de kortste levertijd door het reduceren van verspillingen. Verspillingen zijn activiteiten die geen waarde toevoegen in de ogen van de klant. De zeven verspillingen zijn overproductie, wachttijd, transport, proces, voorraden, beweging en defecten. De verspillingen op de assemblageafdeling kosten APZ een kleine acht euroton per jaar.

Lean schrijft het gebruik van een lijnlay-out voor om flow te stimuleren om omstellingen te reduceren en waarde zichtbaar te laten stromen. Bij APZ zijn de volumes van een specifiek product eigenlijk niet groot genoeg om een productielijn per product te rechtvaardigen. In de huidige situatie heeft ieder product wel een eigen lijn. Om toch de voordelen van een lijnlay-out te behalen, wordt het gebruik van Group Technology (GT) cellen voorgesteld.

Op basis van bewerkingen worden producten geclusterd tot productgroepen. Deze productgroepen krijgen ieder een eigen GT-cel oftewel een productielijn. Er wordt een methode voorgesteld om een nieuwe lay-out op basis van GT-cellen te ontwerpen. Deze methode bestaat uit een vijftal stappen, te weten de clustering tot productielijnen, de lijnbalancerings per productielijn, de aanpassing van de voormontage op de hoofdmontagelij, het regelen van de logistieke aanvoer en tot slot de fysieke lay-out inrichting.

De klantvraag is in lean productie leidend voor het productieproces. De taktijd geeft op basis van de klantvraag het ritme van productie aan. De hoofdmontage wordt op deze taktijd gebalanceerd. De voormontage wordt hierop aangepast.

Clustering van de producten leidt tot zes productielijnen. Dit zijn de bureaustoelenlijn, de bezoekerstoelenlijn, de tafellijn, de schermenlijn, de lounge overig-lijn en de stoelen overig-lijn.

Toepassing van de methode voor de bureaustoelenlijn geeft inzicht in het verbeterpotentieel voor de assemblageafdeling. De huidige efficiëntie ligt op 58%. De theoretisch mogelijke efficiëntie is 87% met dezelfde output. Een haalbaarheidstest in de praktijk laat zien dat de efficiëntie in ieder geval tot 80% moet kunnen stijgen. Dit alles is mogelijk op ongeveer 40% van de huidige oppervlakte.

Geconcludeerd kan worden dat het mogelijk is om de efficiëntie te verhogen door het ontwerp van een lean lay-out. Dit nieuwe lay-out ontwerp op basis van het lean productie concept leidt tot een hogere flexibiliteit in capaciteit, tot een hogere efficiëntie en bijkomend voordeel is dat de productie plaats kan vinden op een kleinere oppervlakte.

Er wordt aanbevolen de nieuwe lay-out voor de bureaustoelenlijn te implementeren en de methode voor lay-out ontwerp ook te gebruiken voor overige productielijnen. De nieuwe lay-out geeft ook richtlijnen voor de toekomst voor implementatie van nieuwe producten.

Management Summary (English)

Ahrend Productiebedrijf Zwanenburg (APZ) is not satisfied with the current performance of the assembly department. APZ assumes that the layout of the department affects this performance. The research goal is to give recommendations for the design of a layout for the assembly department of Ahrend Productiebedrijf Zwanenburg that leads to a better efficiency, based on the lean production concept.

Lean production aims to achieve the highest quality with the lowest costs, with the shortest lead times by eliminating waste. Waste is any activity that doesn't add value for the customer. Seven types of waste are distinguished. These are overproduction, waiting time, process, transportation, inventory, motion and defects. Waste at the assembly department of APZ cost APZ per year a small eight hundred thousand euros.

Lean prescribes the use of a line layout to stimulate flow to reduce setups and to make sure you can see the value stream. At APZ the volumes of specific products aren't large enough to justify a production line per product. In the current situation almost every product does have its own production line. To do achieve the benefits of a line layout, we recommend the use of Group Technology (GT) cells.

By analysing the processing steps, products are being grouped into product groups. Every single group gets an own GT-cell or production line. A method is proposed to develop a new layout based on GT-cells. This method includes five steps. These steps are the grouping to production lines, the line balancing per production line, the adaption of the pre-assembly steps to the assembly line, the organization of the supply and the physical design of the layout.

Customer demand is leading in lean production. The takt time indicates the rhythm of the production based on this customer demand. The assembly line is balanced on this takt time. The design of the pre-assembly steps is adapted to this.

Grouping the products leads to six production lines. These are the lines for the office chairs, normal chairs, desks, screens, other lounge products and other chairs.

When the method for developing a new layout is applied to the production line for the office chairs, we can obtain insight in the possible improvement for the assembly department. The current efficiency is 58%. The theoretical possible efficiency is 87% with the current level of output. A feasibility test shows that the efficiency can at least improve to 80%. These results should be possible at an area that is about 40% of the current layout.

The main conclusion is that it is possible to improve the efficiency by designing a lean layout. This new layout design based on the lean production concept will lead to a higher flexibility in capacity, to a higher efficiency and an additional advantage is that the production can be arranged on a smaller area.

We recommend APZ to implement the new layout for the office chairs and to use the proposed method for layout design for the other production lines. The new layout will also give directions for the future for implementation of new products.

Voorwoord

Beste lezer,

Voor u ligt het rapport waarmee ik de master van mijn studie Industrial Engineering & Management oftewel Technische Bedrijfskunde afrond.

Graag maak ik van de gelegenheid gebruik om een persoonlijk woord tot u te richten. In 2002 startte ik na het VWO met profiel natuur & techniek aan de studie Bedrijfskunde aan de Universiteit Twente. Ik startte met Bedrijfskunde omdat ik bang was dat Technische Bedrijfskunde me naar het werken in een fabriek zou leiden. Hoe anders en ironisch waren de keuzes die ik de jaren erna maakte. Ik besloot na een jaar Bedrijfskunde toch over te stappen naar de studie Technische Bedrijfskunde, ging de master *Production & Logistics Management* doen en eindigde mijn studie met een onderzoek in de *fabriek* van Ahrend.

Eind 2008 startte ik mijn afstudeeronderzoek bij Ahrend Productiebedrijf Zwanenburg. Met werkschoenen met stalen neuzen en een rode Ahrend-trui, begaf ik mij de eerste dagen tussen de mannen –en een enkele vrouw– van de assemblageafdeling. En ik vond het geweldig. Tijdens mijn studie is duidelijk geworden waar mijn passie ligt. Het is mijn drijfveer om samen met een groep mensen het bedrijfsresultaat te verbeteren door slimmer te werken. En bij Ahrend lagen en liggen de kansen hiervoor voor het oprapen.

Met trots presenteer ik in dit rapport de resultaten van mijn afstudeeronderzoek, getiteld "Go with the Flow! Een onderzoek naar efficiëntieverbetering door lay-out ontwerp voor de assemblageafdeling van Ahrend Productiebedrijf Zwanenburg op basis van het lean productie concept". Mijn conclusie is dat deze fabriek slimmer kan werken en daarmee verbazingwekkende verbeterlagen kan maken.

Uiteraard heb ik mijn studie en mijn afstudeeronderzoek niet alleen gedaan. Ten eerste wil ik mijn afstudeercommissie van de Universiteit Twente, bestaande uit Koos Krabbendam en Hans Heerkens hartelijk bedanken voor de begeleiding van dit onderzoek. Ik heb vooral veel steun gehad bij het zoeken naar de juiste structuur voor dit verslag.

Ik wil bij Ahrend iedereen bedanken met wie ik heb samengewerkt. Allereerst is daar Diana, die mij de mogelijkheid gaf om een afstudeeropdracht op haar afdeling te komen doen en me alle vrijheid gaf alle kansen op de assemblageafdeling zelf te bekijken. Daarnaast wil ik Bart bedanken, die mij gedurende mijn onderzoek begeleid heeft en in de gaten hield of het onderzoek de gewenste richting opging. Ik had mijn werk niet zo goed kunnen doen als ik niet alle medewerking had gehad van de assemblagemedewerkers zelf. Zonder jullie allemaal bij naam te noemen, bedankt! Ik wil Lisette bedanken voor haar hulp en verder iedereen die ik bij Ahrend heb mogen spreken en die alle beschikbare informatie met mij wilden delen. Zonder jullie hulp was dit rapport niet zo compleet geworden. Last but not least, waren mijn "kamergenoten" Hans, Gio, Mario, Perry en Emma een welkome werkomgeving waar ik de grootste lol mee heb beleefd. Thanks!

Ook tijdens de rest van mijn studie zijn er tientallen mensen die mij door dik en dun hebben gesteund. Zonder jullie bij naam te noemen, weet een ieder om wie het gaat. Jullie zijn me heel dierbaar. In het bijzonder wil ik dan toch nog mijn ouders en Rink bedanken. Gewoon, voor alles. Ik wens u veel leesplezier,

Met vriendelijke groeten,

Juul Jaspers

Inhoudsopgave

Management Samenvatting (Nederlands)	6
Management Summary (English)	7
Voorwoord	9
Inhoudsopgave	10
1 Inleiding	13
1.1 Projectkader: Ahrend Productiebedrijf Zwanenburg	14
1.1.1 Koninklijke Ahrend NV	14
1.1.2 Ahrend Productiebedrijf Zwanenburg BV	15
1.1.3 Productie APZ	16
1.1.4 Assemblageafdeling APZ	17
1.2 Aanleiding	18
1.3 Doelstelling	20
1.4 Onderzoeksvragen.....	21
1.5 Probleemaanpak en gegevensverzameling	22
1.6 Leeswijzer.....	25
1.7 Leeswijzer voor praktisch gebruik	25
2 Theoretisch kader	26
2.1 Lean productie.....	26
2.1.1 Toyota Production System	26
2.1.2 Verspillingen elimineren en continu verbeteren.....	29
2.2 Lay-out typen	30
2.2.1 Vier typen lay-out	30
2.2.2 Keuze lay-out type	32
2.3 Lean productie in lay-out ontwerp.....	33
2.3.1 One Worker, Multiple Machine cellen	33
2.3.2 Group Technology cellen	34
2.3.3 Taktijd.....	34
2.3.4 Lijnbalancerings	35
2.3.5 Logistieke aanvoer	38
2.4 Voorwaarden voor succesvolle implementatie lean productie	41
2.5 Een kritische noot	42
2.6 Samenvatting	43
3 Randvoorwaarden en wensen aan lay-out ontwerp	44
3.1 Randvoorwaarden en wensen aan lay-out ontwerp door APZ	44
3.1.1 Strategie APZ	44
3.1.2 Financiën	45
3.1.3 Inkoop.....	46
3.1.4 Personeel & Organisatie	46
3.1.5 Productontwikkeling	47
3.1.6 Productie	47
3.1.7 Logistiek	49
3.2 Wensen aan lay-out ontwerp door analyse knelpunten assemblageafdeling APZ door middel van lean productie technieken.....	50
3.2.1 Value Stream Map	50
3.2.2 Verspillingen in het huidige proces.....	51
3.2.3 Samenvatting: wensen aan lay-out ontwerp.....	52
3.3 Samenvatting	52

4	Methode voor lay-out ontwerp	53
4.1	Lean oplossing voor APZ	53
4.2	Clustering	53
4.2.1	Production Flow Analysis voor APZ	54
4.2.2	Stappenplan "clustering"	55
4.3	Lijnbalanceren	56
4.3.1	Karakteristieken assemblageafdeling APZ	56
4.3.2	Multi Assembly Line Balancing Problem voor APZ	57
4.3.3	Stappenplan "lijnbalanceren"	58
4.4	Voormontage	62
4.4.1	Voormontages bij APZ	62
4.4.2	Stappenplan "voormontage"	63
4.5	Logistieke aanvoer	64
4.5.1	Logistieke aanvoer bij APZ	64
4.5.2	Stappenplan "logistieke aanvoer"	65
4.6	Lay-out inrichting	66
4.6.1	Lay-out inrichting bij APZ	66
4.6.2	Stappenplan "lay-out inrichting"	67
4.7	Samenvatting	67
5	Resultaten	68
5.1	Clustering	68
5.1.1	Aannames clustering	68
5.1.2	Resultaten clustering	68
5.2	Lijnbalanceren	69
5.2.1	Aannames lijnbalanceren	70
5.2.2	Resultaten lijnbalanceren	70
5.3	Voormontage	72
5.3.1	Aannames voormontage	72
5.3.2	Resultaten voormontage	72
5.4	Logistieke aanvoer	73
5.4.1	Aannames logistieke aanvoer	73
5.4.2	Resultaten logistieke aanvoer	73
5.5	Lay-out inrichting	74
5.5.1	Aannames lay-out inrichting	74
5.5.2	Resultaten lay-out inrichting	74
5.6	Theoretisch mogelijke verbeteringen	74
5.6.1	Efficiëntie	74
5.6.2	Oppervlakte	75
5.7	Haalbaarheidstest in de praktijk	75
5.7.1	Haalbaarheidstest door lean-inrichting huidige productielijn	75
5.7.2	Haalbaarheidstest door kleine benchmark	75
5.8	Resultaten	76
5.8.1	Efficiëntie	76
5.8.2	Terugverdiëntijd	76
5.8.3	Oppervlakte	76
5.9	Gevolgen implementatie	76
5.9.1	Gevolgen voor APZ voor overige functies	77
5.9.2	Gevolgen voor verspillingen en doorstroom	79
5.10	Samenvatting	80
6	Conclusie en aanbevelingen	81
6.1	Conclusie	81
6.2	Aanbevelingen voor implementatie	81
6.3	Ex-ante evaluatie	82
6.4	Discussie en aanbevelingen voor verder onderzoek	83

Bronvermelding	85
Bijlage A Verkoopaantallen 2008	87
Bijlage B Probleemkluwen.....	88
Bijlage C Klantordergestuurde productieproces	90
Bijlage D Randvoorwaarden en wensen aan lay-out ontwerp	92
Bijlage E Value Stream Map	94
Bijlage F Berekening verspillingen	98
Bijlage G Stappenplan lay-out ontwerp	104
Bijlage H Uitwerking clustering	108
Bijlage I Uitwerking lijnbalancerings	112
Bijlage J Uitwerking voormontage	116
Bijlage K Uitwerking lay-out inrichting	118
Bijlage L Checklist ter implementatie nieuwe productielijn.....	120

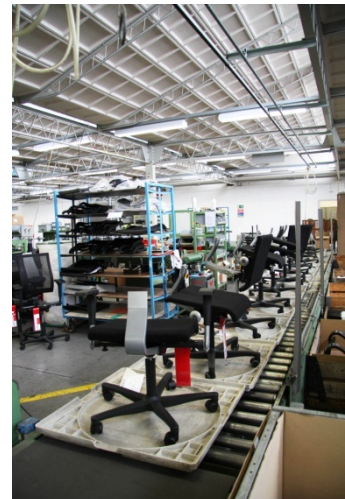
1 Inleiding

In 2008 slaat de economische crisis in de hele wereld in als een bom. Sinds de tweede wereldoorlog kende Nederland niet een zodanige grote krimp van de economie¹. Ook Ahrend is getroffen door een verminderde vraag naar bureaumeubels. Op alle mogelijke manieren zal gewerkt moeten worden naar het einde van de crisis: hoe kom je er sterker uit dan je erin ging? Ook in de fabrieken van Ahrend speelt deze vraag. Binnen Ahrend Productiebedrijf Zwanenburg (APZ) wordt door geleidelijke invoering van het lean productie concept – een Japanse productiefilosofie die leidt tot productiviteitsverhoging en kwaliteitsverbetering – getracht het productiesysteem slimmer in te richten. De eerste resultaten in efficiëntieverhoging en daarmee kostenbesparing zijn begin 2009 reeds bereikt.

Het doel van dit onderzoek is aan deze verbetering een bijdrage te leveren door het doen van aanbevelingen voor lay-out ontwerp voor de assemblageafdeling van APZ op basis van het lean manufacturing concept teneinde de efficiëntie te verhogen.

Bij APZ worden bureaustoelen, bezoekerstoelen, schoolmeubilair, tafels en schermen geproduceerd. Daartoe bestaan vier productieafdelingen, te weten de frameproductie, stofsets, bladen en assemblage. Op de assemblageafdeling vindt de assemblage plaats van de verschillende halffabricaten en onderdelen tot eindproducten die aan de klant geleverd worden. In de rest van dit hoofdstuk volgt meer over de structuur van Ahrend en APZ.

De assemblageafdeling van APZ bestaat uit een twintigtal productielijnen. De meeste van deze productielijnen komen uit op een afvoerband waarop de eindproducten vervoerd worden naar de expeditiehal. Het aansturingssysteem – ofwel de software – van deze afvoerband is verouderd, waardoor de kans op uitval hoog is. De uitdaging is om van deze bedreiging een kans te maken. Vervanging van de software van het banensysteem biedt immers de mogelijkheid om vervanging van het gehele banensysteem – inclusief de fysieke band – te overwegen en daarmee ook de gehele lay-out van de afdeling te evalueren. Nu meer dan ooit moeten daar waar mogelijk prestatieverbeteringen gerealiseerd worden en kosten bespaard worden.



Figuur 1-1 Productielijn op de assemblageafdeling

APZ verwacht dat verbetering in de lay-out mogelijk is. De huidige lay-out biedt weinig overzicht, er lijken veel onnodige voorraden te zijn en de zoek- en looptijd lijkt langer dan nodig. Door deze niet-waardetoevoegende activiteiten worden de belangrijkste Kritische Prestatie Indicatoren (KPI's) van Ahrend – de kwaliteit, leverbetrouwbaarheid en de efficiëntie – negatief beïnvloed.

Dit hoofdstuk schetst de praktische context waarin het onderzoek plaatsvindt en de onderzoeksopzet. Paragraaf 1.1 start daartoe met de behandeling van een beschrijving van Ahrend NV en APZ in het bijzonder. Vanaf paragraaf 1.2 wordt de opzet van het verslag verder uitgewerkt. Hierbij is gebruik gemaakt van Heerkens (2004). Ook is Baarda en De Goede (2006) geraadpleegd. Er wordt gestart met de aanleiding van het onderzoek in paragraaf 1.2. Daarna volgt de doelstelling van dit onderzoek en volgen bijbehorende onderzoeksvragen. Tot slot komt de wijze waarop deze onderzoeksvragen beantwoord gaan worden aan de orde in de probleemaanpak. Dit hoofdstuk wordt afgesloten met een tweetal leeswijzers voor de rest van het verslag.

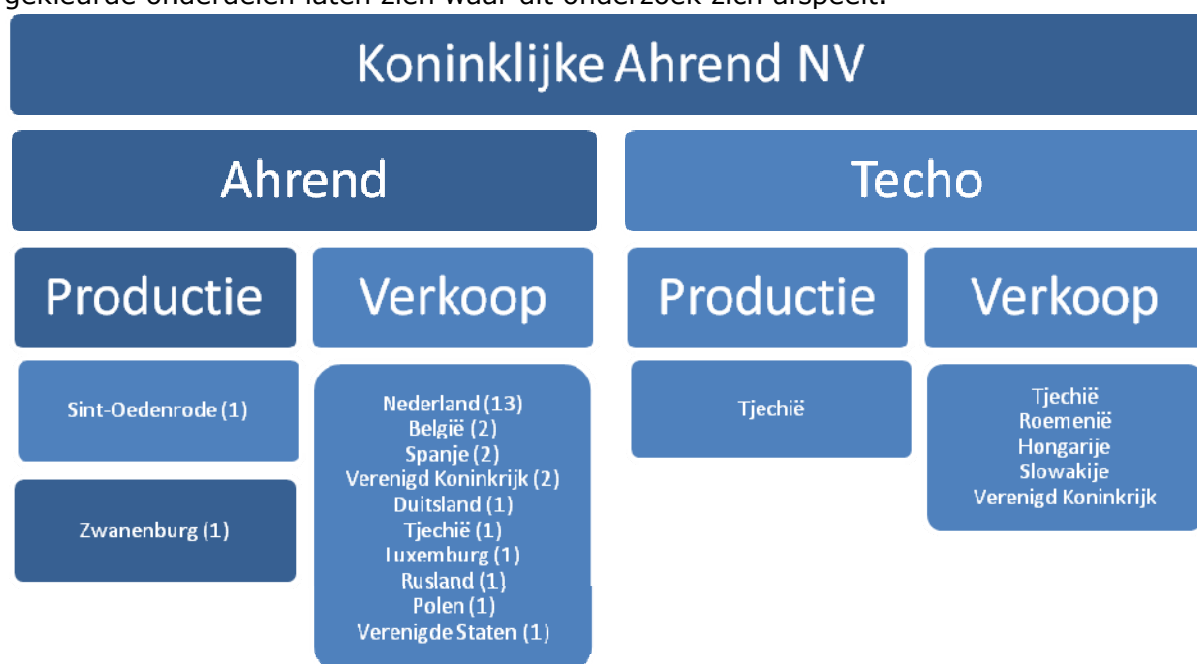
¹ 4,5% krimp in het eerste kwartaal van 2009, bron: <http://www.cbs.nl/nl-NL/menu/themas/dossiers/conjunctuur/publicaties/artikelen/archief/2009/2009-038-pb.htm>, geraadpleegd op 26 mei 2009

1.1 Projectkader: Ahrend Productiebedrijf Zwanenburg

In dit onderdeel wordt het praktische projectkader geschetst. Dit onderzoek vindt plaats bij Ahrend Productiebedrijf Zwanenburg en dan specifiek op de assemblageafdeling. APZ is één van de twee Nederlandse fabrieken van Koninklijke Ahrend NV. Daarom start deze paragraaf met achtergrondinformatie over Ahrend NV, daarna volgt een paragraaf over APZ en over de productie. Tot slot wordt specifiek de assemblageafdeling behandeld.

1.1.1 Koninklijke Ahrend NV

Koninklijke Ahrend NV is een internationale onderneming op het gebied van kantoorinrichting. Koninklijke Ahrend NV kent twee merken: Ahrend en Techo. Techo is marktleider in kantoorinrichting in Midden- en Oost-Europa. Ahrend is marktleider in de Benelux en in totaal in tien landen actief met eigen verkooporganisaties. In Nederland zijn 13 verkoopcentra. In de twee productiebedrijven in Sint-Oedenrode en Zwanenburg worden eigen kantoormeubelen ontworpen en geproduceerd. Dit onderzoek richt zich op Ahrend Productiebedrijf Zwanenburg. Figuur 1-2 geeft een samenvatting. De donker gekleurde onderdelen laten zien waar dit onderzoek zich afspeelt.



Figuur 1-2 Organigram Koninklijke Ahrend NV

Ahrend wil een internationale topspeler zijn voor de werkomgeving. De visie die Ahrend heeft om dit te bereiken, kan als volgt worden samengevat: continue verbetering mogelijk maken, luisteren naar wensen en behoeften van klanten in grote lijnen en in details om te werken aan toekomstgerichte oplossingen en te zorgen voor een goede kwaliteit van de werkomgeving.

Koninklijke Ahrend NV heeft wereldwijd ongeveer 1500 medewerkers. Hiervan zijn ruim 900 mensen actief in Nederland. De omzet in 2007 bedroeg voor Ahrend 270 miljoen euro, met een bedrijfsresultaat van 23 miljoen euro. Tabel 1-1 geeft een samenvatting van de kerncijfers van Ahrend in 2007.

Kerncijfers 2007	
Omzet totaal	269,8
Omzet kantoorartikelen en repro	173,9
Bedrijfsresultaat	22,8
Aantal medewerkers Nederland	906
Aantal FTE Nederland	842,8

Tabel 1-1 Kerncijfers 2007 Ahrend in miljoen Euro

De huidige economische recessie heeft grote invloed op Ahrend. Kantoorinrichting is voor klanten een van de eerste besparingen, waardoor een grote daling van de klantvraag vroeg in een recessie plaatsvindt. Hierdoor en door een daling van de verkoopprijzen is het resultaat in 2008 en begin 2009 drastisch gedaald. De verwachting is dat de markt laatcyclisch weer aan zal trekken en de grote vraag is wanneer dit zal zijn. Om de huidige situatie het hoofd te kunnen bieden is begin 2009 een reorganisatie aangekondigd die in de loop van 2009 voltooid zal zijn. Ook APZ heeft te maken met de gevolgen van de reorganisatie.

1.1.2 Ahrend Productiebedrijf Zwanenburg BV

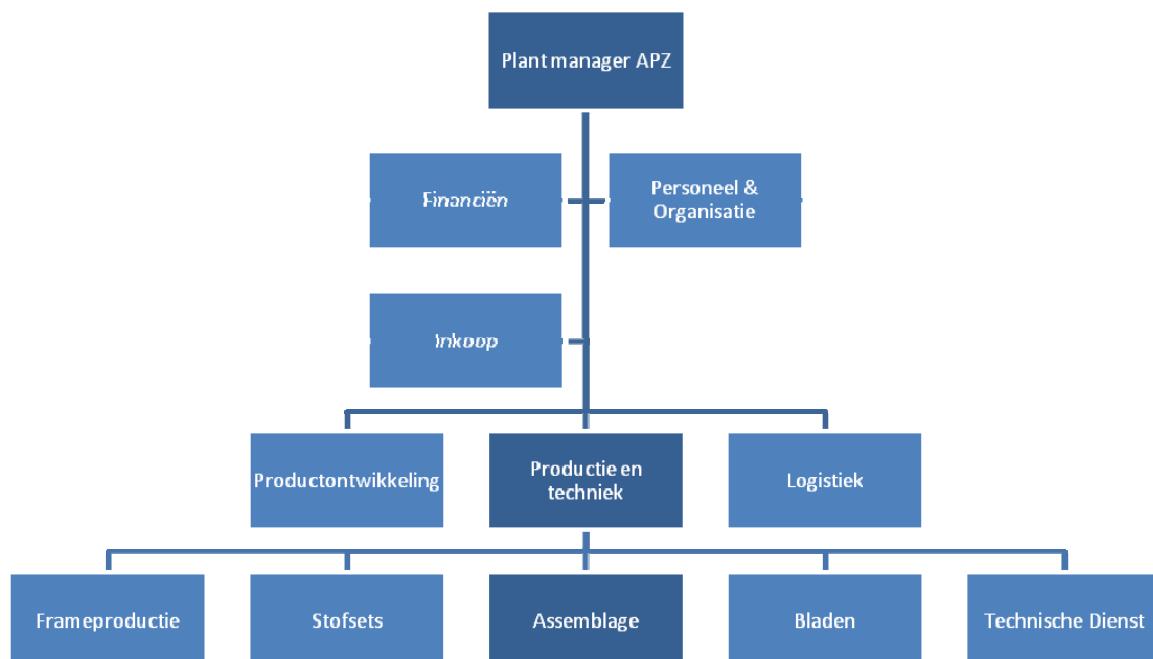
Ahrend Productiebedrijf Zwanenburg bestaat sinds 1934. APZ ontwikkelt, produceert en distribueert (kantoor-)stoelen, scheidingswanden, tafels, bureau- en tafelbladen. APZ heeft circa 220 vaste medewerkers in dienst, aangevuld met gemiddeld circa vijftig flexmedewerkers. In de huidige economische situatie is het aantal flexmedewerkers teruggebracht tot nul.



Figuur 1-3 Luchtfoto van APZ

1.1.2.1 Structuur

Figuur 1-4 laat zien hoe de organisatie van APZ eruit ziet. Overigens gaat deze in 2009 veranderen door de aangekondigde reorganisatie. Dit onderzoek vindt plaats binnen productie en techniek op de afdeling assemblage.



Figuur 1-4 Relevante deel organigram Ahrend Productiebedrijf Zwanenburg

1.1.2.2 Productportfolio

In 2007 werden zo'n 327.500 producten geproduceerd. Deze zijn onder te verdelen in stoelen, tafels, scheidingswanden en bureaubladen. Tabel 1-2 geeft het onderscheid in aantallen per productsoort.

Product	Aantal
Stoelen	175.000
Tafels	14.500
Scheidingswanden	23.000
Bureaubladen	115.000

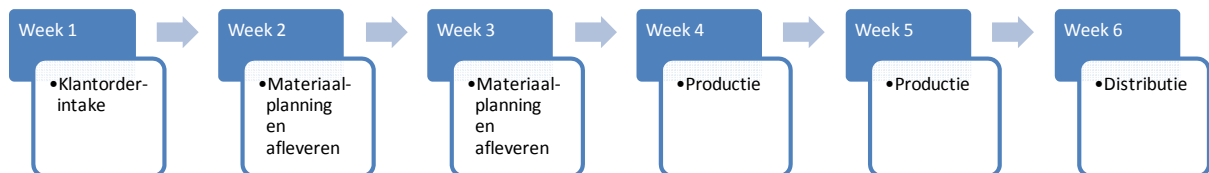
Tabel 1-2 Verkoop aantallen in 2007 per productsoort

1.1.2.3 Besturing

APZ heeft voor 2008 en 2009 een viertal KPI's benoemd: de kwaliteit, leverbetrouwbaarheid en flexibiliteit om klanttevredenheid te behalen en als vierde de efficiëntie in alle activiteiten om het bedrijfsresultaat te vergroten. Hiertoe worden de volgende strategieën toegepast:

- Concentratie op producten en activiteiten met hoge toegevoegde waarde
- Klantordergerichte productie volgens het Just in Time principe vertaald naar het 1:1 Dag-Batch Systeem
- Productontwikkeling gericht op ergonomie, design en prijs/kwaliteit verhouding

Wanneer een klant een order plaatst, wordt de eerste week besteed aan het verwerken van de orders. De tweede en derde week zijn gereserveerd voor materiaalplanning en -aflevering. In week 4 en 5 wordt het product geproduceerd zodat het in week 6 geleverd kan worden. Figuur 1-5 vat dit logistieke besturingssysteem samen.



Figuur 1-5 Logistieke besturingssysteem

De focus van dit onderzoek ligt op de productie en wordt in de volgende paragraaf verder toegelicht.

1.1.3 Productie APZ

Een deel van de productie vindt bij APZ plaats voor het klantorderontkoppelpunt en een deel erna. Er wordt naar gestreefd de productie zoveel mogelijk na het klantorderontkoppelpunt plaats te laten vinden.

De deelprocessen van de productieactiviteiten die voor het klantorderontkoppelpunt plaatsvinden, zijn:

- Metaalbewerken: Uit stalen buis en coil en profielen van aluminium en kunststof worden onderdelen voor stoelen, scheidingswanden en tafels gezaagd, gebogen, geperst en geponst.
- Kussens schuimen: Uit polyol en isocyanaat worden kussens voor de zittingen en ruggen van de stoelen gefabriceerd.

De deelprocessen van de productieactiviteiten na het klantorderontkoppelpunt zijn:

- Lassen: Uit stalen onderdelen worden halffabricaten samengesteld voor stoelen, scheidingswanden en tafels.
- Lakken: Halffabricaten van staal en aluminium worden ontvet en gepoedercoat in de gewenste kleur.
- Stofsnijden: Uit stofrollen worden de panden voor de stofferingen en de juiste lengtes stof voor de scheidingswanden gesneden.
- Stofferen: Uit de gesneden stofdelen worden hoezen gestikt en worden zit- en rugkussens gestoffeerd, tevens worden panelen voor de scheidingswanden bekleed.
- Assembleren: Uit toegeleverde halffabricaten en ingekochte onderdelen worden stoelen, scheidingswanden en tafels samengesteld.

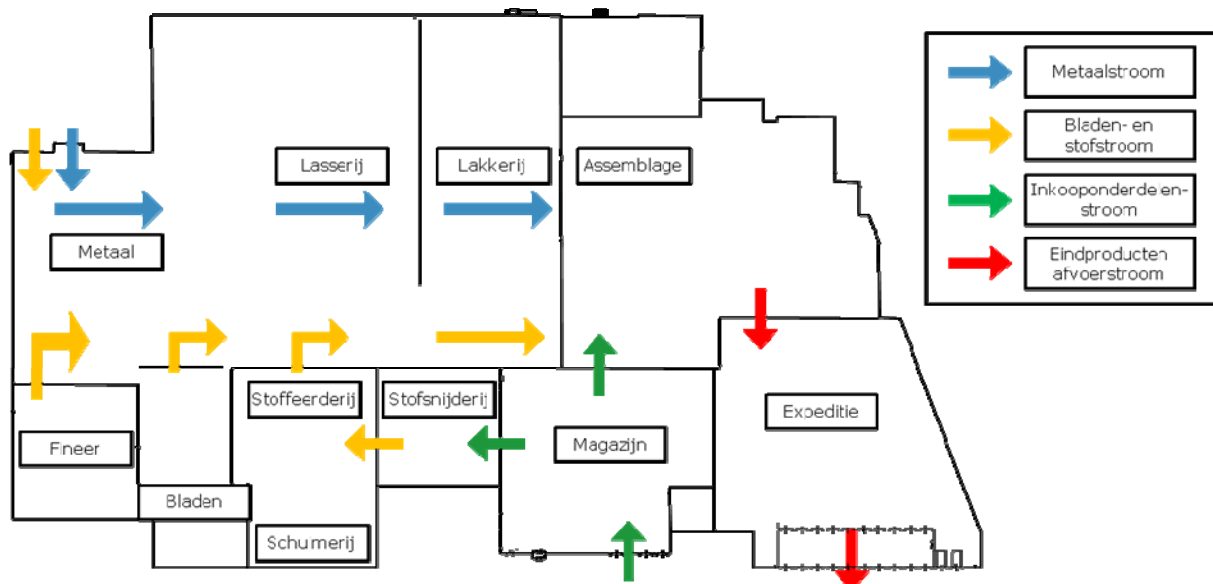
Voor deze activiteiten geldt: wat vandaag gelast wordt, wordt morgen gelakt en overmorgen geassembleerd. Het stofsnijden kent twee dagen doorlooptijd, intern stofferen twee dagen en extern stofferen vijf of elf dagen doorlooptijd, afhankelijk van de leverancier. Wat gesneden is, wordt morgen en de dagen erna gestoffeerd en na stofferen vindt de assemblage plaats. Dit heet het zogenaamde 1:1 Dag-Batch systeem. In bijlage C is dit klantorder gestuurde productieproces in de tijd weergegeven.

De productie van de bladen vindt weliswaar na het klantorderontkoppelpunt plaats, maar de productie vindt wel langere tijd van tevoren plaats, zodat de productie van verschillende klantorders geclusterd kan worden.

- Bladenproductie: Uit grondstofplaten volkern worden bladen in allerlei vormen gezaagd en gefreesd en deels met hout gefineerd en gelakt.

De verantwoordelijkheid voor de verschillende productieprocessen ligt bij het afdelingshoofd van de betreffende afdeling. Deze verantwoordelijkheid reikt tot en met de aflevering aan de volgende afdeling. Dit heet leverplicht. Primaire doelstellingen bij de levering zijn kwaliteit en leverbetrouwbaarheid, geproduceerd op een verantwoorde manier.

Figuur 1-6 geeft een bovenaanzicht van de productiefaciliteiten in de fabriek met de fysieke productiestromen.

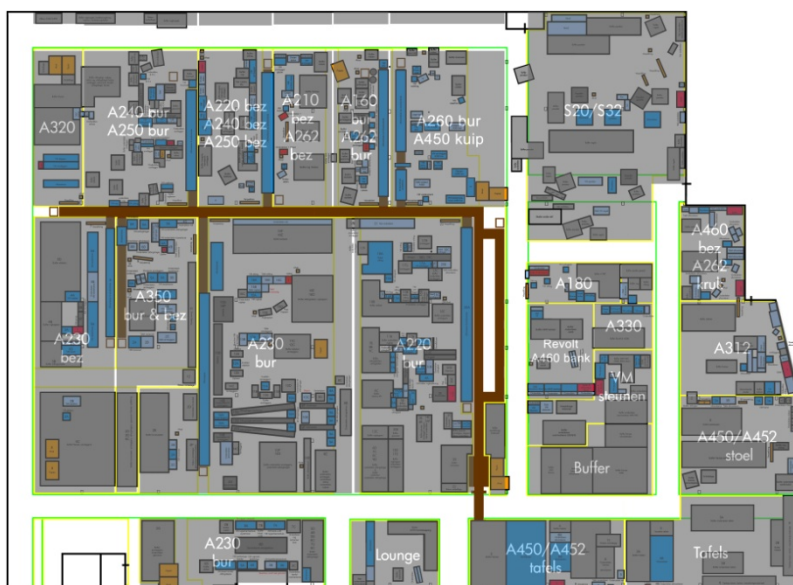


Figuur 1-6 Fysieke materiaalstromen binnen APZ

1.1.4 Assemblageafdeling APZ

Op de assemblageafdeling worden ongeveer 40 verschillende producten geproduceerd waarvan het aantal varianten per productsoort verschilt van vier voor een Revolt stoel tot een paar miljard voor een A230 bureaustoel. In 2008 zijn 192.442 producten geassembleerd. De producten worden op 22 zogenaamde "afdelingen" geproduceerd. In het vervolg zullen we deze afdelingen productielijnen noemen. In bijlage A staan de verkoopcijfers van 2008 van de verschillende producten opgesplitst naar de verschillende productielijnen. In

Figuur 1-7 is de huidige lay-out van de assemblageafdeling weergegeven. De blauwe gedeeltes geven de werkplekken weer, de grijze gedeeltes zijn voorraden en de bruine lijn is de afvoerband.



Figuur 1-7 Huidige lay-out assemblageafdeling

De assemblageafdeling wordt door vier afdelingen beleverd. Metaal- en aluminiumdelen komen direct van de lakkerij, stofsets komen van de interne stoffeerderij, bladen van de bladenafdeling en inkoopdelen komen uit het magazijn. Deze aanvoerstromen komen op twee locaties de assemblagehal binnen. De aanvoer geschiedt op karren.

Alle eindproducten gaan naar de expeditiehal. Het grootste deel van de producten wordt via een automatische afvoerband geleid. De overige eindproducten gaan via pallets en karren richting de expeditiehal.

1.2 Aanleiding

De rest van het hoofdstuk bevat de onderzoeksoepzet. Deze paragraaf start met de aanleiding van het onderzoek.

APZ is nog niet tevreden met de huidige behaalde resultaten. De prestatie van het bedrijf wordt gemeten met behulp van de belangrijkste Kritische Prestatie Indicatoren (KPI's) van APZ: kwaliteit, leverbetrouwbaarheid en efficiëntie. In Tabel 1-3 staat de toelichting op deze KPI's in de vorm van een definitie die gebaseerd is op de feitelijke metingen. In 2008 zijn de waarde van de KPI's wekelijks geregistreerd. Op basis hiervan is een gemiddelde prestatie berekend. Deze prestatie kan vergeleken worden met het doel dat APZ in 2008 en 2009 nastreeft te behalen. De prestatie van de assemblageafdeling wordt binnen APZ als verantwoordelijke eindafdeling als fabrieksscore bekeken.

KPI	Definitie, gemeten als	Gemiddeld in 2008	Doel
Kwaliteit	Het percentage van het totaal aantal producten dat op basis van vooraf gestelde kwaliteitseisen goedgekeurd wordt. (Hiertoe wordt van alle geassembleerde producten een steekproef van minimaal 3% genomen en beoordeeld op kwaliteit, met een betrouwbaarheid van 90% en een nauwkeurigheid van plus of min 2%).	93,9%	98%
Leverbetrouwbaarheid	Het percentage van het totaal aantal orders dat op de afgesproken tijd (kan een week of dag zijn) volledig aan de klant geleverd is. NB. Tot een dag voor afgesproken levering kan de afgesproken tijd nog aangepast worden, zonder dat dit invloed heeft op de leverbetrouwbaarheid. Dit worden herplanningen genoemd.	96,9%	98%

KPI	Definitie, gemeten als	Gemiddeld in 2008	Doel
Efficiëntie	Het percentage van het totaal aantal beschikbare directe uren (alle uren minus laatkomers, ziekte, vrije dagen, artsbezoek en indirecte uren als leidinggeven, planning, transport en administratie) dat resulteert in productie. (Berekend op basis van normtijden toegekend per type product)	57,6%	65-70%

Tabel 1-3 Definitie belangrijkste KPI's met de score in 2008 en het doel

In Tabel 1-3 is te zien dat de meeste potentie ligt in de verbetering van de efficiëntie. We streven in dit onderzoek specifiek om de efficiëntie te verhogen. We kiezen ervoor om niet op de andere twee KPI's te focussen omdat juist de efficiëntie in deze tijd van belang is om te overleven. Bovendien is de leverbetrouwbaarheid al redelijk op niveau en wordt deze ook gedeeltelijk beïnvloed door de efficiëntie, is het lastig om kwaliteitsverbetering op basis van een lay-out wijziging te voorspellen en te meten en wordt bovendien het grootste deel van de kwaliteit verklaard door aandacht en kennis van de monteurs.

APZ verwacht dat de huidige lay-out van de assemblageafdeling een bijdrage levert aan de niet-optimale prestatie van de afdeling. Om inzicht te krijgen in deze relatie en om te bepalen of de lay-out daadwerkelijk invloed heeft op de prestatie, is in bijlage B een probleemkluwen te zien. De probleemkluwen heeft als doel om inzicht te geven in de problemen die aanwezig zijn op de afdeling en hoe deze met elkaar samenhangen. De problemen zijn met elkaar verbonden door middel van pijlen die causale relaties aanduiden. De probleemkluwen is tot stand gekomen door gesprekken met medewerkers, voormannen, afdelingshoofden van verschillende afdelingen en waarneming door de onderzoeker. De probleemkluwen is aangescherpt door met het afdelingshoofd van de assemblageafdeling te bepalen of problemen daadwerkelijk aanwezig zijn en of de relaties tussen de problemen ook daadwerkelijk ervaren worden. De probleemkluwen in Figuur B-1 laat zien hoe verschillende oorzaken zijn aan te wijzen die de resultaten beïnvloeden.

In de kluwen is te zien dat de lay-out inderdaad invloed heeft op de prestatie van de afdeling. Ten eerste heeft het ontbreken van een standaardmethode om een lay-out te ontwikkelen als gevolg dat niet duidelijk is wat eigenlijk de productiewensen zijn waardoor bij het ontwerp van een nieuw product geen rekening gehouden kan worden met deze wensen. Ook is bij invoering van een nieuw product niet duidelijk waar en hoe dit product het slimst geproduceerd kan worden.

Doordat niet duidelijk is hoe de lay-out in te richten, zijn in de loop van tijd veel productielijnen ontstaan. Hierdoor ontstaan planningsrestricties doordat voor sommige lijnen de capaciteit te laag is om de vraag per dag volledig op te draaien en er aan de andere kant voor langzaamlopende lijnen te weinig flexibiliteit is om deze productielijn op te starten voor een paar producten.

Daarnaast zullen besluiten om investeringen te doen voor een slimmere productie langer op zich laten wachten, omdat deze investeringen niet snel rendabel zullen zijn wanneer ze alleen voor de productie van één specifiek product gedaan worden.

Tot slot wordt geen optimale efficiëntie behaald doordat veel loop- en zoektijd ontstaat door de huidige "onoverzichtelijke" lay-out. Ook heeft de hoge omsteltijd invloed op de efficiëntie.

1.3 Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is om aanbevelingen te doen voor het ontwerpen van een lay-out voor de assemblageafdeling van APZ. APZ kiest ervoor dit in lijn te doen met het lean productie concept, omdat dit de strategie is die gekozen is om de productie in te richten. Dit concept leent zich overigens erg goed voor de inrichting voor een fabriek als deze. Meer over deze theorie volgt in het volgende hoofdstuk.

De doelstelling van het onderzoek kan als volgt worden samengevat:

Het doel van dit onderzoek is het doen van aanbevelingen voor het ontwerpen van een lay-out voor de assemblageafdeling van Ahrend Productiebedrijf Zwanenburg op basis van het lean productie concept die leidt tot verhoging van de efficiëntie.

We lichten de begrippen lay-out en efficiëntie verder toe. Uitleg over het lean productie concept volgt in hoofdstuk 2.

1.3.1.1 Lay-out

Er zijn verschillende definities van een lay-out te noemen. Drie ervan zijn:

- Buffa et al (1987): The facility layout is the integrating phase of the design of productive systems. It is the physical expression of technological choices, the capacity requirements, the process and job designs, the material handling, and the communication systems that interconnect the processes.
- Botter (1993): een lay-out is te zien als een ruimtelijke groepering en ordening van mensen, machines en goederen in een begrensde ruimte.
- Slack et al (2007): Een lay-out is de manier waarop de transformerende middelen (middelen die producten bewerken) ten opzichte van elkaar gepositioneerd zijn en de manier waarop de verschillende taken zijn geplaatst ten opzichte van deze transformerende middelen. Samen bepalen ze de stroom van bewerkte grondstoffen door de operatie of het proces.

De definities verschillen in detail van elkaar. In alle definities komt terug dat het gaat om de positie van product, hulpmiddelen en mensen ten opzichte van elkaar. In dit specifieke geval gaat het om een begrensde ruimte. Alleen in de definitie van Botter (1993) is deze begrensde ruimte meegenomen. Als leidraad voor dit onderzoek nemen we de definitie van Botter (1993).

1.3.1.2 Efficiëntie

De efficiëntie wordt bij APZ gemeten als het percentage van het totaal aantal beschikbare directe uren (alle uren minus laatkomers, ziekte, vrije dagen, artsbezoek en indirecte uren als leidinggeven, planning, transport en administratie) dat resulteert in productie (berekend op basis van normtijden toegekend per type product).

Deze definitie vraagt om verdere analyse:

Per dag wordt er voor een fulltime kracht 8 uur productietijd gerekend. In werkelijkheid is deze persoon echter 7 uur en 35 minuten inzetbaar voor werk, omdat hij/zij 25 minuten pauze van de baas krijgt.

Per product is gemeten hoe lang iemand gemiddeld doet over de bewerkingen die nodig zijn om de producten te assembleren. In de uiteindelijke normtijd is nog 8% voor "extra handelingen" opgeteld en daarbovenop nog 13% voor rust en persoonlijke verzorging. De volgende vergelijkingen geven de efficiëntiemetingen weer.

$$\text{Efficiëntie}(\%) = \frac{\text{normtijd per product} \times \# \text{ producten output}}{\text{productietijd} \times \# \text{ FTE input}} \times 100\%$$

$$\text{Efficiëntie}(\%) = \frac{(\text{bewerkingstijd} + 8\% \text{ extra hand.} + 13\% \text{ rust en pv}) \times \# \text{ producten output}}{(7 \text{ uur en } 35 \text{ minuten productietijd} + 25 \text{ minuten pauzetijd}) \times \# \text{ FTE input}} \times 100\%$$

extra hand. = extra handelingen

pv = persoonlijke verzorging

De definitie doet dus vermoeden dat iemand 13% van zijn werktijd kan besteden aan toiletbezoek, de koffieautomaat of pauze en dan nog steeds 100% efficiëntie kan draaien. Dit is echter niet het geval! Ongeveer 5% van de 13% is al besteed aan verplichte pauzetijd.

Een andere manier om de efficiëntie te meten is het aantal FTE te bepalen dat nodig is om een bepaalde output te genereren. Een derde definitie is dus:

Efficiëntie = Output in aantal producten geproduceerd door # FTE

1.4 Onderzoeksvragen

Om tot een oplossing van het probleem te komen, zijn onderzoeksvragen opgesteld waarvan de antwoorden de benodigde kennis voor het onderzoek verschaffen.

1. Wat is lean productie, hoe kan de theorie worden toegepast op lay-out ontwerp en wat zijn de voorwaarden voor toepassing van het lean-concept op het lay-out ontwerp?
 - a. Wat is lean productie?
 - b. Wat zijn de mogelijkheden voor de lay-out van een productieproces?
 - c. Hoe is het lean productie concept toe te passen op lay-out ontwerp?
 - d. Wat zijn de voorwaarden voor implementatie van een lay-out op basis van het lean productie concept?
2. Welke randvoorwaarden en wensen worden door APZ aan lay-out ontwerp gesteld en welke wensen volgen uit een analyse van de huidige knelpunten en verspillingen van de assemblageafdeling?
 - a. Welke randvoorwaarden en wensen aan lay-out ontwerp worden door APZ gesteld?
 - b. Wat zijn de knelpunten en verspillingen in de huidige lay-out van de assemblageafdeling?
 - c. Wat zijn de wensen die volgen uit de knelpunten en verspillingen in de huidige lay-out van de assemblageafdeling?
3. Welke oplossing biedt het lean productie concept voor lay-out ontwerp voor APZ en welke gegevens en ontwerpstappen zijn nodig voor lay-out ontwerp op basis van het lean productie concept?
 - a. Welke oplossing biedt het lean productie concept voor lay-out ontwerp gegeven de gestelde randvoorwaarden en wensen?
 - b. Welke gegevens zijn nodig voor ontwerp van een lay-out op basis van het lean productie concept?
 - c. Welke ontwerpstappen zijn nodig voor ontwerp van een lay-out op basis van het lean productie concept?
4. Wat is het verbeterpotentieel voor APZ door implementatie van een lay-out op basis van het lean productie concept?
 - a. Wat is het theoretisch verbeterpotentieel door lay-out ontwerp op basis van het lean productie concept?
 - b. Wat is het waargenomen verbeterpotentieel door een haalbaarheidstest in de praktijk?

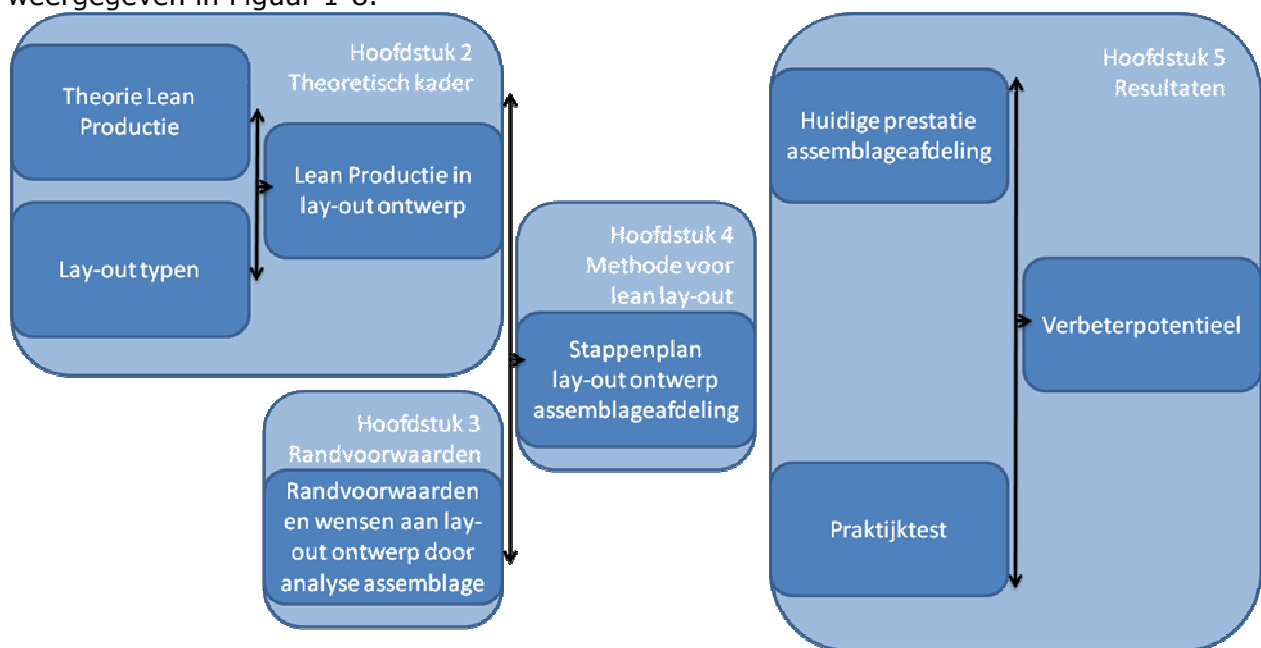
De eerste onderzoeksvraag schetst het theoretisch kader van dit onderzoek. Het lean productie concept wordt beschreven en de algemene kenmerken van de verschillende mogelijkheden voor een lay-out komen aan bod. Tot slot wordt het lean productie concept toegepast op lay-out ontwerp waaruit het kader voor dit onderzoek ontstaat en worden de voorwaarden voor implementatie van een lean lay-out toegelicht.

Door een analyse te maken van APZ en de assemblageafdeling, kunnen we de randvoorwaarden en wensen formuleren die door APZ aan het lay-out ontwerp gesteld worden. De tweede onderzoeksvraag geeft hier antwoord op.

Op basis van de theoretische context en methoden uit de eerste onderzoeksvraag en de randvoorwaarden gesteld in de tweede onderzoeksvraag, kan een stappenplan ontwikkeld worden voor het lay-out ontwerp, toegepast op de kenmerken van de assemblageafdeling van APZ. De derde onderzoeksvraag geeft antwoord op de vraag welke stappen genomen dienen te worden, gebaseerd op literatuur en praktijk.

De vierde onderzoeksvraag berekent de mogelijke resultaten voor APZ. Dit wordt gedaan door het model ontwikkeld uit de derde onderzoeksvraag toe te passen op de praktijksituatie en van daaruit het verbeterpotentieel te berekenen. Ook wordt een kleine praktijktest uitgevoerd om te kijken of de resultaten daadwerkelijk gehaald kunnen worden.

De samenhang tussen de onderzoeksvragen en de hoofdstukindeling is grafisch weergegeven in Figuur 1-8.



Figuur 1-8 Hoofdstukindeling op basis van onderzoeksvragen

1.5 Probleemaanpak en gegevensverzameling

Dit onderzoek is gedeeltelijk diagnostisch en vooral ontwerpgericht. We onderzoeken vanuit de theorie over lean productie hoe deze toe te passen is op lay-out ontwerp. We maken een analyse van de assemblageafdeling van APZ om te bepalen wat de eisen en randvoorwaarden zijn. Vervolgens schrijven we een stappenplan hoe Ahrend een lean lay-out kan ontwerpen voor de assemblageafdeling. We passen dit stappenplan toe op een van de productgroepen die uit de clusteranalyse volgt. Hiermee kunnen we het theoretisch verbeterpotentieel meten. We doen een praktijktest om te kijken of dit verbeterpotentieel in de praktijk ook haalbaar is. We geven de resultaten en het verbeterpotentieel en trekken hieruit onze conclusies. Tot slot doen we aanbevelingen over de te nemen stappen.

Tabel 1-4 geeft aan waar de antwoorden op de onderzoeksvragen uit de voorgaande paragraaf verkregen worden. De gegevensverzameling vindt zoveel mogelijk plaats op basis van gegevens uit 2008. Tenzij anders vermeld, is dit de referentieperiode.

Onderzoeksvraag	Type gegevens	Gegevensverzameling
1. Wat is lean productie, hoe kan de theorie worden toegepast op lay-out ontwerp en wat zijn de voorwaarden voor toepassing van het lean-concept op het lay-out ontwerp?		
a. Wat is lean productie?	Literatuuronderzoek	- Artikelen over lean productie - Boeken over operations management en lean productie - Kritische reviews over lean productie
b. Wat zijn de mogelijkheden voor de lay-out van een productieproces?	Literatuuronderzoek	- Boeken over operations management
c. Hoe is het lean productie concept toe te passen op lay-out ontwerp?	Literatuuronderzoek	- Artikelen over lean productie - Boeken over operations management en lean productie
d. Wat zijn de voorwaarden voor implementatie van een lay-out op basis van het lean productie concept?	Literatuuronderzoek	- Artikelen over lean productie - Kritische reviews over lean productie
2. Welke randvoorwaarden en wensen worden door APZ aan lay-out ontwerp gesteld en welke wensen volgen uit een analyse van de huidige knelpunten en verspillingen van de assemblageafdeling?		
a. Welke randvoorwaarden en wensen aan lay-out ontwerp worden door APZ gesteld?	Analyse huidige situatie	- Analyse jaarverslag Ahrend NV - Analyse strategie APZ - Analyse assemblagehal APZ - Analyse productie APZ - Analyse producten APZ - Analyse logistieke aansturing APZ - Analyse planning APZ - Interviews managers, afdelingshoofden en vloermedewerkers
b. Wat zijn de knelpunten en verspillingen in de huidige lay-out van de assemblageafdeling?	Literatuur over analyse VSM en verspillingen en analyse huidige situatie	- Boeken over lean productie - Analyse door middel van VSM - Analyse van verspillingen - Kostengegevens verspillingen - Waarneming
c. Wat zijn de wensen die volgen uit de knelpunten en verspillingen in de huidige lay-out van de assemblageafdeling?	Analyse VSM en verspillingen huidige situatie	- -

Onderzoeksvraag	Type gegevens	Gegevensverzameling
3. Welke oplossing biedt het lean productie concept voor lay-out ontwerp voor APZ en welke gegevens en ontwerpstappen zijn nodig voor lay-out ontwerp op basis van het lean productie concept?		
a. Welke oplossing biedt het lean productie concept voor lay-out ontwerp gegeven de gestelde randvoorwaarden en wensen?	Ontwerp	- Literatuur over lean productie theorie uit onderzoeksvraag 1 - Randvoorwaarden onderzoeksvragen 1 en 2 - Productiekenmerken onderzoeksvraag 2
b. Welke gegevens zijn nodig voor ontwerp van een lay-out op basis van het lean productie concept?	Ontwerp	- Literatuur over Production Flow Analysis - Literatuur over Assembly Line Balancing Problem - Literatuur over logistieke aanvoer
c. Welke ontwerpstappen zijn nodig voor ontwerp van een lay-out op basis van het lean productie concept?	Ontwerp	- Literatuur over Production Flow Analysis - Literatuur over Assembly Line Balancing Problem - Literatuur over logistieke aanvoer - Randvoorwaarden onderzoeksvragen 1 en 2 - Productiekenmerken onderzoeksvraag 2
4. Wat is het verbeterpotentieel voor APZ door implementatie van een lay-out op basis van het lean productie concept?		
a. Wat is het theoretisch verbeterpotentieel door lay-out ontwerp op basis van het lean productie concept?	Resultaten door toepassing methode	- Toepassen methode onderzoeksvraag 3 op een productgroep - Berekenen huidige prestatie door gegevensanalyse
b. Wat is het waargenomen verbeterpotentieel door een haalbaarheidstest in de praktijk?	Resultaten door haalbaarheidstest	- Waarnemen en meten resultaten praktijktest op een huidige productielijn

Tabel 1-4 Gegevensverzameling voor antwoorden op onderzoeksvragen

1.6 Leeswijzer

In Figuur 1-8 in paragraaf 1.4 is te zien hoe dit verslag is opgebouwd. In hoofdstuk 2 volgt het theoretisch kader. Het hoofdstuk bevat zowel de behandeling van het lean productie concept, als literatuur over lay-out typen en de confrontatie van die twee. Hoofdstuk 3 vervolgens geeft een analyse van de huidige situatie bij APZ om tot randvoorwaarden voor het onderzoek te komen. Ook worden de knelpunten in de huidige situatie geanalyseerd.

In hoofdstuk 4 vindt de ontwerpfase plaats. Hier wordt een stappenplan gepresenteerd dat APZ kan gebruiken bij het lay-out ontwerp voor de assemblageafdeling. Het stappenplan is gebaseerd op literatuur over lay-out ontwerp op basis van de lean productie theorie, maar geeft een toepassingsmogelijkheid door aanpassing op de specifieke kenmerken van de assemblageafdeling van APZ.

In hoofdstuk 5 wordt het stappenplan van hoofdstuk 4 toegepast voor één productielijn. De uitwerking leidt tot een inschatting van de resultaten die theoretisch mogelijk zijn. Vervolgens wordt in een praktijktest voor één product de praktische haalbaarheid getest.

Hoofdstuk 6 sluit het verslag af met de conclusies van het onderzoek en met aanbevelingen voor implementatie en voor verder onderzoek.

1.7 Leeswijzer voor praktisch gebruik

Dit verslag kan voor verschillende doeleinden gebruikt worden. We hebben gekozen voor deze hoofdstukindeling om de wetenschappelijke gedachtegang en het ontwerp zo duidelijk mogelijk weer te geven.

Wanneer men bij APZ de methode wilt gebruiken om een lay-out te ontwerpen, dient men het stappenplan van bijlage F uit te voeren. In hoofdstuk 4 wordt dit stappenplan voor lay-out ontwerp toegelicht. In hoofdstuk 5 is een voorbeeld van een uitwerking te vinden. Ook is hier een indicatie van de te verwachten resultaten te vinden. Wanneer men een verdere theoretische onderbouwing van de stappen behandelt in hoofdstuk 4 verlangt, kan gekeken worden in hoofdstuk 2.

Hoofdstuk 3 geeft de aannames voor dit onderzoek. Hoofdstuk 6 tot slot zet de conclusies en aanbevelingen op een rij.

Het volgende hoofdstuk start met behandeling van het theoretisch kader.

2 Theoretisch kader

Dit hoofdstuk geeft antwoord op de eerste onderzoeksvraag:

Wat is lean productie, hoe kan de theorie worden toegepast op lay-out ontwerp en wat zijn de voorwaarden voor toepassing van het lean-concept op het lay-out ontwerp?

In dit hoofdstuk wordt het theoretisch kader geschetst waarin dit onderzoek zal plaatsvinden. Het onderzoek zal – voor zover mogelijk – benaderd worden vanuit het lean productie concept. Dit wordt als eerste toegelicht. Het onderzoek gaat specifiek over lay-out ontwerp. Daarom lichten we eerst de verschillende lay-out typen toe om vervolgens de lean productie theorie op lay-out ontwerp toe te passen. Dit doen we door de technieken en concepten te beschrijven die lean productie ons aanreikt ter ontwerp van een lay-out. Vervolgens worden de voorwaarden beschreven voor succesvolle implementatie van het lean productie concept. Ook wordt een kritische noot over lean behandeld. Het hoofdstuk sluit af met een samenvatting.

Tenzij anders aangegeven, is de theorie in dit hoofdstuk afkomstig van Hopp en Spearman (2000), Krajewski et al (2009) en Slack et al (2007).

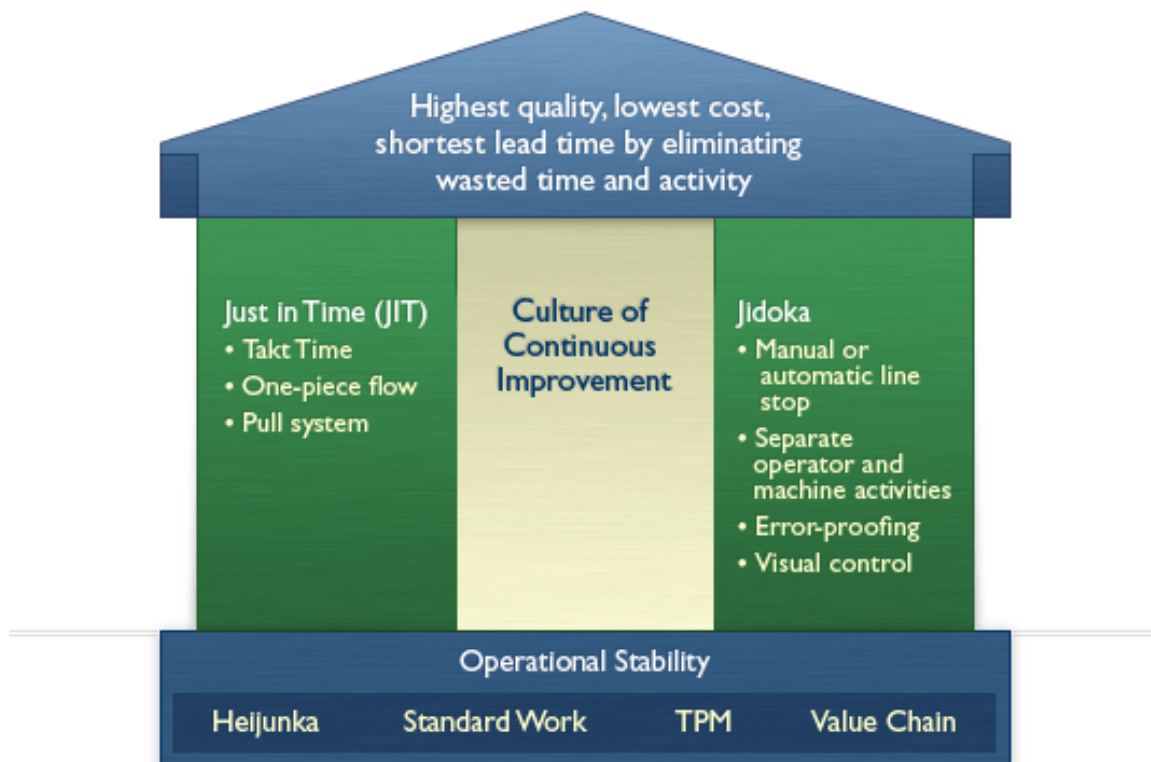
2.1 Lean productie

Lean, lean productie, lean manufacturing, lean systems, lean thinking en tal van andere samentrekkingen met lean verwijzen naar een totaalconcept van methoden en ideeën dat gericht is op het toevoegen van waarde door verspillingen uit processen te verwijderen. Al deze begrippen hebben een klein nuanceverschil. Het voert te ver om deze verschillen hier verder uit te diepen. Wij zullen naar dit concept verwijzen als lean, lean productie of het lean productie concept. Het lean productie concept behelst de gehele organisatie: van operations strategy tot procesontwerp, van kwaliteitsmanagement tot lay-out ontwerp en van supply chain ontwerp tot de gekozen technologie en voorraadbeheer. Lean is een manier van denken en werken. Het lean productie concept is het best te begrijpen wanneer we kijken naar het ontstaan van het concept.

2.1.1 Toyota Production System

Lean productie is ontstaan uit het Toyota Production System (TPS) en vindt zijn oorsprong in de Japanse culturele, geografische en economische historie. In 1945 zochten Taiichi Ohno en Eiji Toyoda een manier om met Toyota de Amerikaanse auto-industrie te overtreffen. Ohno vond dat de enige manier om het gat met Amerika te dichten het elimineren van verspillingen was om kosten te verlagen. Door de Japanse omstandigheden van die tijd en de situatie waar de automobiellindustrie zich in die tijd in bevond, was het niet mogelijk om – net als Amerika – schaalvoordelen te behalen door massaproductie. De uitdaging werd om veel modellen in kleine hoeveelheden te produceren. Om een gelijkmatige productie te behouden bij een variërende productmix en om verspilling te voorkomen moest dit alles zonder hoge voorraden. De dertig jaar die volgden waren tekenend voor de ontwikkeling van een filosofie die de huidige productie domineert.

De uitdaging voor managers vandaag de dag begint met het simpel en helder communiceren van het lean productie concept. Toyota ontwierp het “Huis van Toyota” om de principes van de theorie weer te geven. Dit huis is weergegeven in Figuur 2-1.



Figuur 2-1 Toyota Production System

Het doel van lean productie is het bereiken van de hoogste kwaliteit met zo laag mogelijke kosten, met de kortste levertijd door het reduceren van verspillingen. Het systeem berust op twee peilers:

- Just in Time (JIT)
- Jidoka of autonotation (vermenselijken van de interface tussen operator en machine)

In de volgende paragrafen wordt het Toyota Production System verder uitgelegd.

2.1.1.1 Just in Time

De termen JIT en lean worden vaak door elkaar gebruikt. Het eigenlijke onderscheid is dat lean het gehele concept behelst en JIT voor een deel van de technieken staat die tot een lean productiesysteem kunnen leiden. JIT kent vele definities. Drie ervan zijn:

- JIT is de snelle en gecoördineerde beweging van onderdelen door het productiesysteem en leveringsnetwerk om aan de klantvraag te voldoen
- JIT heeft als doel vraag ogenblikkelijk te leveren, met een perfecte kwaliteit en geen verspilling
- JIT is een gedisciplineerde benadering om overall productiviteit te verbeteren en verspilling te elimineren. Het verschaft een kosteneffectieve productie en levering van alleen de benodigde hoeveelheid onderdelen van de juiste kwaliteit op de juiste plaats op de juiste tijd, terwijl een minimum hoeveelheid van faciliteiten, uitrusting, materialen en menselijke bronnen gebruikt wordt. JIT is afhankelijk van de balans tussen de flexibiliteit van de leverancier en de flexibiliteit van de gebruiker. Het wordt bereikt door de toepassing van elementen die een totale betrokkenheid van de medewerkers en teamwork vereisen. Een sleutelfilosofie van JIT is simplificatie.

2.1.1.2 Jidoka

Het automatisch stoppen van het proces wanneer er iets fout gaat en het probleem dan oplossen aan de lijn zelf, heet Jidoka en is de tweede peiler van het TPS. Jidoka tracht de activiteiten van mens en machine te scheiden, zodat een operator meerdere operaties simultaan kan bedienen. Jidoka staat voor een visueel managementsysteem waarin de status van het systeem in termen van kwaliteit, veiligheid, levering en kostenprestatie ten opzichte van de gestelde doelen van die productiecel of dat werkstation duidelijk zichtbaar zijn voor iedereen op de werkvloer.

2.1.1.3 Heijunka

Om het ideaalbeeld van lean te bereiken moet het mogelijk zijn te vertrouwen op een stabiele operationele basis. Ten eerste werkt het systeem het best als de dagelijkse werklast relatief uniform is. Voor productiesystemen betekent dit dat iedere dag ongeveer dezelfde typen en aantallen geproduceerd moeten worden op een vast ritme. Dit ritme wordt gekenmerkt door taktijd. Paragraaf 2.3 gaat hier verder op in. Daarnaast moet gekeken worden wanneer welk product geproduceerd wordt. Gebeurt dit in batches van dezelfde modellen of in een productiehoeveelheid van één? Heijunka verwijst naar de verhouding in productiehoeveelheid en -modellen en vertaalt dit naar een standaard productievolvergorder. Wanneer bijvoorbeeld een verhouding bestaat van 3 maal type A ten opzichte van 2 maal type B en 1 maal type C, kan een Heijunka ontstaan van AAABBC bij een keuze voor batchproductie en een volgorde van ABACAB bij een keuze voor een productiehoeveelheid van één. Welke keuze ook gemaakt wordt, het gebruik van Heijunka zorgt voor een standaard productievolvergorder.

2.1.1.4 Standaardisatie

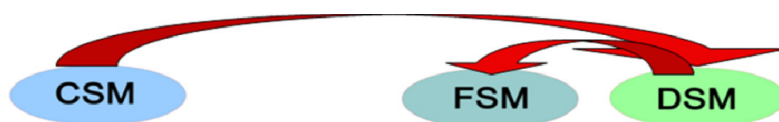
Standaardisatie verwijst naar standaardisatie in de werkprocessen. Door de beste methode te identificeren en deze aan te wijzen als standaardmethode voor iedere operator, ontstaan productiviteitsverbeteringen. Door – door medewerkers voorgestelde – verbeteringen gestructureerd te testen om te kijken of er daadwerkelijk een verbetering optreedt en deze verbetering wederom als standaard te benoemen, ontstaat wederom een productiviteitsverbetering.

2.1.1.5 Total Productive Maintenance

Omdat lean productiesystemen weinig buffers en slack hebben tussen werkstations, moet het systeem kunnen vertrouwen op een betrouwbare aanlevering van goederen. Daardoor kunnen verstoringen in het productiesysteem al snel tot lange productieonderbrekingen leiden. Total Preventive Maintenance of Total Productive Maintenance (TPM) vermindert de frequentie en de duur van de productieonderbreking van machines. TPM betekent het routinematig controleren van de werking van machines en controleren of onderdelen vervangen dienen te worden. Dit kan gedaan worden door onderhoudsmensen of door de operators zelf.

2.1.1.6 Value Stream Map

Om inzicht te krijgen in de verspillingen in proces, kan een Value Stream Map (VSM) gemaakt worden. Een VSM geeft inzicht in de processen in de stroom van materialen en informatie in een waardeestroom van een product. Figuur 2-2 geeft hiervan het proces weer.



Figuur 2-2 Value Stream Mapping: van Current State, naar Dream State, naar Future State

Er wordt een overzicht gemaakt van de huidige stroom, deze heet de Current State Map (CSM). Vervolgens wordt een Dream State Map (DSM) gemaakt door de ideaalsituatie te tekenen wanneer helemaal opnieuw begonnen mag worden en er geen beperkingen bestaan. Tot slot kan met een Future State Map de gewenste situatie weergegeven worden waarin verspillingen gereduceerd zijn.

2.1.2 Verspillingen elimineren en continu verbeteren

Lean productie tracht verspillingen te elimineren om een operatie te ontwikkelen die sneller, betrouwbaarder, hogere kwaliteit producten en diensten levert en opereert met lage kosten. Verspillingen zijn activiteiten die geen waarde toevoegen in de ogen van de klant.

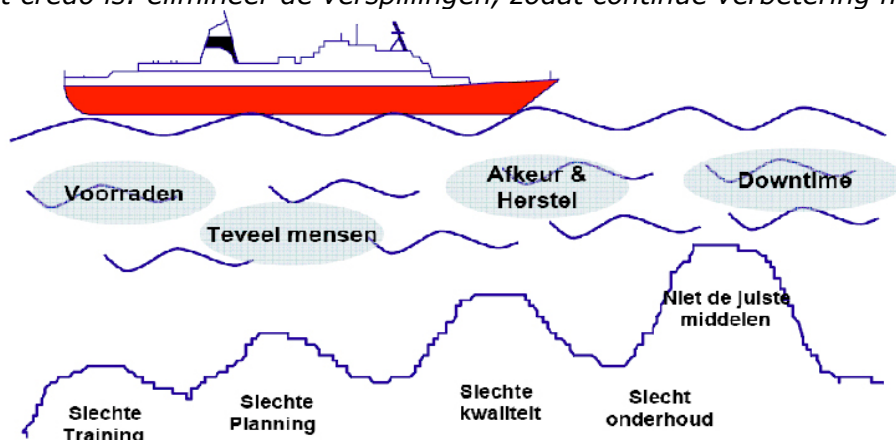
De zeven traditionele vormen van verspilling zijn samengevat in Tabel 2-1.

Verspilling	Definitie
Overproductie	Meer produceren dan meteen nodig is bij het volgende proces in de operatie
Wachttijd	Wachttijd van mensen en machines op de volgende processtap
Transport	Onnodig transport van producten
Proces	Meer tijd dan nodig besteden aan productie door slecht product- en procesontwerp
Voorraden	Alle soorten voorraad
Beweging	Onnodige beweging door een operator tijdens het werk: een operator die er druk uitziet, maar geen waarde toevoegt door het werk dat hij doet
Defecten	Het produceren van producten die niet aan de vooraf gestelde kwaliteit voldoen

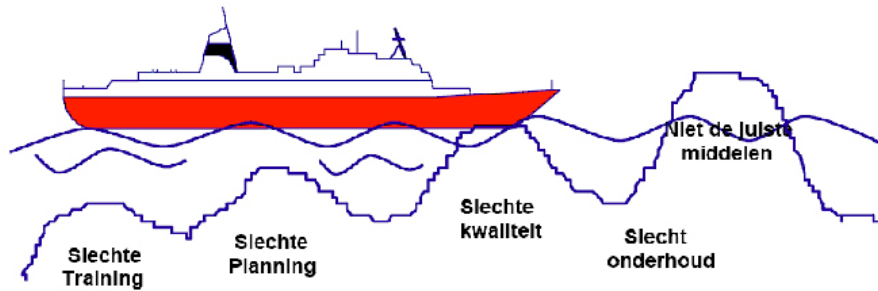
Tabel 2-1 Definities verspillingen Lean Productie

Efficiëntie wordt bij lean bereikt door zichtbaar te maken wat problemen in de productie zijn. Het vraagt om een zeer hoge kwaliteit. Continue verbetering (Kaizen in het Japans) betekent het streven naar perfecte kwaliteit en staat centraal in het lean productie concept. Een bekende metafoor is de rivier met stenen. Het bootje stelt het proces voor, het bootje moet varen. Het bootje vaart op het water. Het water zijn de verspillingen, bijvoorbeeld Work in Progress of Work in Process (WIP). De stenen die onder het water liggen, zijn de problemen. Door maar genoeg water te behouden, kan het bootje varen en blijven problemen onzichtbaar (zie Figuur 2-3). Zowel het water als de problemen kosten echter veel geld, kwaliteit en aandacht. Als het water lager komt, worden de stenen zichtbaar en kunnen ze opgeruimd worden (zichtbaar in Figuur 2-4).

Het credo is: elimineer de verspillingen, zodat continue verbetering mogelijk is!



Figuur 2-3 Verspillingen verhullen de problemen



Figuur 2-4 Door verspillingen te reduceren, worden problemen zichtbaar en kunnen opgelost worden

Lean productie streeft uiteindelijk dus naar "nul voorraad". Hiermee wordt een niveau van perfectie bedoeld dat nooit bereikt kan worden in een productie proces. Door het doel van "nul voorraad" wordt een zoektocht gestimuleerd voor continue verbetering door aandacht voor de overall taak én voor de kleine details (Hall, 1983).

2.2 Lay-out typen

In het algemeen worden in de literatuur vier lay-out typen onderscheiden, deze worden hier behandeld. Ook komt aan bod wanneer welk type het best gebruikt kan worden.

2.2.1 Vier typen lay-out

In het algemeen onderscheiden verschillende auteurs vier standaard lay-out typen. De vier standaard lay-out typen zijn de vaste positie lay-out, de proces of functionele lay-out, cel lay-out en product- of lijnlay-out. Ook is een combinatie mogelijk in de vorm van een gemixte lay-out.

2.2.1.1 Vaste positie lay-out

Positioneer het te transformeren product zo dat het zoveel mogelijk op een vaste positie blijft. De hulpmiddelen en componenten die nodig zijn om het product te bouwen, worden van en naar het product verplaatst. Er kan voor deze lay-out gekozen worden omdat het product te groot of te kwetsbaar is om goed verplaatst te kunnen worden. De effectiviteit van deze lay-out wordt beperkt door de planning van de toegang en de betrouwbaarheid van de aanlevering. Figuur 2-5 geeft een voorbeeld van een vaste positie lay-out.

2.2.1.2 Proces of functionele lay-out

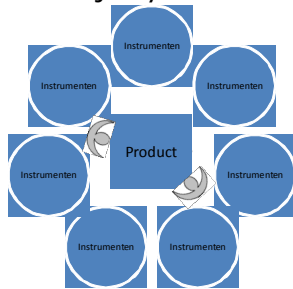
In dit lay-out type zijn hulpmiddelen die een zelfde soort functie verrichten, gegroepeerd. Verschillende producten kunnen verschillende routes afleggen langs verschillende functies. Soms zijn bepaalde functies dicht bij elkaar geplaatst, omdat de route tussen deze functies vaak afgelegd moet worden. In Figuur 2-6 is een voorbeeld te zien van een proces of functionele lay-out.

2.2.1.3 Cel lay-out

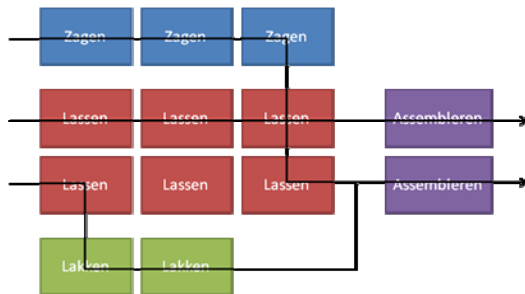
In een cel lay-out zijn alle hulpmiddelen en componenten zo gegroepeerd dat van tevoren duidelijk is waar een product naartoe moet. In de cel zijn alle middelen aanwezig om het product te maken. De cel zelf kan ingedeeld zijn op basis van een functionele of een product lay-out. Nadat het product in de cel is bewerkt, kan het product naar een volgende cel verplaatst worden. Hierdoor is een cel lay-out eigenlijk een poging om meer structuur te brengen in de complexiteit van de flow in een functionele lay-out. Figuur 2-7 laat een voorbeeld van een cel lay-out zien.

2.2.1.4 Product of lijnlay-out

In een product lay-out zijn alle hulpmiddelen en componenten volledig gestructureerd voor het gemak van het te produceren product. Elk product volgt een van te voren vastgelegde route waarin de volgorde van de benodigde activiteiten overeenkomt met de volgorde van de locatie van de processen. Dit lay-out type wordt ook wel flow- of lijnlay-out genoemd. De flow is duidelijk, voorspelbaar en daardoor redelijk gemakkelijk te beheersen. Normaal gesproken zijn het de gestandaardiseerde eisen van het product die leiden tot de keuze voor een product lay-out. In Figuur 2-8 is een voorbeeld van een product of lijnlay-out te zien.



Figuur 2-5 Vaste positie lay-out



Figuur 2-6 Proces of functionele lay-out



Figuur 2-7 Cel lay-out



Figuur 2-8 Product of lijnlay-out

2.2.2 Keuze lay-out type

De verschillende lay-out typen hangen samen met de procestypen.

De procestypen zijn als volgt gedefinieerd:

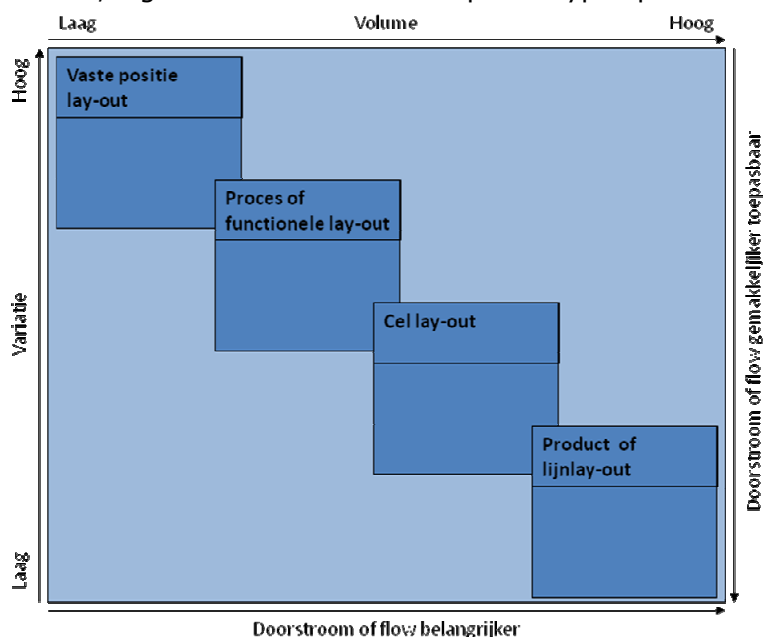
- Project proces = Processen die te maken hebben met discrete, normaal gesproken erg klantspecifieke producten
- Jobbing proces = Processen die te maken hebben met hoge variatie en lage volumes, hoewel er enige herhaling van doorstroom (of flow) van activiteiten kan zijn
- Batch proces = processen die batches van producten samen behandelen en waar iedere batch zijn eigen proces route heeft
- Massa proces = Processen die goederen produceren in hoog volume en in relatief lage variatie
- Continu proces = Processen die een hoog volume en lage variatie produceren; normaal gesproken zijn dit producten die een eindeloze doorstroom hebben, zoals de petrochemie en elektriciteit

Het lay-out type is vaak de fysieke vertaling van 'n procestype. Volume-variatie karakteristieken bepalen het procestype, maar vaak is er overlap tussen procestypen bij bepaalde volume-variatie combinaties. De relatie en de overlap zijn weergegeven in Figuur 2-9.

Proces typen productie	Standaard lay-out typen
Project proces	Vaste positie lay-out
Jobbing proces	Proces of functionele lay-out
Batch proces	Cel lay-out
Massa proces	Product lay-out
Continu proces	

Figuur 2-9 Relatie tussen lay-out typen en proces typen (Slack et al (2007))

Bij twijfel over het te kiezen lay-out type, beïnvloedt het relatieve belang van de prestatiedoelen de beslissing. In het algemeen kan gesteld worden: hoe belangrijker de kosten, hoe waarschijnlijker het is om het procestype in te richten richting het hoge volume, lage variatie deel van het procestype spectrum.



Figuur 2-10 Relatie tussen lay-out type en volume-variatie verhouding (Slack et al (2007))

Bij een hoog volume en lage variatie is het wenselijk een goede doorstroom of flow te hebben. Wanneer ook de variatie hoog is, is het slim te groeperen, zodat de meerderheid van de producten toch goed kunnen doorstromen. Over het algemeen is een cel lay-out in dat geval een goede keuze. Bij een hoog volume en lage variatie is een product lay-out de beste keuze. Figuur 2-10 geeft de relatie weer tussen de verhouding tussen volume en variatie en de keuze voor een lay-out type.

2.3 Lean productie in lay-out ontwerp

Lean beschrijft het gebruik van een lijnlay-out om flow te stimuleren. De belangrijkste reden is dat verspilling van omstelling hierdoor gereduceerd wordt. Wanneer de volumes van een specifiek product groot genoeg zijn, kunnen omstellingen zelfs volledig geëlimineerd worden. Wanneer de volumes van een specifiek product niet groot genoeg zijn om een specifieke lijn per product te rechtvaardigen, kunnen nog steeds de voordelen van een lijnlay-out – namelijk simpel materiaalbeheer, lagere omsteltijden en lagere loonkosten – behaald worden. Twee technieken om dit te doen, zijn One Worker, Multiple Machines (OWMM) cellen en Group Technology (GT) cellen.

Waarde moet zichtbaar stromen door de organisatie. In de roman "De Goudmijn" over een lean-transformatie beschrijven Ballé en Ballé dit als volgt:

"Oké, Philip," zei pa toen we de fabriek binnenkwamen. "Wat je jezelf moet vertellen, is dat dit een goudmijn is. Er zit goud in de handen van deze mensen. Onze taak is om het te vinden. Volg je me?" "Goud," herhaalde Phil onzeker. "Het probleem," vervolgde mijn vader, "is dat er zoveel in een fabriek gebeurt, dat het heel moeilijk wordt om te zien waar de waarde feitelijk wordt gecreëerd. Zoals we gisteren zagen, is het meeste wat de mensen hier doen weliswaar nodig, maar het voegt geen waarde toe aan het product. Dus waar komen we het goud tegen?" "Waar de producten worden gebouwd?" gokte ik. "Correct. Daar wordt waarde gecreëerd. Producten worden onderdeel voor onderdeel opgebouwd, dus in feite stroomt er waarde door de fabriek. Je moet eerst een beeld krijgen van de verschillende stromen waar waarde doorheen stroomt." "Productlijnen, nietwaar?" vroeg Phil.

Kader 2-1 Passage uit "De Goudmijn", een roman over een lean-transformatie

De klantvraag is altijd leidend voor het proces. Er moet immers alleen datgene geproduceerd worden wat een klant precies op dat moment nodig heeft. Taktijd is hier de vertaling van naar het proces. De lijn moet ingericht worden op taktijd en daarom gebalanceerd worden. Deze paragraaf behandelt de verschillende technieken en concepten van het toepassen van lean productie op lay-out ontwerp. Als eerste komen de OWMM cellen en de GT-cellen aan bod. Daarna volgen het concept taktijd en de technieken om de lijn te balanceren. Tot slot wordt een stuk gewijd aan de logistieke aanvoer van onderdelen en halffabricaten.

2.3.1 One Worker, Multiple Machine cellen

Als volumes niet groot genoeg zijn om verschillende operators bezig te houden op één productielijn, kan een lijn opgezet worden die zo klein is dat één operator bezig gehouden wordt. Verschillende machines in de cel zijn in een lijn gegroepeerd en kunnen simultaan door een persoon bediend worden. De operator voert de taken uit die niet geautomatiseerd zijn. Er kunnen meerdere typen producten of onderdelen in een OWMM cel geproduceerd worden. Wanneer de omsteltijd echter erg groot is, kan besloten worden een duplicaat van de machine parallel te plaatsen.

Het voordeel van een OWMM cel is dat voorraden worden gereduceerd omdat een onderdeel direct van de ene handeling in de andere verdwijnt in plaats van te wachten totdat een volgende machine vrijkomt. Ook loonkosten worden gereduceerd doordat een groter gedeelte van het werk geautomatiseerd is.

Toevoeging van relatief goedkope automatische hulpmiddelen kunnen het aantal machines in een cel maximaliseren. Zo zijn daar bijvoorbeeld automatische hulpmiddelenverwisselaars, laders of uitladers, start- en stopinstrumenten, en automatische checks of producten aan de juiste kwaliteit voldoen.

2.3.2 Group Technology cellen

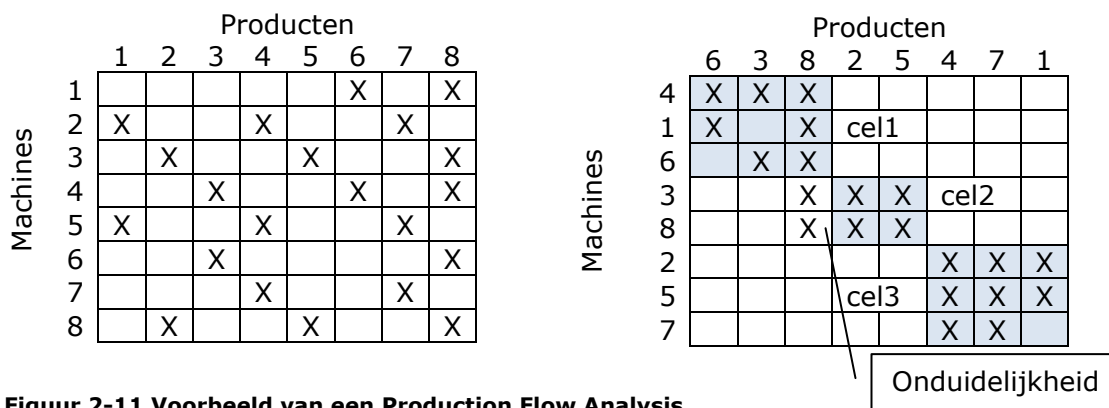
Een tweede optie is om cellen te creëren waarin meerdere producten geproduceerd kunnen worden. Groepen producten met gelijke kenmerken worden gegroepeerd tot productfamilies en de machines die nodig zijn voor de productie worden gegroepeerd. De groepering wordt ook wel clusteranalyse genoemd en kan plaatsvinden op basis van afmetingen, vorm, proces- of bewerkingsstappen of vraagkarakteristieken. Het doel is om een set producten te identificeren met gelijke proceseisen zodat omsteltijden geminimaliseerd zijn. Na het clusteren van producten tot productfamilies, kunnen productielijnen ingericht worden waar de productfamilies geproduceerd worden. Een techniek om tot clustering van producten tot productfamilies te komen is de Production Flow Analysis (PFA).

2.3.2.1 Production Flow Analysis

Slack et al (2007) beschrijven de Production Flow Analysis. De PFA onderzoekt simultaan zowel de producteisen als het groeperen van processen. In een matrix worden alle producten uitgezet tegen de vereiste bewerkingen. Vervolgens worden de rijen en kolommen zo verschoven totdat de combinaties zo dicht mogelijk tegen de diagonaal van links boven naar rechts onder komen te liggen. De groepen (vierkantjes) die zo ontstaan, duiden een cel aan. Bij onduidelijkheid zijn er een aantal oplossingen:

- Dezelfde bewerking in meerdere cellen uitvoeren; dit vraagt om een extra investering
- Producten vanuit de ene cel naar de andere cel verplaatsen; dit is in tegenstrijd met het uitgangspunt van een cel lay-out om de complexe stroom te simplificeren
- Er kan een extra cel gevormd worden; dit vraagt om een extra investering

In Figuur 2-11 is een voorbeeld te zien van een Production Flow Analysis.



Figuur 2-11 Voorbeeld van een Production Flow Analysis

2.3.3 Taktijd

In lean productie is de klant altijd leidend voor het productieproces. Er moet immers alleen datgene geproduceerd worden wat een klant precies op dat moment nodig heeft. De taktijd geeft het ritme van productie aan, gebaseerd op de klantvraag. De taktijd wordt berekend door de productietijd in die tijdseenheid te nemen en die te delen door de klantvraag in aantallen per tijdseenheid.

$$Taktijd = \frac{\text{Beschikbare jaarlijkse productietijd}}{\text{Gemiddelde jaarlijkse vraag van de klant}}$$

Bij een taktijd van bijvoorbeeld 2 minuten, moet er dus iedere twee minuten een product van de band afkomen en klaar zijn om aan de klantvraag te voldoen. Daarmee is het ritme van de productie bepaald.

2.3.4 Lijnbalancerings

Om voor de werkstations een uniforme werkbelasting te creëren en aan de taktijd te voldoen, moet de productielijn zo gebalanceerd worden dat de werkbelasting per station zo veel mogelijk aan de taktijd voldoet. Hierdoor wordt de grootste efficiëntie bereikt en wordt het ritme van de taktijd aangehouden. Het principe is simpel te beschrijven met een voorbeeld in Kader 2-2.

Voor een specifiek product zijn vier bewerkingsstappen nodig die ieder 2 minuten duren. De totale bewerkingstijd of cyclustijd is voor dit product 4 stappen * 2 minuten = 8 minuten. Als de klant iedere 2 uur vijftien van deze producten vraagt, is de taktijd voor dit product dus 120 minuten/15 producten = 8 minuten. Iedere 8 minuten moet er een product van de band komen. De lijn kan op verschillende manieren worden ingericht. Bij de volgende inrichting zijn vier mensen nodig om iedere 8 minuten een product van de band te krijgen.



Bij de volgende inrichting is slechts één persoon nodig om dezelfde output te behalen.



Door de bewerkingen te clusteren totdat het station tot de taktijd gevuld is, zijn minder personen nodig om aan de klantvraag te voldoen.

Voor hetzelfde product met dezelfde totale bewerkingstijd van 8 minuten, bestaande uit vier stappen van elk 2 minuten is de klantvraag gestegen naar dertig producten per 2 uur. De taktijd voor dit product is dus 120 minuten/30 producten = 4 minuten. De lijn kan niet meer met één persoon worden ingericht, want dan komt er iedere 8 minuten een product van de band, dit is te weinig om aan de klantvraag te voldoen. Er zijn wederom verschillende mogelijkheden om de stations in te richten. Bij de volgende inrichting zijn vier mensen nodig om iedere 4 minuten een product van de band te krijgen.



Bij de volgende inrichting zijn de bewerkingen weer dusdanig geclusterd zodat het station tot taktijd gevuld is. Er zijn twee mensen nodig om iedere 4 minuten een product van de band te krijgen.



Er kan aangetoond worden dat voor dit voorbeeld 1 persoon het minimaal aantal personen is dat nodig is om aan de klantvraag van 15 per 2 uur te voldoen en 2 personen het minimaal aantal personen is om aan de klantvraag van 30 per 2 uur te voldoen.

In beide gevallen is lijnbalancering toegepast om de bewerkingstijd per werkstation zoveel mogelijk gelijk te stellen aan de taktijd. Dit voorbeeld maakt duidelijk dat toepassing van lijnbalancering leidt tot een optimale efficiëntie.

Kader 2-2 Voorbeeld lijnbalancering

In de literatuur wordt dit probleem het Assembly Line Balancing Problem (ALBP) genoemd.

2.3.4.1 Assembly Line Balancing Problem

Becker en Scholl (2004) geven een overzicht van de aannames, problemen en methoden in assembly line balancing. Het Assembly Line Balancing Problem kan als volgt beschreven worden. Een assemblagelijijn bestaat uit werkstations langs een lopende band of een soortgelijk mechanisch transportsysteem. De producten worden achtereenvolgens op de lijn gestart en van station naar station verplaatst. Op ieder station worden verschillende handelingen herhaaldelijk uitgevoerd binnen de cyclustijd (dit is de maximale of gemiddelde tijd die beschikbaar is voor iedere werkcyclus). Het beslissingsprobleem van het optimaal toedelen (balanceren) van de werkzaamheden tussen de stations gegeven een bepaald doel, heet het Assembly Line Balancing Problem. De werkzaamheden die uitgevoerd moeten worden, kunnen onderverdeeld worden in een aantal taken. Die taken nemen een bepaalde tijd in beslag. Daarnaast kan het zijn dat er afhankelijkheidsrelaties tussen de taken bestaan, dat wil zeggen: wanneer een afhankelijkheidsrelatie bestaat, mag een taak pas starten wanneer een andere taak afgerond is.

Iedere ALBP is er op gericht een haalbare lijnbalans te vinden, dat wil zeggen een toewijzing van iedere taak aan een werkstation zodat aan de afhankelijkheidsrelaties en andere restricties voldaan is. De set van taken die toegekend is aan een werkstation heet de station load. De cumulatieve tijd van de taken is de werkstationtijd. Wanneer een vaste cyclustijd gegeven is, dan is een lijnbalans alleen toegestaan wanneer de werkstationtijd voor ieder station kleiner is dan die cyclustijd. De wachttijd is dan de som van de cyclustijd min de werkstationtijd over alle werkstations.

2.3.4.2 Karakteristieken ALBP

Een veel gekozen doel is het maximaliseren van de lijnefficiëntie en die hangt af van de cyclustijd en het aantal stations m . In het geval van een lopende band (paced assembly line) is de werkstationtijd gelimiteerd aan de cyclustijd. Omdat taken ondeelbare activiteiten zijn, kan de cyclustijd niet kleiner zijn dan de tijdsduur van de langst durende taak oftewel de bottleneck.

Wanneer een algemene cyclustijd afwezig is en alle stations op een individuele snelheid werken, moeten producten wachten voor ze een volgend station kunnen betreden of stations raken leeg waardoor wachttijd ontstaat. Deze complexiteiten kunnen deels voorkomen worden door buffers tussen de stations te plaatsen. Bij deze unpaced assembly line, komt een extra beslissingsprobleem, namelijk het plaatsen en het bepalen van de groottes van buffers.

Wanneer meerdere producten op een assemblagelijijn geproduceerd worden, moet ook een planningsprobleem (sequencing problem) opgelost worden. Er moet in dit geval onderscheid gemaakt worden tussen een mixed-model line, waarin alle verschillende producten in willekeurige producten geproduceerd kunnen worden en een multi-model line, waarin batches van hetzelfde product bij elkaar geproduceerd worden. In het laatste geval moet al bij de lijnbalancering ook een sequencing problem opgelost worden. Deze twee problemen hangen dan met elkaar samen.

Een ander belangrijk aspect dat te maken heeft met de eigenschappen van het probleem zijn de eigenschappen van de taaktijden. Wanneer deze niet erg verschillen per operator en in de tijd, dan kan uitgegaan worden van deterministische tijden. Een extra lastigheid wordt toegevoegd wanneer de tijden erg variabel zijn; dan moet uitgegaan worden van stochastische tijden. De variabiliteit kan verminderd worden door leereffecten en verbeteringen in het productieproces te delen en te standaardiseren.

Het maakt voor het oplossen van het ALBP uit wat de vorm van de lijn is. Wanneer een rechte lijn wordt geplaatst, kunnen de normale methoden voor het oplossen van het ALBP toegepast worden. Het kan echter interessant zijn om in de lay-out voor een U-vorm te kiezen. Dit kan als voordeel hebben dat twee of meer werkstations door één persoon bediend kunnen worden. Stel dat bijvoorbeeld één persoon het eerste en het laatste werkstation in de U (die tegenover elkaar liggen) kan bedienen, heeft dit als consequentie dat de gezamenlijke werkstationtijd van deze twee werkstations de cyclustijd niet mag overschrijden. Dit probleem behoeft daarom een andere aanpak.

Verdere verbetering in flexibiliteit en foutgevoeligheid van de lijn kan bereikt worden door een vorm van parallelisering. Parallele stations reduceren de cyclustijd als bepaalde taken langere taaktijden hebben dan de gewenste cyclustijd.

Wanneer ook gekeken wordt naar alternatieven voor bepaalde productieprocessen, moet parallel aan het ALBP een equipment of process selection problem opgelost worden.

Voor de assemblage van zware producten kan het nodig zijn om een lijn in te richten waaraan van twee kanten gewerkt kan worden. Deze bestaat dan eigenlijk uit twee parallelle seriële lijnen.

Tot slot is er nog een aanname ten aanzien van de toepasbaarheid van machines en operators. Zeker in het geval van complexe producten kan het zijn dat machines bij voorbaat al toebedeeld zijn aan bepaalde stations. Daarnaast kunnen er ook restricties zijn ten aanzien van de positie van de producten ten opzichte van de lopende band, omdat producten te zwaar of te log zijn om te verplaatsen. Tot slot moet rekening gehouden worden met de vaardigheden van monteurs. Het zou kunnen zijn dat alleen specifieke monteurs bepaalde taken kunnen uitvoeren waardoor deze taken gecombineerd moeten worden.

2.3.4.3 Simple Assembly Line Balancing Problem

In de literatuur tot 2004 is vooral veel aandacht besteed aan onderzoek naar het Simple Assembly Line Balancing Problem (SALBP). Het SALBP heeft de volgende karakteristieken:

- Massa productie van één homogeen product met een gegeven productieproces
- Paced lijn met een vaste cyclus tijd
- Deterministische (en integrale) bewerkingstijden
- Geen toewijzingsrestricties naast de afhankelijkheidsrelaties
- Een rechte lijnlay-out met een aantal stations waar aan één kant gewerkt wordt
- Alle stations zijn evenredig uitgerust met machines en mensen
- De lijn efficiëntie wordt gemaximaliseerd

Omdat deze aannames zeer beperkend zijn wanneer problemen in de werkelijke wereld worden opgelost, zijn methoden ontwikkeld om één of meerdere van bovenstaande restricties los te laten. In de literatuur wordt naar deze systemen gerefereerd als generalized assembly line balancing problems (GALBP).

2.3.4.4 Multi Assembly Line Balancing Problem

Een specifieke groep binnen het GALBP is het Multi Assembly Line Balancing Problem (MALBP). Het MALBP lijkt sterk op het SALBP met het verschil dat meerdere modellen op een lijn geproduceerd worden. Het MALBP kan dus als toepassing voor een GT-cel gebruikt worden.

Het algemene MALBP model kan als volgt worden weergegeven:

t_{jp} zijn de taaktijden van de taken $j = 1, \dots, n$ voor de modellen $p=1, \dots, P$

d_p is het verwachte aandeel in vraag van de verschillende modellen $p=1, \dots, P$

met $\sum_{p=1}^P d_p = 1$

Er zijn twee algemene benaderingen te onderscheiden ter oplossing van het MALBP: (1) Versimpelen naar een SALBP en (2) horizontaal balanceren in een multi-model context.

Becker en Scholl (2004) beschrijven voor het eerste geval vier mogelijke oplosmethoden.

Ten eerste kan gewerkt worden met de gemiddelde procestijden $\bar{t}_j = \sum_{p=1}^P d_p \times t_{jp}$ per taak

$j=1, \dots, n$. Als dan de gemiddelde SALBP opgelost wordt, wordt een gemiddeld optimale situatie bereikt die in werkelijkheid tot aanzienlijke inefficiënties kan leiden.

Ook kan ervoor gekozen worden om de voorwaarde los te laten dat dezelfde taken op hetzelfde werkstation uitgevoerd dienen te worden. Deze keuze leidt echter niet tot het verwachte voordeel van een gecombineerde lijn.

Een derde optie is om voor ieder model een aparte cyclustijd te hanteren. Dit zou in praktijk betekenen dat bij ieder nieuw product naar een nieuwe taktijd geschakeld moet worden. Dit geeft veel onrust op de lijn.

Tot slot kan ervoor gekozen worden om één taktijd te hanteren en die te gebruiken als restrictie voor ieder model. Deutsch (1971) beschrijft hier een methode voor. Dit kan leiden tot een niet-optimale benutting en dus mindere efficiëntie van de lijn, omdat geen compensatie-effecten benut kunnen worden.

De tweede set methoden betreft het optimaliseren van de indeling van de werkstations met tegelijkertijd het oplossen van een volgordeprobleem. Dit betekent dat eerst het aantal werkstations en de cyclustijd per werkstation wordt bepaald. Omdat de cyclustijden in dit geval verschillen per werkstation kan een hogere bezettingsgraad en dus efficiëntie behaald worden door slim te plannen in de productievolgorde van de verschillende producten.

Een van de voorwaarden van lean is de overzichtelijke stroom van producten op een vast ritme. Daarom behandelen we de tweede set van methoden niet. Voor de geïnteresseerde lezer is meer informatie te vinden in Becker en Scholl (2004).

2.3.5 Logistieke aanvoer

In de logistieke aanvoer van onderdelen en halffabricaten zijn twee hoofdstromen te onderscheiden. Dit zijn Material Requirements Planning (MRP) en Just In Time (JIT). MRP en JIT zijn beide methoden die gebruikt kunnen worden voor de planning en voor de beheersing van het productieproces. Daarmee zijn het ook methoden om de logistieke aanvoer te regelen. In deze paragraaf worden beide behandeld. Daarnaast wordt antwoord gegeven op de vraag wanneer welke methode het slimst toegepast kan worden.

2.3.5.1 Material Requirements Planning

MRP is een push systeem. Dat wil zeggen dat de aanlevering per onderdeel van tevoren berekend is en plaatsvindt op vaste momenten in van tevoren berekende hoeveelheden. Het Master Production Schedule (MPS) is input voor het systeem. De planning is dus leidend voor de aanvoer.

Het systeem heeft een centrale computergestuurde organisatie nodig om de hardware, software en systemen te ondersteunen. Het MRP kan bijvoorbeeld in een Enterprise Resource Planning (ERP) geïntegreerd zijn. Het systeem is zeer afhankelijk van de accuraatheid van de data die ingegeven zijn.

Deze komen van de Bill Of Materials (BOM) en van de voorraadstanden. Het systeem veronderstelt een stabiele productieomgeving met vaste levertijden die gebruikt worden om te berekenen wanneer materialen aan moeten komen. In praktijk blijkt deze aanname vaak onjuist te zijn. MRP systemen zijn niet ingericht om om te gaan met deze schommelingen.

2.3.5.2 JIT

JIT is een pull systeem, waarbij de afdeling die de producten nodig heeft bepaalt wanneer de producten nodig zijn. De vraag naar materiaal vindt plaats door het gebruik van simpele kaarten, tekens of lege containers om de verplaatsing en productie van materiaal te initiëren. Dit resulteert in een simpele, visuele en transparante controle. JIT planning is gebaseerd op de productiefrequentie en dus de gemiddelde output per periode in plaats van het absolute volume in een dag of week. JIT veronderstelt en stimuleert flexibiliteit en zo klein mogelijke levertijden. Er zijn twee typen JIT-aanvoer, namelijk de two-bin methode en de kanban methode.

2.3.5.2.1 Two-bin methode

Een two-bin is een simpele aanlevermethode. Vooral wanneer continue aanlevering van onderdelen plaats moet vinden, is het van belang om gebruik te maken van een simpele en duidelijke methode om aan te geven wanneer een bestelpunt bereikt is. De two-bin methode is zo'n simpele methode. De two-bin methode borgt het bestelpunt en de bestelhoeveelheid en heeft in de tweede bin een veiligheidsvoorraad terwijl er wordt geconsumeerd uit de eerste bin. Op een productielocatie staan twee bins gevuld met onderdelen. Wanneer de eerste bin leeg is, is dit het signaal dat er een nieuwe bin moet worden besteld en wordt ondertussen doorgewerkt met onderdelen uit de tweede bin.

2.3.5.2.2 Kanban

Kanban is het Japanse woord voor kaart of signaal. Het is een beheersmethode die het transport tussen verschillende afdelingen regelt. Er zijn drie verschillende typen kanbans:

- Transportkanban; Een transportkanban wordt gebruikt om het signaal aan een voorgaande afdeling af te geven dat materiaal kan worden afgenomen van een voorraad en kan worden getransporteerd naar de gewenste locatie.
- Productiekanban; Dit is een signaal aan een productieproces: en kan gestart worden met de productie van een onderdeel. Het geproduceerde onderdeel kan daarna worden geplaatst in een buffer of voorraad.
- Verkoperskanban; Deze kanbans worden gebruikt om een signaal af te geven aan een leverancier om onderdelen toe te zenden. Het principe is hetzelfde als een transportkanban, alleen wordt deze methode gebruikt voor externe leveranciers.

Welke type kanban ook wordt gebruikt, het principe blijft altijd hetzelfde. Een kanban is een methode die zorgt voor het activeren van transport, productie of levering van een onderdeel of een standaard container van onderdelen. De regels van Kanban zijn als volgt:

- Iedere container heeft een kaart
- Er wordt altijd gevraagd door middel van een kaart door de vragende afdeling. Een voorgaande afdeling mag nooit een onderdeel alvast leveren aan een opvolgende afdeling
- Onderdelen mogen nooit weggehaald worden zonder eerst een kanban te plaatsen
- De containers hebben altijd dezelfde hoeveelheid onderdelen en alleen deze standaardcontainers mogen gebruikt worden
- Alle onderdelen zijn van de juiste kwaliteit
- De totale productie mag de totale hoeveelheid geautoriseerd door de kanban niet overschrijden

2.3.5.3 Keuze tussen MRP en JIT

De krachten van MRP en JIT liggen op verschillende vlakken. MRP en JIT zijn dan ook het beste inzetbaar in verschillende situaties. Slack et al (2007) maken onderscheid tussen "runners", "repeaters" en "strangers". Het onderscheid tussen deze drie soorten artikelen kan als volgt worden samengevat:

- Runners zijn producten of onderdelen die vaak geproduceerd of gevraagd worden, zoals iedere week
- Repeaters zijn producten of onderdelen die regelmatig geproduceerd of gevraagd worden, maar met langere tijdsintervallen
- Strangers zijn producten of onderdelen die op onregelmatige en mogelijk onvoorspelbare tijdsintervallen worden geproduceerd of gevraagd

MRP hoeft alleen te worden ingezet voor strangers. Voor runners en repeaters kan een vorm van JIT worden gebruikt.

Saunders (1994) geeft een aanvulling op Slack. Saunders maakt ook onderscheid tussen runners, repeaters en strangers. Door middel van een pareto-analyse kunnen elk van deze categorieën vervolgens opgedeeld worden naar essentiële en onbeduidende artikelen. Omdat de pareto binnen de runner, repeater of stranger categorie wordt uitgevoerd, is de waarde in dit geval van relatief groot belang. Onbeduidende runners zijn dus over het algemeen goedkope artikelen die vaak gevraagd worden en essentiële strangers de duurere artikelen die niet zo vaak gevraagd worden.

Tabel 2-2 geeft per categorie de aanbevelingen van Saunders weer. Saunders geeft ook richtlijnen voor de vorm van JIT dit gebruikt kan worden.

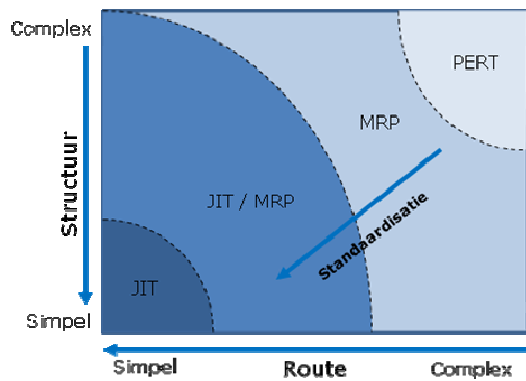
	Runners	Repeaters	Strangers
Essentiële	Kanban	MRP	MRP
Onbeduidende	Two- bin	Two- bin	MRP

Tabel 2-2 Aanbevelingen voor de keuze van MRP/JIT (Saunders, 1994)

Ook de fysieke omvang van het artikel is van belang. Omvangrijke artikelen nemen veel ruimte in beslag, zodat de voorraad laag moet worden gehouden en kanban voorraadbeheersing toegepast kan worden (Saunders, 1994).

Bovendien zijn de complexiteit van zowel proces als product van invloed op de keuze voor MRP of JIT (Slack, 2007). Figuur 2-12 maakt onderscheid tussen de complexiteit van de productstructuur en de complexiteit van de route die een onderdeel af moet leggen. Simpele structuren met simpele routes komen als eerste in aanmerking voor JIT-aansturing. Hoe ingewikkelder de structuur en route, hoe meer vraag er is voor computerondersteuning en dus het gebruik van MRP.

De kunst is om zoveel mogelijk onderdelen met behulp van JIT-aansturing te kunnen regelen door zoveel mogelijk "strangers" te gaan standaardiseren. De pijl in de figuur geeft deze ontwikkeling weer. In de figuur is ook te zien dat voor heel ingewikkelde productstructuren met complexe routes PERT (Program Evaluation and Review Technique) wordt geadviseerd. Dit is een planningsmethode die probabilistische tijdsinschattingen gebruikt. Er wordt niet verder ingegaan op deze methode, omdat deze niet van belang is voor het soort onderdelen bij APZ.



Figuur 2-12 Aanbevelingen voor de keuze van MRP/JIT op basis van complexiteit (Slack (2007))

2.4 Voorwaarden voor succesvolle implementatie lean productie

Lean productie kan tot uitstekende resultaten leiden en kan dus de oplossing zijn om concurrentievoordeel te behalen. Lean kan onderdeel zijn van verschillende strategieën, bijvoorbeeld om kortere levertijden te behalen, de doorloopsnelheid van voorraden te vergroten of productiviteit te verhogen. Bovendien wordt een grote hoeveelheid werknemersparticipatie gevraagd en gestimuleerd, waarvan verschillende verbeteringen zichtbaar zijn geworden, waaronder de kwaliteit van producten. Genaldy en Karwowski (2003) claimen in hun artikel dat duidelijk is dat de lean productie theorie gekozen dient te worden boven de massaproductie wanneer hoge kwaliteit en hoge diversiteit gevraagd wordt voor een grote variëteit aan klanten. Toch kan het lastig zijn het lean productie concept te implementeren en ook na implementatie kunnen problemen zich voordoen. Krajewski et al (2009) geven een overzicht van de voorwaarden die aanwezig moeten zijn of waarin verandering plaats moet vinden zodat lean productie tot de beste resultaten leidt.

Zo kan door implementatie van lean druk ontstaan bij werknemers. Omdat voorgeschreven procedures gevolgd dienen te worden, kan er een gevoel ontstaan van een verlies aan autonomie. Bovendien schetsen Genaldy en Karwowski (2003) dat onduidelijk is wat de impact van lean is op de werkdruk en de gezondheid van medewerkers. Er zijn vermoedens dat lean zelf geen slechte invloed heeft op het welzijn van de operators, maar dat een slechte implementatie wel een negatieve invloed kan hebben doordat er in plaats van "slimmer te werken" toch gefocussed wordt op "harder werken". Omdat de mens centraal staat in het lean productie concept, moet rekening gehouden worden met een goede implementatie van lean.

Ten tweede is het belangrijk dat medewerking en vertrouwen op de werkvloer heerst, tussen alle lagen van de organisatie. Operators krijgen taken die voorheen tot managementtaken behoorden. Hiervoor is een sfeer van samenwerking en vertrouwen nodig. Het kan lastig zijn om deze sfeer te creëren.

Het kan zijn dat beloningssystemen, functieomschrijvingen en KPI's aangepast moeten worden. Wanneer de extra productie van afdeling x bijvoorbeeld niet bijdraagt aan de totale waardeketen, kan afdeling x niet zomaar gevraagd worden minder te gaan produceren, wanneer afdeling x afgerekend wordt op de output van die afdeling. Womack (2007) beschrijft dat er over functies heen gedacht moet kunnen worden. Organisaties zijn nog altijd georganiseerd op een functionele manier, waardoor managers verantwoordelijk en geïnteresseerd blijven in hun eigen vakgebied en functie binnen de organisatie. Lean gaat over functies en organisaties heen. Dat moet geborgd worden in de organisatie en in de KPI's en beloningssystemen. Ook de taken van mensen kunnen veranderen. Er zal gekeken moeten worden of dit gevolgen heeft voor de functieomschrijvingen.

Naast deze menselijke aspecten zijn nog een aantal overwegingen te noemen. Met minder voorraden is het minder goed mogelijk om op het laatste moment nog te veranderen in productievraag. Een oplossing hiervoor is om de productieplanning voor een bepaalde tijd te bevriezen, zodat de productie niet meer veranderd wordt.

Lean productie streeft naar kleine productiehoeveelheden en daarom is het zaak om te streven naar korte omsteltijden. Wanneer deze niet bestaan of niet bereikt kunnen worden, kan een van de belangrijkste kenmerken van lean niet succesvol toegepast worden.

De besparingen van voorraad hebben alleen voordeel wanneer frequente, kleine transporthoeveelheden bereikt kunnen worden. Dit kan bijvoorbeeld lastig zijn bij lange geografische afstanden. Bovendien moet de levering betrouwbaar zijn om het systeem goed te laten draaien.

Womack (2007) geeft een overzicht van de status van lean productie anno 2007. Hij noemt daarin een aantal gevaren bij de implementatie van lean. Toyota had een strategie om lean te implementeren, daarna volgden de tools. De opvolgers van Toyota gebruikten de middelen en pasten daarna hun strategie aan. De tools zijn zeer krachtige hulpmiddelen om het concept te implementeren, maar om vol te houden en succes te behouden, is het absoluut nodig om een duidelijke strategie en visie van het management te hebben over de te volgen weg. Continue verbetering zal hierdoor plaats blijven vinden.

2.5 Een kritische noot

Sandberg (2007) waarschuwt voor de verafgoding van lean productie. Lean productie heeft zich bewezen als zeer krachtige en competitief sterke productiefilosofie, maar er zijn gevaren. Ten eerste kan lean nooit de enige goede productiemethode zijn, er zijn meerdere methoden. Zo is een alternatief ontwikkeld in de Uddevalla fabriek van Volvo, het concept van de "enriching production". In deze fabriek werden auto's (totaal anders dan in het lean-concept) volledig door een team gezamenlijk gebouwd. Alhoewel de fabriek na drie jaar haar deuren moest sluiten, heeft het "experiment" van Uddevalla bewezen dat er andere en misschien wel betere manieren zijn om productiviteit te behalen.

Het grootste kritiekpunt dat Sandberg (2007) uit, is dat met lean productiviteitsverhoging behaald kan worden, maar dat dit wel ten koste gaat van een prettige werkomgeving voor medewerkers. De doelen van het enriching production concept zijn zowel prettig werk als productiviteitsverhoging. Het concept gaat ervan uit dat door prettig werk de productiviteit nog verder stijgt. Lean kan nooit het perfecte niveau van menselijke productiviteit bereiken, omdat – zo stelt Sandberg (2007) – altijd een bepaalde hoeveelheid "vet" nodig is om een werkomgeving een behoorlijke werkomgeving te maken voor menselijke activiteit. Een plek waar je je kunt ontwikkelen als mens. De culturele verschillen tussen Japan en bijvoorbeeld Europa maken dat het lean concept beter werkt in Japan dan in een land als Nederland.

Hayes et al (2005) plaatsen ook een kritische noot bij lean productie. Het systeem heeft enorme successen bereikt, maar er zijn ook bedrijven die zijn teleurgesteld door lean te implementeren. Lean is geen wondermiddel om successen te bereiken. Successen bereiken met behulp van lean betekent keihard werken. En zelfs door hard te werken zijn situaties te bedenken waar lean niet het goede hulpmiddel is.

Het implementeren van lean, impliceert bij voorbaat dat je als bedrijf beter kunt worden, maar nooit de beste omdat je bij voorbaat al een systeem imiteert en daarmee het systeem nooit kunt overtreffen.

Shah et al (2002) ten slotte tonen aan dat zowel in procesindustrieën als in stuksgewijze productie lean gebruikt wordt en tot successen leidt. In deze studie blijkt overigens wel dat hoe groter en hoe ouder een bedrijf is, des te slechter de prestaties door implementatie van lean zijn.

2.6 Samenvatting

In dit hoofdstuk is het theoretisch kader van dit onderzoek behandeld. Als eerste is het lean productie concept behandeld. Lean productie tracht verspillingen te elimineren om een operatie te ontwikkelen die sneller, betrouwbaarder, hogere kwaliteit producten levert en opereert met lage kosten. Vervolgens zijn de mogelijkheden beschreven om een lay-out in te delen. Er zijn vier typen lay-out: de vaste positie lay-out, de proces of functionele lay-out, cel lay-out en product- of lijnlay-out. Vervolgens is beschreven hoe het lean concept toegepast kan worden om een lay-out te ontwikkelen en zijn de voorwaarden voor succesvolle implementatie van een lean lay-out beschreven. Afgesloten is met een kritische noot over lean.

Nu de voorwaarden voor succesvolle implementatie van een lean lay-out duidelijk zijn en nu bekend is wat de literatuur voor opties aandraagt om een lean lay-out te ontwerpen, kan bekeken worden welke eisen en randvoorwaarden vanuit Ahrend aan lay-out ontwerp gesteld worden. Deze eisen en randvoorwaarden worden in het volgende hoofdstuk behandeld. In hoofdstuk 4 wordt de literatuur aan de praktijk gekoppeld door een methode te ontwikkelen voor lay-out ontwerp voor de assemblageafdeling van APZ.

3 Randvoorwaarden en wensen aan lay-out ontwerp

Dit hoofdstuk geeft antwoord op de tweede onderzoeksvraag:

Welke randvoorwaarden en wensen worden door APZ aan lay-out ontwerp gesteld en welke wensen volgen uit een analyse van de huidige knelpunten en verspillingen van de assemblageafdeling?

Nu de kaders van het onderzoek duidelijk zijn, volgen in dit hoofdstuk de randvoorwaarden die vanuit de praktijk gesteld worden aan het lay-out ontwerp. Bovendien worden aanvullende wensen geïnventariseerd. Dit gebeurt door in paragraaf 3.1 op structurele wijze te analyseren welke randvoorwaarden uit de praktijk volgen. In paragraaf 3.2 wordt een analyse gemaakt van APZ op basis van het lean concept. Dat betekent dat de verspillingen in kaart gebracht worden, zodat duidelijk wordt waar precies de knelpunten zitten.

3.1 Randvoorwaarden en wensen aan lay-out ontwerp door APZ

In deze paragraaf worden de randvoorwaarden en wensen binnen APZ in kaart gebracht door een analyse van de functies die invloed hebben op lay-out ontwerp. Slack et al (2007) plaatsen lay-out ontwerp in een framework van operations management. Lay-out ontwerp valt in dit framework onder de grotere hoed "procesontwerp". Het ontwerp wordt in z'n geheel beïnvloed door de gevolgde operations strategie en beïnvloedt op zijn beurt de planning en beheersingsfunctie. Onder procesontwerp vallen naast lay-out ontwerp ook ontwerp van het supply network, de gekozen procestechnologie, productontwerp en functieontwerp.

Al deze functies zijn bij APZ in verschillende functies onder gebracht. De randvoorwaarden en wensen aan lay-out ontwerp worden geïnventariseerd door een analyse van APZ. Dit gebeurt door de verschillende functies in de organisatie van APZ in kaart te brengen en van daaruit te beoordelen of in dat functiegebied randvoorwaarden gesteld worden aan lay-out ontwerp en te inventariseren of er nog extra wensen zijn.

Op basis van interviews met managers, afdelingshoofden en vloermedewerkers en op basis van bestudering van interne documentatie wordt beoordeeld of de functie binnen APZ invloed kan hebben op het lay-out ontwerp van de assemblageafdeling en zijn vervolgens de kenmerken van de functie beschreven die leiden tot de randvoorwaarden en wensen aan lay-out ontwerp voor de assemblageafdeling. Aan de hand van interviews met de verantwoordelijk managers zijn de randvoorwaarden geverifieerd.

In Figuur 1-4 is de structuur van APZ weergegeven. De functies bij APZ zijn achtereenvolgens: algehele strategie (of operations strategy), financiën, inkoop, personeel en organisatie, productontwikkeling, productie en logistiek. Deze functies worden in dit hoofdstuk behandeld. Waar mogelijk worden de consequenties van de randvoorwaarden gegeven.

3.1.1 Strategie APZ

In het assemblageafdelingsplan 2009 is de visie van APZ gegeven. Deze visie vormt de basis voor de vertaling naar de randvoorwaarden en wensen ten aanzien van het lay-out ontwerp. De visie is als volgt:

- APZ wil zich onderscheiden richting klant door een uitmuntende kwaliteit, flexibiliteit en leverbetrouwbaarheid
- APZ wil maximaal bijdragen aan de winstgevendheid van Ahrend NV door het continu verbeteren van producten en processen
- APZ wil een voorbeeldbedrijf zijn op het gebied van lean manufacturing en maatschappelijk verantwoord ondernemen
- APZ wil een aantrekkelijke werkgever zijn voor haar medewerkers door het creëren van een inspirerende en innovatieve werkomgeving met volop ontwikkelingskansen

Randvoorwaarden

Uit de strategie zijn de volgende randvoorwaarden opgesteld:

- Het juiste product moet gemaakt worden. De eerste prioriteit hierbij is de huidige kwaliteit behalen, vervolgens is de leverbetrouwbaarheid van belang en als het product van voldoende kwaliteit op tijd gereed is, ligt de derde prioriteit bij een efficiënte productie van het product. Concreet betekent dit dat het huidige niveau van kwaliteit en leverbetrouwbaarheid minimaal behouden moet blijven
- Het lay-out ontwerp moet passen binnen het lean productie concept
- Een nieuwe lay-out mag niet negatief bijdragen aan de mate van maatschappelijk verantwoord ondernemen

Aanvullende wensen

Naast de genoemde randvoorwaarden, zijn er aanvullende wensen gedefinieerd ter verbetering van de huidige prestatie:

- APZ wordt vaak bezocht voor bedrijfsbezoeken, vanwege de strategische ligging in de buurt van luchthaven Schiphol. Daarom wordt representativiteit gewenst.
- De focus van Ahrend NV ligt steeds meer op maatschappelijk verantwoord ondernemen. Het is een wens om de lay-out zo maatschappelijk verantwoord mogelijk in te richten.

3.1.2 Financiën

Op financieel gebied heeft APZ een aantal wensen en daarnaast worden voor de implementatie van een nieuwe lay-out voor de assemblageafdeling een aantal randvoorwaarden geplaatst.

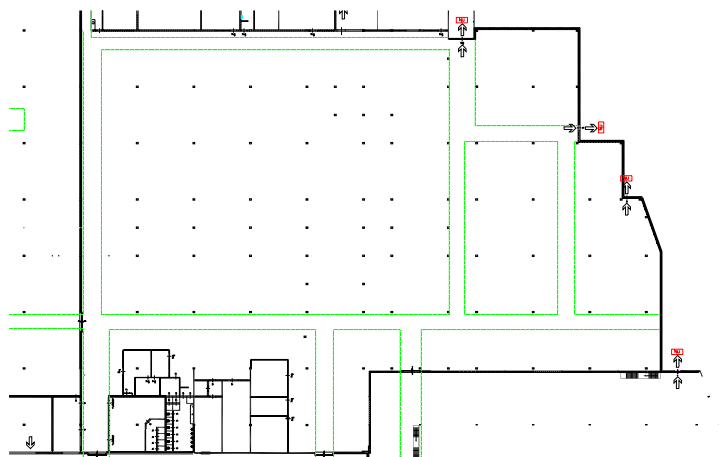
Ten eerste bestaat de wens om de voorraden te verlagen, omdat de voorraden een groot beslag leggen op het kapitaal en cash in de voorraden zit opgeslagen. Daaruit volgt ook de vraag om de voorraden in ieder geval niet te laten stijgen.

Om te besluiten of een nieuwe lay-out geïmplementeerd kan worden, zijn er lange- en kortetermijnoverwegingen.

Op de lange termijn betekent dit dat de terugverdiëntijd van het project niet te lang mag zijn. Uiteraard is niet exact te zeggen hoe lang dit is, omdat de investeringsbeslissing niet alleen gemaakt wordt op basis van de terugverdiëntijd maar van meerdere factoren afhangt. De terugverdiëntijd mag in ieder geval niet groter zijn dan drie jaar.

Op de korte termijn betekent dit dat in het licht van de economische recessie van dit moment de initiële investering niet te groot mag zijn om de investering nu plaats te laten vinden. In ieder geval is vanuit die overweging de randvoorwaarde gesteld dat een nieuwe lay-out in de huidige fabriekshal moet passen. Dit betekent dat zowel de oppervlakte als de vorm van de huidige afdeling meegenomen moet worden. Hierin dient dan ook rekening gehouden te worden met de aanwezigheid van pilaren en (nood)uitgangen.

De vorm, palen en uitgangen van de afdeling zijn weergegeven in Figuur 3-1. De oppervlakte van de ruimte is ongeveer 5290m².



Figuur 3-1 Vorm en vaste inrichting assemblageafdeling

Randvoorwaarden

De randvoorwaarden die vanuit financiën zijn opgesteld, zijn de volgende:

- De voorraad mag niet stijgen
- De terugverdiëntijd mag niet groter zijn dan drie jaar
- De nieuwe lay-out moet passen in de huidige afdeling wat betreft vorm (zie Figuur 3-1) en oppervlakte (5290m²)
- De initiële investering mag niet te groot zijn

Aanvullende wensen

De volgende wens bestaat vanuit financieel oogpunt:

- Het is een wens om de voorraad te verlagen

3.1.3 Inkoop

De inkoopfunctie is binnen Ahrend verantwoordelijk voor de strategische en tactische inkoop. De dagelijkse materiaalverwerving valt hier echter niet onder, die behoort tot de logistieke functie. Inkoop is bezig haar functie voor te bereiden op een lean productie binnen Ahrend. Dit betekent dat de banden met leveranciers waar nodig versterkt worden, zodat in de toekomst samen met leveranciers beter rekening gehouden kan worden met de productiewensen aan levering. Hierbij kan gedacht worden aan de verpakkingswijze, de verpakkingshoeveelheid, de leveringsgrootte en de leveringsfrequentie.

Vanuit de inkoopfunctie worden aan lay-out ontwerp geen randvoorwaarden of aanvullende wensen gesteld.

3.1.4 Personeel & Organisatie

Ahrend streeft naar een organisatie met een prettige werkomgeving voor haar personeel. Dit wordt verwoord in vijf kernwaarden: Integriteit, respect en vertrouwen, loyaliteit, ondernemerschap en flexibiliteit. Er zijn zeven sociale doelstellingen geformuleerd:

1. Aanbieden van uitdagende en effectieve functies, waarin mensen hun capaciteiten kunnen inzetten en hun behoefte om verantwoordelijkheid te dragen in handelen kunnen omzetten.
2. Effectief gebruik maken van alle aanwezige menselijke vermogens en capaciteiten.
3. Faciliteren van ontwikkelingsmogelijkheden van medewerkers.
4. Ontwikkelen en in stand houden van arbeidsvoorwaarden waarvoor mensen willen werken.
5. Zorgen voor een veilige en gezonde werkomgeving van medewerkers.
6. Onderhouden van goede en zakelijke relaties met aandeelhouders, medewerkers en hun vertegenwoordigers, afnemers en leveranciers en de samenleving waar Ahrend deel van uitmaakt.
7. Loyaal en zorgvuldig naleven van overeenkomsten en wetten.

Randvoorwaarden

De sociale doelstellingen resulteren in vier randvoorwaarden:

- De veiligheid op de werkvloer moet in ieder geval op de huidige standaard blijven
- Het niveau van uitdagende en effectieve functies en het faciliteren van ontwikkelingsmogelijkheden voor medewerkers moet minimaal gelijk blijven
- De productie moet met de competenties van de huidige personele bezetting gedraaid kunnen worden. Dit betekent dat de werkzaamheden niet op dusdanige wijze van aard mogen veranderen dat de capaciteiten van het personeel te kort schieten en deze tekortkomingen niet door scholing opgelost kunnen worden
- De medewerkers van APZ vallen onder de Collectieve Arbeidsovereenkomst Metalelektro. De nieuwe inrichting mag niet tot een conflict leiden met dit CAO

Aanvullende wensen

Naast de genoemde randvoorwaarden, zijn er aanvullende wensen gedefinieerd ter verbetering van het niveau van de arbeidsomstandigheden ten aanzien van veiligheid, gezondheid en welzijn. Een risico-inventarisatie en -evaluatie, uitgevoerd in juli 2008 door de Arbo Unie en de interne 5C Quick compliance ronde, uitgevoerd in november 2008 leverde voor de assemblageafdeling een aantal aandachtspunten op. Hiervan is een selectie gemaakt; de volgende uitgangspunten zijn van belang voor dit onderzoek, hiervan is de oplossing een wens is voor dit onderzoek:

- Op veel plaatsen is de vloer glad, ongelijk of sterk vervuild. Hierdoor is struikelgevaar aanwezig. De vloer is aan het verzakken en achter in de assemblageafdeling liggen losse platen. Het is een wens om te overwegen of de vloer vervangen kan worden tijdens de implementatie van nieuw lay-out ontwerp
- Er liggen regelmatig luchtslangen op de grond, dit levert struikelgevaar op. Het is een wens om de luchtslangen om te leiden, zodat er geen struikelgevaar meer is tijdens het gebruik.
- Het is een wens rij-, voetpaden en oogdouches duidelijke plekken te geven en deze duidelijk aan te geven en schoon te houden
- Het is een wens om het werk overzichtelijker te maken door op de werkplekken maximaal een dagvoorraad aanwezig te laten zijn

3.1.5 Productontwikkeling

De afdeling productontwikkeling ontwerpt en ontwikkelt producten met een zo goed mogelijke prijs-kwaliteitverhouding. Dit doet de afdeling door marktkennis, creativiteit en productiekennis te bundelen tot innovatieve producten die tijdloos, fraai en functioneel zijn. Er wordt onderscheid gemaakt tussen de moneymakers en de specials, waarbij de eerste groep staat voor de producten die verantwoordelijk zijn voor het grootste deel van de omzet van Ahrend en de tweede groep alle overige producten zijn.

Productontwikkeling verwacht de komende jaren een toename in het aantal productvarianten en ook een toename van de speciale wensen en variatie binnen de productgroepen.

Randvoorwaarden

De ontwikkelingen in productaanbod zijn vertaald naar de volgende randvoorwaarden:

- De productie moet zo min mogelijk kosten met zich meebrengen en daarom zo efficiënt mogelijk worden ingericht, met name voor de moneymakers
- De productie moet zo flexibel ingericht zijn dat alle varianten geproduceerd kunnen worden en wijzigingen in het productaanbod gemakkelijk in te passen zijn

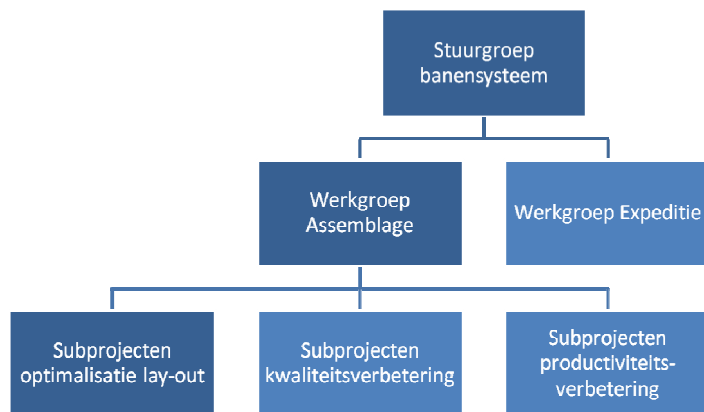
Vanuit productontwikkeling komen geen aanvullende wensen.

3.1.6 Productie

In Figuur 1-4 is te zien dat de productie naast de assemblageafdeling bestaat uit de frameproductie, de afdeling stofsets, de bladen en de technische dienst.

De assemblageafdeling monteert de producten die klanten vragen. De capaciteit van de assemblage wordt daarom bepaald door de klantvraag. Als uitgangspunt wordt de klantvraag van 2008 genomen: die moet in ieder geval geproduceerd kunnen worden. Het productieproces wordt bepaald door de productie-eisen die in de productontwikkelingsfase bepaald zijn.

Binnen de assemblageafdeling vindt dit onderzoek als subproject "lay-out globaal" plaats binnen de werkgroep "Optimalisatie assemblage". De structuur van de werkgroepen en subprojecten is weergegeven in Figuur 3-2.



Figuur 3-2 Structuur werkgroep "Optimalisatie Assemblage"

Binnen de werkgroep "Optimalisatie assemblage" vinden binnen het subonderdeel "optimalisatie lay-out" de volgende subprojecten plaats:

- Productdragers "project producten"
- Two-bin
- Verpakken
- Scan en RFID/Onderzoek MES-systeem
- Optimalisatie werkplekken

De werkgroep "Optimalisatie assemblage" staat sinds april 2009 in de wacht, omdat deze is omgevormd tot de werkgroep "Value Engineering" waarin het lean productie concept voor de meest verkochte producten wordt ingevoerd. Het project "optimalisatie werkplekken" heeft volledige prioriteit gekregen in de werkgroep "Value Engineering" en de resultaten daarvan worden in dit onderzoek gebruikt. Hierin is ook het "two-bin" project meegenomen.

De wens is om voor de overige projecten aanbevelingen te doen door deze projecten mee te nemen in het 'overkoepelende' project "lay-out globaal".

Het moment van produceren op de frameproductie, stofsets en bladen wordt bepaald door het moment van assembleren op de assemblageafdeling. Gegeven de vraag voor die dag, clusteren de afdelingen soortgelijke productie. Er zijn twee situaties denkbaar:

- Op assemblage vindt de productie van dezelfde soort producten zoveel mogelijk op één dag plaats. Dit heeft als voordeel voor de voorgaande afdelingen dat weinig omstellingen plaats hoeven te vinden omdat ook daar in grotere batches geproduceerd kan worden.
- Op assemblage vindt iedere dag productie van ongeveer dezelfde mix van producten plaats. Dit heeft als nadeel voor overige afdelingen dat de totale omsteltijden groter worden, maar als voordeel dat de productie voorspelbaarder wordt en er minder variatie in de productiemix zit. Hierdoor is de piekvraag op specifieke machines bijvoorbeeld lager, waardoor de capaciteit daarvan omlaag kan. Door de omsteltijden te verlagen, gaan op deze manier ook voorgaande afdelingen mee in het lean productie concept.

Omdat de algemene wens is de hele fabriek in te gaan richten naar het lean-principe, is de wens om de productmix op de assemblage iedere dag zo gelijkmatig mogelijk te houden.

Het takenpakket van de Technische Dienst concentreert zich tot drie categorieën:

- Verantwoordelijk voor het verhelpen van storingen en het doen van preventief onderhoud
- Het begeleiden bij het doen van hardwarematige investeringen
- Het begeleiden bij het installeren van hardware

Hieruit volgen geen randvoorwaarden of aanvullende wensen.

Randvoorwaarden

De productie van APZ stelt de volgende randvoorwaarden aan de ontwikkeling van de lay-out:

- De capaciteit van productie van de assemblageafdeling moet minstens gelijk zijn aan de klantvraag van 2008
- De huidige assemblagebewerkingen en hiervoor gebruikte machines en gereedschappen blijven de basis voor productie en hoeven in dit ontwerp niet heroverwogen te worden. Dit heeft als consequentie dat de door het proces vastgelegde veiligheid en kwaliteit gelijk zullen blijven

Aanvullende wensen

De productie van APZ heeft de volgende wensen ten aanzien van de ontwikkeling van de lay-out:

- Het is een wens aanbevelingen te krijgen voor de productdragers van "project producten"
- Het is een wens aanbevelingen te krijgen voor de verpakkingslocatie
- Het is een wens aanbevelingen te krijgen voor het gebruik van scan, RFID en/of een MES-systeem
- Het is een wens om de productmix gelijkmatiger te maken

3.1.7 Logistiek

Onder de logistieke functie valt de materiaalverwerving, het magazijn, de expeditie en het klantcontact.

De materiaalverwerving behelst de dagelijkse inkoop van materialen en vindt plaats op basis van het MRP-systeem. Op basis van door inkoop vooraf vastgestelde bestelhoeveelheden en door materiaalverwerving vastgestelde bestelmomenten, hoogtes van veiligheidsvoorraden en -dagen bepaalt het systeem wanneer iets besteld moet worden.

In het magazijn vindt de opslag plaats van alle inkooponderdelen. De leveringen aan de assemblageafdeling geschieden door middel van two-bin bakjes, door kanbankaarten of door één-op-één, door voor sommige producten exact die hoeveelheid te leveren die die dag nodig is. Voor de laatste categorie wordt uit het ERP-systeem een dag-uitgiftelijst voor die dag uitgedraaid en die wordt uitgeleverd. Voor de two-bin bakjes geldt dat er in de huidige situatie een hoeveelheid van drie keer een gemiddelde dagproductie in een bakje zit. Er zijn op dit moment leveringsafspraken die er als volgt uitzien: als de assemblageafdeling voor 10.00uur een leeg bakje of kanbankaart heeft ingeleverd bij het magazijn, komt het bakje gevuld dezelfde dag voor 16.00uur weer terug. De één-op-één artikelen zijn aan het begin van de dag aanwezig.

De expeditie verzorgt de distributie van de eindproducten aan de klant. De afdeling is afhankelijk van de capaciteit van de assemblageafdeling en van de betrouwbaarheid van de aanlevering van assemblage. Er is op dit moment een geplande voorraad aanwezig van drie of vier dagen (zie ook Figuur C-1 de offset). In de praktijk blijkt dit echter gemiddeld vijf dagen te zijn. Deze voorraad bestaat vanwege het tekort aan capaciteit op de assemblageafdeling, waardoor een volledige klantorder niet op één dag geproduceerd kan worden en vanwege de betrouwbaarheid van de levering van de assemblageafdeling. Bij expeditie speelt de vraag om een automatisch magazijn aan te schaffen om overzicht te verkrijgen in de voorraad van eindproducten. Een lagere voorraad zou bijdragen aan dit overzicht en uiteindelijk zelfs de noodzaak voor een automatisch magazijn overbodig kunnen maken. De wens van expeditie is dus om een verhoging en flexibilisering van de capaciteit op de assemblageafdeling om een volledige order op een dag te kunnen produceren en daarbij is de wens een meer betrouwbare levering.

De afdeling Customer Service Support is verantwoordelijk voor de klantorderplanning. De verschillende verkoopcentra plaatsen hun bestelling in het Enterprise Resource Planning (ERP) systeem, Triton genaamd. Een ERP-systeem is een geïntegreerd systeem in een organisatie waarin in een productiecontext planning en beheer geïntegreerd worden met de andere functies in het bedrijf. De voorgestelde veranderingen moeten aan te passen zijn in het ERP-systeem.

Nadat de orders zijn binnengekomen, maken de planners een productieplanning waar de orders zo gepland worden dat rekening gehouden wordt met de capaciteitsrestricties van de assemblageafdeling. Dit proces wordt afvlakking genoemd en gebeurt op basis van het maximale aantallenoverzicht. Dit overzicht is vooral gebaseerd op de wensen vanuit de assemblageafdeling, maar er wordt wel aangegeven wanneer andere afdelingen de bottleneck in productie zijn. Het is vanzelfsprekend dat het ideaal zou zijn wanneer de afvlakking voor assemblage minder beperkend zou zijn. Daarom vraagt de logistieke functie om een flexibelere capaciteit op de assemblageafdeling.

Randvoorwaarden

- Het huidige niveau van flexibiliteit van de capaciteit op de assemblage moet minimaal gelijk blijven
- De voorgestelde veranderingen moeten aan te passen zijn in het ERP-systeem.

Aanvullende wensen

- Verhoging en flexibilisering van de capaciteit op de assemblageafdeling wordt gewenst
- Het is gewenst om de betrouwbaarheid van exacte leverdag aan expeditie te vergroten

3.2 Wensen aan lay-out ontwerp door analyse knelpunten assemblageafdeling APZ door middel van lean productie technieken

Deze paragraaf behandelt de analyse van de huidige prestatie van de assemblageafdeling. Dit gebeurt door een Current State Map te maken met behulp van de techniek Value Stream Mapping beschreven in paragraaf 2.1.1.6. Ook worden de verspillingen in het huidige proces in kaart gebracht. Hieruit kunnen de wensen voor dit onderzoek nog specifieker in kaart worden gebracht.

3.2.1 Value Stream Map

Een veelgebruikte techniek om een idee te krijgen van de processen en van de activiteiten die waarde toevoegen is Value Stream Mapping. De Value Stream Map geeft een indruk van de verspillingen in het proces door het verschil te geven tussen de totale cyclustijd en de waardetoevoegende tijd. Het verschil daartussen wordt veroorzaakt door verspillingen. Bijlage C geeft de Current VSM weer voor het product dat het meeste verkocht wordt, de A230 bureaustoel. De VSM is weergegeven voor APZ als geheel en er is specifiek ingezoomd op de assemblageafdeling met een eigen VSM. De VSM is tot stand gekomen door de verantwoordelijke personen in het proces hun eigen stukje van de VSM in kaart te laten brengen. Deze zijn samengebracht tot een VSM voor heel APZ.

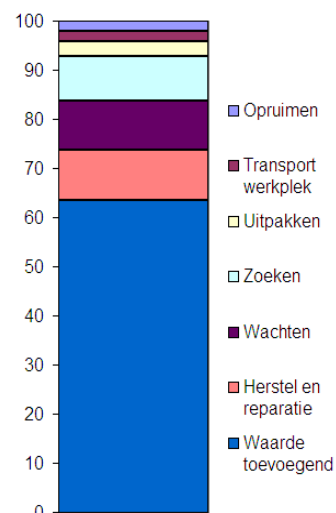
3.2.1.1 Knelpunten Value Stream Map

In beide Value Stream Maps is te zien dat in het totale proces ongeveer 3% van de tijd besteed wordt aan waardetoevoegende activiteiten. Wanneer de assemblageafdeling geïsoleerd bekeken wordt, blijkt hier 1,07% van de doorlooptijd aan waardetoevoegende activiteiten besteed te worden voor een A230 bureaustoel. In de Value Stream Map in Figuur E-3 is geïdentificeerd waar de grootste voorraden aangehouden worden. Bovendien is te zien dat overal waar waardetoevoegende handelingen plaatsvinden geen goede doorstroom of flow plaatsvindt, omdat de voorraad groter is dan één dag terwijl het logistieke concept voorschrijft dat dit maximaal één dag mag zijn.

Op de assemblageafdeling is deze flow een duidelijk probleem. Daarom is een van de wensen om meer flow op de assemblageafdeling te krijgen.

3.2.2 Verspillingen in het huidige proces

Om te bepalen welke verspillingen in het proces voorkomen en wat die verspillingen APZ kosten, is een inschatting gemaakt van de kosten van de verspillingen. De uitwerking van de berekening en een onderbouwing van de gegevens zijn te vinden in bijlage D. De gegevens zijn onder andere verzameld door monteurs te observeren gedurende hun werkzaamheden. De waarnemingen zijn op twee verschillende werkplekken geweest. De monteurs zijn willekeurig gekozen. De betreffende monteurs is verteld dat een waarneming plaatsvond, dat de waarneming anoniem genoteerd werd en dat er geen directe consequenties te verwachten waren door de waarnemingen. Hierdoor is getracht om de werkzaamheden zo normaal mogelijk te laten verlopen. Figuur 3-3 vat de tijdsverdeling van de werkzaamheden van de monteurs weer.



Figuur 3-3 Tijdsverdeling monteur

Er is een grijs gebied tussen verspillingen en waardetoevoegende activiteiten. Sommige activiteiten zijn nu eenmaal niet waardetoevoegend, maar wel noodzakelijk voor het proces. Het gaat dan bijvoorbeeld om het pakken van een schroefje om een armlegger mee vast te schroeven. Als het schroefje erg ver weg ligt, is dit een verspilling. Het pakken van dichtbij is echter noodzakelijk. Dit soort activiteiten zijn bij de waarnemingen dan ook niet als verspillingen aangeduid.

Het overzicht van de kosten van de verspillingen is te vinden in Tabel 3-1. Zoals te zien is, valt in het ideale geval bijna acht euroton te besparen. Bijna een derde van de kosten wordt verklaard door defecten of kwaliteitsproblemen. Een kwart wordt verklaard door niet-waardetoevoegende beweging in de vorm van zoek- en opruimtijd. Al deze beweging is op dit moment nodig door de inrichting van het proces en de fysieke inrichting.

De verspillingen zijn enkel berekend voor de assemblageafdeling. Dat betekent dat bijvoorbeeld kosten van externe kwaliteitsdefecten (na assemblage), maar ook aanleverend transport (voor assemblage) niet zijn meegenomen in de berekening.

Verspilling	Gemeten	Kosten ten gevolge van de verspilling
Overproductie	5 dagen overproductie $\approx$ 320.000 euro	38.400 euro
Wachttijd	4,3 FTE wachttijd $\approx$ 172.000 euro	172.000 euro
Transport	1,8 FTE transporttijd $\approx$ 71.120 euro	71.120 euro
Proces	1,3 FTE uitpak- en overlegtijd $\approx$ 53.320 euro	53.320 euro
Vorraden	WIP $\approx$ 301.000 euro	36.120 euro
Beweging	4,8 FTE zoek- en opruimtijd $\approx$ 192.480 euro	192.480 euro
Defecten	1 FTE kwaliteitsdienst, 4,4 FTE herstel- en reparatietijd op assemblage en 1600 euro kosten overige afdelingen door oorzaak assemblage $\approx$ 228.750 euro	228.750 euro
Totaal		792.190 euro

Tabel 3-1 Inschatting van de huidige verspillingen

NB. In de verspilling “Wachttijd” zou de wachttijd van machines eigenlijk ook meegenomen moeten worden. Het is echter niet mogelijk om hier kosten aan te verbinden. Gemiddeld staat 43% van de productielijnen stil. Op het moment zijn er 26 productielijnen (zie Bijlage A), dit betekent dat er op een willekeurig moment gemiddeld 11 lijnen stilstaan.

De wens is om alle verspillingen volledig te elimineren. Dit kenmerkt het concept van lean: trachten een niveau van perfectie te bereiken dat nooit behaald zal kunnen worden.

Overigens wordt bij lay-outontwerp snel gedacht aan het reduceren van transportkosten. In Tabel 3-1 is echter te zien dat de transportkosten maar een kleine 9% van de verspillingen in beslag nemen. Daarom ligt de focus in dit onderzoek niet op het fysiek schuiven met de huidige productielijnen om de afstand en daarmee de transportkosten te verlagen. Hier zal immers niet de grootste winst geboekt worden. Dit onderzoek focust op het ontwerp van de lay-out, dat wil zeggen inclusief het voortraject van het ontwikkelen van de inrichting van productielijnen.

3.2.3 Samenvatting: wensen aan lay-out ontwerp

De analyse vanuit het lean concept levert twee extra wensen aan lay-out ontwerp. Deze twee wensen dragen tegelijkertijd bij aan het bereiken van de doelstelling. De wensen zijn:

- Zorg voor meer flow of doorstroom op de assemblageafdeling
- Reduceer alle verspillingen zoals gedefinieerd in Tabel 3-1 zoveel mogelijk

3.3 Samenvatting

Dit hoofdstuk bevat de randvoorwaarden die vanuit APZ gesteld worden aan lay-out ontwerp. Samen met de aanvullende wensen die zijn gesteld, zijn deze samengevat in bijlage D. In het volgende hoofdstuk wordt allereerst beschreven hoe met lean aan deze randvoorwaarden en wensen voldaan kan worden. Vervolgens wordt deze oplossing – die volgt uit toepassing van de theorie uit hoofdstuk 2 op de randvoorwaarden en wensen van hoofdstuk 3 – verder uitgediept door een concrete methode te beschrijven voor lay-out ontwerp voor APZ.

4 Methode voor lay-out ontwerp

Dit hoofdstuk geeft antwoord op de derde onderzoeksvraag:

Welke oplossing biedt het lean productie concept voor lay-out ontwerp voor APZ en welke gegevens en ontwerpstappen zijn nodig voor lay-out ontwerp op basis van het lean productie concept?

Dit hoofdstuk behandelt de methode voor lay-out ontwerp. Dat betekent dat als het ware het recept wordt gepresenteerd waarmee voor de assemblageafdeling van APZ een nieuwe lay-out ontworpen kan worden. In hoofdstuk 2 is aan de orde geweest hoe lean productie toegepast kan worden op lay-out ontwerp. In dit hoofdstuk worden de methodes toegepast op de kenmerken en randvoorwaarden die specifiek voor APZ van toepassing zijn. In paragraaf 4.1 wordt besproken hoe lean een oplossing biedt voor APZ. Paragraaf 4.2 volgt met de behandeling van de clustering tot productielijnen ofwel GT-cellen. In paragraaf 4.3 wordt beschreven hoe de lijn gebalanceerd kan worden aan de hand van een methode voor oplossing van het MALBP. Paragraaf 4.4 behandelt de methode voor inrichting van de voormontage en paragraaf 4.5 behandelt de stelregels voor logistieke aanvoer. Paragraaf 4.6 vervolgens laat zien hoe de fysieke inrichting van de assemblagehal tot stand kan komen. Paragraaf 4.7 sluit af met een samenvatting.

4.1 Lean oplossing voor APZ

In paragraaf 2.3 wordt beschreven dat lean het gebruik van een lijnlay-out voorschrijft om flow te stimuleren om omstellingen te reduceren. Op de assemblageafdeling is niet bekend wat de verspilling aan omstellingen is. Het is wel bekend dat gemiddeld 11 van de 26 productielijnen stilstaan. Dit betekent dat de volumes van een specifiek product eigenlijk niet groot genoeg zijn om een specifieke lijn per product te rechtvaardigen. Een gemiddelde lijn staat immers 43% van de tijd stil. In paragraaf 2.3 worden twee technieken beschreven om toch de voordelen van een lijnlay-out te behalen, namelijk de One Worker, Multiple Machines (OWMM) cellen en de Group Technology (GT) cellen. Het productieproces op de assemblageafdeling wordt door veel handmatig werk en weinig automatisering gekenmerkt. Bij implementatie van OWMM cellen zou een behoorlijke investering gedaan moeten worden voor ieder specifiek product. Dit is niet gewenst.

Met behulp van een Production Flow Analysis is het mogelijk om op basis van de huidige producten en productieprocessen te kijken of het mogelijk is GT-cellen te implementeren op de assemblageafdeling. De verwachting is dat het samenvoegen van productielijnen leidt tot een efficiëntiewinst. Dit kan echter alleen wanneer de bewerkingen van de verschillende producten vergelijkbaar zijn.

De rest van dit hoofdstuk behandelt de methode om tot een inrichting van GT-cellen voor de assemblageafdeling te komen. Dit gebeurt door na de clustering de hoofdmontagelijnen te balanceren. Vervolgens wordt de voormontage en de logistieke aanvoer hierop aangepast en vervolgens wordt de lay-out op basis van al deze gegevens fysiek ingericht. Figuur 4-1 geeft deze volgorde voor lay-out ontwerp grafisch weer.



Figuur 4-1 Volgorde methode voor lay-out ontwerp

4.2 Clustering

In deze paragraaf wordt behandeld hoe de PFA beschreven in paragraaf 2.3.2.1 gebruikt kan worden voor de assemblageafdeling van APZ. Uitvoering van de PFA leidt tot GT-cellen die leiden tot een definitie van de verschillende productielijnen. Hiervoor worden op basis van gelijke bewerkingen productgroepen geïdentificeerd. Deze productgroepen vormen vervolgens de verschillende productielijnen.

4.2.1 Production Flow Analysis voor APZ

In paragraaf 2.3.2.1 is de PFA uit de literatuur al aan de orde geweest. De stappen die in de PFA beschreven worden, zijn samengevat de volgende:

1. Beschrijven bewerkingen per product en samenvatten in matrix
2. Matrix herstructureren zodat groepen ontstaan
3. Cellen vormen
4. Uitzonderingen toewijzen of nieuwe cellen vormen

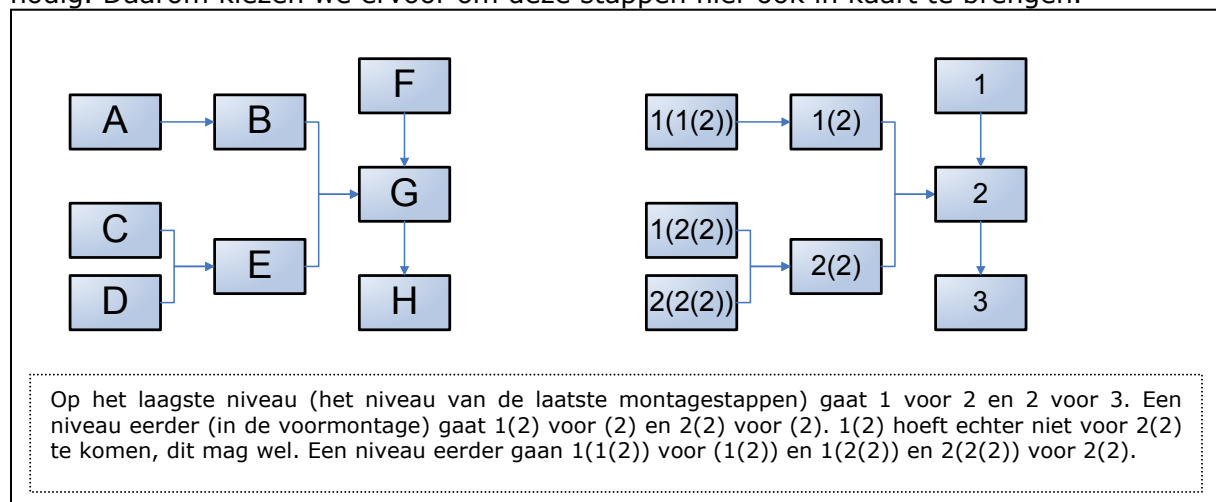
De stappen worden achtereenvolgens voor APZ toegelicht:

Stap 1 Beschrijven bewerkingen per product en samenvatten in matrix

Als eerste zal een lijst met geproduceerde producten opgesteld moeten worden. Om de bewerkingen per product te beschrijven, moet men op de werkplek gaan kijken en opschrijven wat de stappen zijn om een product te maken. Medewerkers kunnen vertellen of er voor verschillende varianten verschillende handelingen bestaan. Voor alle verschillende modellen, moeten de handelingen worden genoteerd. In een matrix worden op de horizontale as de producten weergegeven en op de verticale as de bewerkingen.

Op de assemblageafdeling van APZ bestaan volgreelaties tussen de bewerkingen. Dit betekent dat een bepaalde activiteit pas mag starten wanneer een andere afgerond is. Deze volgreelaties moeten uiteraard meegenomen worden in de PFA. Daarom is een manier bedacht om de volgreelaties in de matrix weer te geven. Normaal gesproken worden in de matrix kruisjes gezet om aan te geven of voor een bepaald product een bewerking uitgevoerd dient te worden. Vanwege de volgreelaties, moet deze combinatie bij APZ met cijfers aangegeven worden in plaats van met kruisjes. Figuur 4-2 geeft een voorbeeld van een typische volgorde voor het proces. Zo is A een voormontage voor B en B een voormontage voor G. Een activiteit mag niet starten wanneer de voorgaande activiteiten niet afgerond zijn. Daarom wordt een nummering aangebracht, deze staat in het deel twee van Figuur 4-2.

De voormontagestappen worden uiteindelijk niet gebruikt in deze fase van de methode voor lay-out ontwerp. Er kan dus voor gekozen worden deze niet mee te nemen in deze fase. Later, zoals in paragraaf 4.3 te lezen is, zijn de voormontagestappen echter wel nodig. Daarom kiezen we ervoor om deze stappen hier ook in kaart te brengen.



Figuur 4-2 Voorbeeld volgreelaties in montage en bijbehorende nummering

In de rest van het rapport, noemen we de stappen van het laagste niveau van Figuur 4-2 hoofdmontagestappen.

Stap 2 Matrix herstructureren zodat groepen ontstaan

Wanneer de matrix gevuld is met de combinatie tussen producten en bewerkingen en daarin ook de volgorde is aangegeven, kan het herstructureren van de matrix starten. De clustering in stap 2 van de PFA vindt plaats op het niveau van de laatste montagestappen. De voormontage stappen worden hier dus niet in meegenomen en kunnen dus verwijderd worden uit de matrix. Het herstructureren gebeurt door de ingevulde vakjes zoveel mogelijk langs een diagonale as van linksboven naar rechtsonder te verplaatsen. Dit gebeurt door te schuiven met rijen en kolommen.

Stap 3 Cellen vormen

De vierkantjes die in de matrix ontstaan vanuit stap 2, vormen "cellen". In Figuur 2-11 is hier een voorbeeld van weergegeven. In een cel worden bepaalde bewerkingen uitgevoerd om bepaalde producten te maken. In dit stadium geven de cellen echter nog geen compleet beeld van de productgroepen en productielijnen.

Stap 4 Uitzonderingen toewijzen of nieuwe cellen vormen

In praktijk zal blijken dat de matrix na het verschuiven van kolommen en rijen niet uit perfecte vierkantjes ontstaan. Bepaalde producten zullen bewerkingen nodig hebben, die eigenlijk in een andere cel plaatsvinden. Er moet besloten moeten wat met deze uitzonderingen te doen. In paragraaf 2.3.2.1 is beschreven wat de opties zijn. Uit deze drie opties zal gekozen moeten worden. Wanneer de uitzonderingen zijn toegewezen of nieuwe cellen zijn gevormd, zijn de cellen compleet. De cellen geven de verschillende productgroepen aan die gebruikt worden om productielijnen te vormen. Ook is duidelijk welke bewerkingen op welke productielijnen plaatsvinden.

4.2.2 Stappenplan "clustering"

Het stappenplan om producten tot productgroepen te clusteren en productielijnen te vormen, ziet er voor APZ als volgt uit:

1. Maak een lijst met "te produceren producten".
2. Zet deze producten in willekeurige volgorde in de eerste rij van een excelsheet.
3. Schrijf per product de bewerkingen op die nodig zijn om een product te produceren door op de werkvloer te gaan kijken en bepaal de volgorde van de bewerkingen. Gebruik het format van Figuur 4-2 om de stappen en de volgorde weer te geven.
4. Zet alle hoofdmontagestappen (bewerkingen van het laatste niveau van Figuur 4-2) in de eerste kolom van de excelsheet van stap 1.
5. Geef in de matrix die uit stap 2 en 4 ontstaan is voor ieder product aan welke bewerkingen voor dat product nodig zijn. Doe dit door de betreffende cel te arceren en de volgorde van de stappen aan te geven door de cijfers die in stap 3 uit de volgrelaties volgen, in de betreffende cel weer te geven.
6. Anonimiseer de producten, door de productnamen te vervangen door nummers.
7. Verschuif de rijen en kolommen zodat de gearceerde cellen zoveel mogelijk langs de diagonale as van linksboven naar rechtsonder komen te liggen.
8. Bepaal welke cellen ontstaan zijn door de vierkantjes of rechthoekjes weer te geven die in stap 6 ontstaan zijn.
9. Vervang de nummers weer door de originele productnamen.
10. Beslis wat er met de bewerkingen moet gebeuren die niet netjes tot één vierkantje of rechthoekje behoort door te kiezen uit drie opties:
 - a. Dezelfde bewerking in meerdere cellen uitvoeren; dit vraagt om een extra investering
 - b. Producten vanuit de ene cel naar de andere cel verplaatsen; dit is in tegenstrijd met het uitgangspunt van een cel lay-out om de complexe stroom te simplificeren
 - c. Er kan een extra cel gevormd worden; dit vraagt om een extra investering
11. Definieer de productgroepen door de producten te benoemen die in één cel vallen en geef de productgroep een naam.
12. Valideer de clustering, door te controleren of de productgroepen die zijn ontstaan intuïtief logisch zijn.

13. Maak voor iedere productgroep een productielijn door alle bewerkingen te beschrijven voor de producten uit de betreffende productgroep.

4.3 Lijnbalancerings

Nu duidelijk is welke productielijnen onderscheiden moeten worden, zal voor iedere productielijn afzonderlijk bepaald moeten worden hoe de inrichting van die productielijn eruit gaat zien. In paragraaf 2.3.3 is beschreven hoe de klantvraag – leidend voor het ritme van productie – vertaald kan worden in de taktijd. In paragraaf 2.3.4 is vervolgens beschreven hoe deze taktijd het productieritme aangeeft door het gebruik van lijnbalancerings. In de literatuur wordt dit probleem aangeduid als een Assembly Line Balancing Problem. In paragraaf 2.3.4.3 is beschreven hoe het Simple ALBP eruit ziet en aan welke karakteristieken deze instantie van het probleem voldoet. In paragraaf 4.3.1 worden de karakteristieken beschreven voor de assemblageafdeling van APZ en wordt duidelijk dat deze karakteristieken niet aan de kenmerken van een SALBP, maar wel aan de kenmerken van een MALBP voldoen. In paragraaf 4.3.2 wordt het stappenplan beschreven om het MALBP van de assemblageafdeling van APZ op te lossen. Toepassing van de methode resulteert in een gebalanceerde productielijn.

4.3.1 Karakteristieken assemblageafdeling APZ

Deze paragraaf beschrijft de karakteristieken van de assemblageafdeling van APZ voor het ALBP. In paragraaf 2.3.4.2 worden de relevante karakteristieken genoemd. Deze zullen hier achtereenvolgens worden behandeld.

In de vorige paragraaf is de clustering van producten tot productgroepen behandeld. De producten die op een assemblagelijne geassembleerd worden, zijn dus niet homogeen. De SALBP zal dus uitgebreid moeten worden naar een mixed-model line of een multi-model line. We streven naar een zo hoog mogelijke flexibiliteit in planning, dus kiezen voor een mixed-model line waarin geen rekening gehouden hoeft te worden met het plannen van batches. Deze keuze voor een mixed-model line geeft hiernaast een extra voordeel ten opzichte van een multi-model line. Door de lijn zo flexibel mogelijk in te richten, zullen problemen eerder aan het licht komen. Dit is in lijn met het lean productie concept. Ook kan bij de invoering van nieuwe producten betere communicatie plaatsvinden met de afdeling Product Ontwikkeling over de wensen ten aanzien van assemblagehandelingen. In de literatuur wordt gerefereerd naar dit probleem als het (mixed-model) multi assembly line balancing problem (MALBP).

Het productieproces is bekend. Voor deze stap worden de handelingen zoals ze weergegeven zijn in de normtijdmetingen van de arbeidsdeskundige genomen als uitgangspunt.

Er wordt gestreefd naar een paced lijn met een vaste cyclustijd waarin de cyclustijd bepaald wordt door de klantvraag en daarmee gelijk is aan de taktijd. Dit is een lean uitgangspunt. Wel moet onderzocht worden of dit mogelijk is en dus of er een bottleneck is die groter is dan de taktijd en of het mogelijk is dit op te vangen, bijvoorbeeld door een vorm van parallelisering.

De bewerkingstijden zijn deterministisch, gebaseerd op de normtijdmetingen uitgevoerd door de arbeidsdeskundige. In werkelijkheid is het zeer waarschijnlijk dat de werkelijke bewerkingstijden hier vanaf wijken. Dit zal in de toekomst leiden tot verandering van de bewerkingstijden waardoor de lijn opnieuw en waarschijnlijk efficiënter gebalanceerd kan worden.

Naast de afhankelijkheidsrelaties zijn er restricties door voormontagehandelingen. Waarde moet zichtbaar stromen. Daarom kiezen we ervoor de hoofdmontagelijijn in deze fase los te koppelen van de voormontagestappen. Wanneer op de hoofdmontagelijijn een zichtbare rechte lijnige stroom plaatsvindt van halffabricaten tot eindproducten, wordt één van de belangrijkste principes van lean ingevoerd. De onderdelen die in het eindproduct gaan, of die nu van een externe leverancier (inkooponderdelen), een interne leverancier (gelakte onderdelen, een stofset of een blad) of van de assemblageafdeling zelf (voormontageonderdelen) komen, moeten precies op het moment dat ze nodig zijn aanwezig zijn. De laatste groep onderdelen heeft vanzelfsprekend een directe invloed op de lay-out van de assemblageafdeling. Daarom wordt de indeling van de productie van deze onderdelen in de volgende paragraaf apart behandeld. In dit MALBP probleem worden ze echter buiten beschouwing gelaten.

De aanwezige machines vormen geen beperking voor de MALBP. Ook worden geen beperkingen verwacht door personele bekwaamheden. Op dit moment beheerst een monteur een Montagelijijn als hij/zij alle taken uit kan voeren om het gehele product in elkaar te zetten. In de nieuwe situatie zal een monteur een werkstation beheersen als hij/zij de taken behorende bij dit werkstation voor alle producten uit kan voeren. Verwacht wordt dat dit geen belemmering zal zijn. Wel zal training/scholing nodig zijn. In de MALBP is uitgegaan van een rechte lijnlay-out waar aan één kant gewerkt wordt. Het doel van de MALBP is maximalisatie van de lijnefficiëntie.

4.3.2 Multi Assembly Line Balancing Problem voor APZ

In paragraaf 2.3.4.4 zijn twee groepen methoden beschreven voor het oplossen van de MALBP. Voor APZ werken we met de eerste groep methoden, omdat een van de voorwaarden van lean een overzichtelijke stroom van producten op een vast ritme is. De tweede set methoden voldoet niet aan deze voorwaarde.

Voor de lijnbalancerings op de assemblageafdeling van Ahrend werken we dus met een versimpeling naar de SALBP waarbij per productielijn een vaste cyclustijd gehanteerd wordt voor alle modellen die erop geproduceerd worden zodat producten met een vast ritme de band verlaten.

Er worden in paragraaf 2.3.4.4 vier methoden beschreven om dit probleem op te lossen. De branch en bound methode van Deutsch (1971) zou hiervoor een beschrijving geven, maar het is met de beste inspanning niet gelukt om de methode te bemachtigen. De optie om met gemiddelde procestijden te werken, leidt tot een praktisch onwerkbaar situatie. Deze wordt daarom ook uitgesloten. De derde optie valt af vanwege de wisseling van cyclustijden. Dit zorgt voor onrust en een onregelmatig productieritme.

De tweede optie blijft over en geeft ons een goed startpunt voor het oplossen van de MALBP. Hierin wordt de voorwaarde losgelaten om dezelfde soort taken op hetzelfde werkstation uit te moeten voeren. We kiezen ervoor om de SALBP met een gegeven cyclustijd op te lossen voor alle modellen. Deze keuze leidt echter niet tot het verwachte voordeel van een gecombineerde lijn. Daarom breiden we de methode uit door zelf een verbeteringslag toe te voegen. In de verbeteringslag proberen we alsnog dezelfde soorten taken te combineren op een werkstation. De keuze voor deze methode brengt als voordeel dat de methode intuïtief goed te begrijpen is. Bovendien hoeft de gehele productielijn niet direct volledig opnieuw ingericht te worden wanneer een nieuw product wordt geïntroduceerd.

Het SALBP probleem is NP-lastig (Becker en Scholl, 2004). Dit wil zeggen dat het zeer onwaarschijnlijk is dat een optimale oplossing voor het probleem te vinden is binnen polynomiale tijd. Voor NP-lastige problemen worden vaak benaderingsmethoden – ook wel heuristieken genoemd – gebruikt. Ook in dit geval wordt een heuristiek gebruikt. In tekstboeken zijn verschillende intuïtief gemakkelijk toepasbare heuristieken beschreven voor het oplossen van de SALBP. Krajewski et al (2009) beschrijven vier heuristieken: langste bewerkingstijd, kortste bewerkingstijd, meeste opvolgers, minste opvolgers. Slack et al (2007) beschrijven de methoden van de langste bewerkingstijd en de meeste opvolgers als meest bruikbare. Hopp en Spearman (2000) gebruiken de methoden van

de meeste opvolgers (en wanneer dit geen uitsluitel geeft de langste bewerkingstijd). We hebben voor vier willekeurig gekozen bureaustoelen² de methoden van de langste bewerkingstijd en de meeste opvolgers getest. De methoden geven geen verschillen in het aantal benodigde werkstations. We stellen daarom voor de methode te gebruiken die door alle genoemde schrijvers beschreven wordt. Dit is de methode van de meeste opvolgers. Wanneer de methode van de meeste opvolgers geen uitsluitel geeft, wordt de langste bewerkingstijd genomen.

De stappen die genomen moeten worden om de lijn te balanceren zijn in drie stappen te verdelen. Dit zijn de voorbereidingsfase, de uitvoering van de SALBP voor ieder model uit de productgroep en de verbeteringsslag.

In de voorbereidingsfase moeten de hoofdmontagestappen in kaart gebracht worden voor alle varianten van een product. Een hoofdmontagestap is het laatste niveau uit Figuur 4-2. Dit zijn de handelingen die direct plaatsvinden aan het op te bouwen eindproduct. Deze handelingen of bewerkingen moeten gesplitst worden tot de kleinste mogelijke niet-deelbare taak en voor ieder model – een product waarvoor de combinatie van bewerkingen uniek is – wordt een volgdiagram gemaakt met deze kleinste mogelijke niet-deelbare taken. In dit volgdiagram worden de normtijden weergegeven. Een normtijd is de tijd dat een gemiddelde persoon over een bepaalde handeling doet. De tijd voor extra handelingen en rust en persoonlijke verzorging is hierin niet meegenomen. Daarnaast wordt op basis van de klantvraag en de beschikbare productietijd de taktijd berekend. Tot slot wordt voor alle kleinste mogelijke niet-deelbare taken bepaald of de normtijd kleiner is dan de taktijd. Wanneer dit niet het geval is, moet besloten worden of het mogelijk is om de taak met behulp van extra voorbereiding, een tweede persoon of desnoods een parallel extra station toch uit te voeren in de taktijd. Voor toepassing van de heuristiek, moet de normtijd tijdelijk aangepast worden.

Na de voorbereiding, moet voor ieder model een SALBP uitgevoerd worden. Voor ieder model worden de taken inclusief normtijden op een rijtje gezet. Werkstations worden een voor een gevuld door te bepalen welke taken er toebedeeld worden aan dat werkstation. Alleen taken waarvan alle voorgangers zijn geweest, mogen toegevoegd worden. Er wordt gekozen voor de taak die de meeste opvolgers heeft. Als dit geen uitsluitel geeft, wordt de taak met de langste bewerkingstijd gekozen. Er wordt gestopt met taken toevoegen wanneer het niet meer mogelijk is een taak toe te voegen, omdat de totale bewerkingstijd in dat werkstation na toevoeging groter wordt dan de taktijd.

In de derde stap, de verbeteringslag, wordt gekeken of er nog geschoven kan worden met de handelingen zodat in ieder werkstation ongeveer dezelfde taken plaatsvinden. Dit wordt gedaan door als eerste de producten van meest naar minst verkocht te rangschikken en te starten met het meest verkochte product. Vervolgens worden van dit product de modellen van meest naar minst verkocht gerangschikt en wordt gestart met het meest verkochte model. Voor dit model wordt gekeken of de indeling van de band logisch zijn, dus of dezelfde soort taken bij elkaar plaatsvinden. Vervolgens wordt voor het volgende model gekeken of de taken zo geschoven kunnen worden zodat voor beide modellen dezelfde soort taken op hetzelfde station plaatsvinden. Dit gebeurt tot alle modellen van alle producten op elkaar zijn afgestemd.

4.3.3 Stappenplan “lijnbalancerings”

De lijnbalancerings moet voor iedere productielijn apart plaatsvinden. Iedere productielijn heeft dus ook een eigen taktijd. Het stappenplan om iedere productielijn te balanceren op taktijd, ziet er voor APZ als volgt uit:

² De willekeurig gekozen bureaustoelen zijn: 1) A230 bureau met aluminium zijdelen, HBD en HBDD armleggers 2) A220 bureau met vaste armleggers 3) A230 bureau met kunststof zijdelen en vaste armleggers en chromen teenkap 4) A250 draai met velumrug

Voorbereiding

14. Breng per product de bewerkingen in kaart die op de hoofdmontagelijijn worden uitgevoerd. Leidend hierbij is of de handeling direct plaatsvindt aan het op te bouwen eindproduct.
15. Verdeel de producten in modellen. Een model is in dit geval een product waarvoor de combinatie van bewerkingen uniek is.
16. Combineer de bewerkingen tot de kleinste niet-deelbare taken. Een niet-deelbare taak is gedefinieerd als een taak die als één handeling beschouwd kan worden. Dit kan een set van handelingen zijn die op één en dezelfde machine of montagebok plaats moeten vinden of een taak waarbij een pakhandeling hoort. Deze pakhandeling hoort dan bij de taak.
17. Maak per model een volgdiagram met normtijden t . Hierin staan alle kleinste niet-deelbare taken op de hoofdmontagelijijn met daarin aangegeven welke bewerkingen voltooid moeten zijn voordat de bewerking uitgevoerd kan worden. Geef hierin ook de normtijd aan. De normtijden zijn bij Ahrend gemeten door een arbeidsdeskundige en geven de tijd aan die nodig is om een taak uit te voeren. Neem hierin de tijd nodig voor extra handelingen en persoonlijke verzorging niet mee.
18. Bepaal de taktijd of cyclustijd c . Neem hiervoor de verwachte cumulatieve vraag (dit is de verwachte vraag van alle producten in de productgroep op de productielijn) en de beschikbare productietijd in een jaar. Deel de beschikbare tijd door het aantal verwachte verkochte producten, dit is de taktijd.
19. Bekijk voor welke bewerkingen de normtijd langer is dan de taktijd. Beslis of het mogelijk is om deze met behulp van extra voorbereiding, een tweede persoon of desnoods een parallel extra station om deze bewerking toch uit te voeren binnen de taktijd. Verander de normtijd tijdelijk in de taktijd voor toepassing van de heuristiek. Wanneer besloten wordt een parallel station te gebruiken, moet de normtijd niet in de taktijd veranderd worden, maar door tweeën gedeeld worden.

SALBP voor ieder model in de productgroep

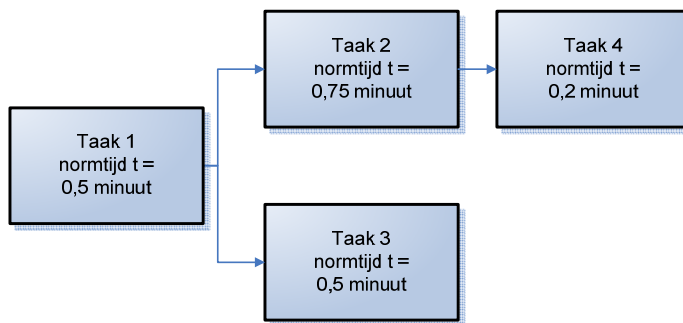
20. Bereken het theoretisch minimale aantal stations (TM) door de totale bewerkingstijd $\sum_j t_j$ van alle taken j van een model te delen door de taktijd c :

$$TM = \frac{\sum_j t_j}{c}$$

21. Zet het huidige stationnummer N op 1.
22. Zet de beschikbare tijd A op c . Maak de set met taken T die aan het huidige station is toegewezen leeg: $T = \emptyset$.
23. Bepaal de set van kandidaten S die toegewezen kunnen worden. Om een kandidaat te zijn, moet een taak aan de volgende twee condities voldoen:
 - a. Alle voorgangers van de kandidaat moeten al toebedeeld zijn of de kandidaat heeft geen voorgangers
 - b. De bewerkingstijd t_j is kleiner dan de beschikbare tijd A : $t_j \leq A$
24. Kies taak j uit set S , gebaseerd op de volgende twee regels:
 - a. Kies de taak met het grootst aantal opvolgers
 - b. Bij gelijk aantal opvolgers, kies de taak met de grootste bewerkingstijd t_j
 - c. Bij gelijk aantal opvolgers en gelijke bewerkingstijd, kies een willekeurige taakVoeg de gekozen taak j toe aan T .
25. Update de beschikbare tijd A naar $A - t_j$. Verwijder taak j uit set S .
26. Herhaal de stappen 10, 11 en 12 tot er geen kandidaten meer zijn, dit is wanneer set S leeg is.
27. Wanneer er nog taken over zijn, verhoog dan het stationnummer N met 1 en ga naar stap 9. Anders stop.

De voorgaande stappen zijn beter te snappen aan de hand van een voorbeeld in Kader 4-1.

Stap 1 t/m 4 Volgdiagram van model 1:

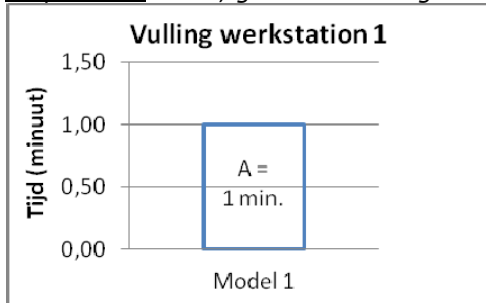


Stap 5 Takttijd $c = 1$ minuut

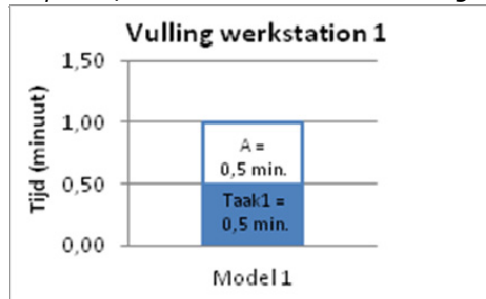
Stap 6 Bewerkingen zijn niet te lang

Stap 7 $TM = 1,95 \text{ minuut} / 1 \text{ minuut} = 2 \text{ stations}$

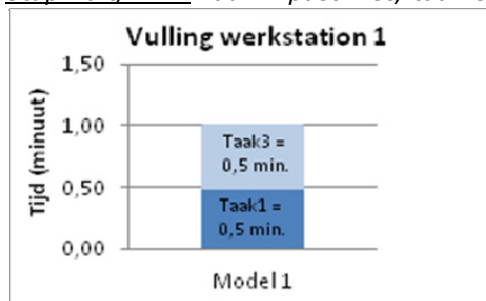
Stap 8 en 9 $A = c$, geen taken toegewezen



Stap 10 t/m 12 Alleen taak 1 kan toegewezen worden en wordt toegewezen

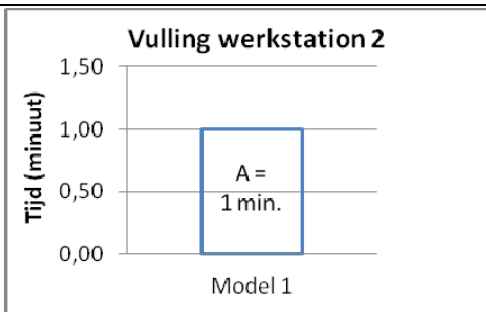


Stap 10 t/m 12 Taak 2 past niet; taak 3 kan toegewezen worden en wordt toegewezen

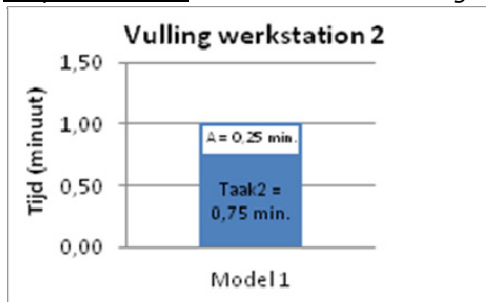


Stap 13 en 14 Er zijn geen taken meer die passen, dus gaan we naar het volgende station

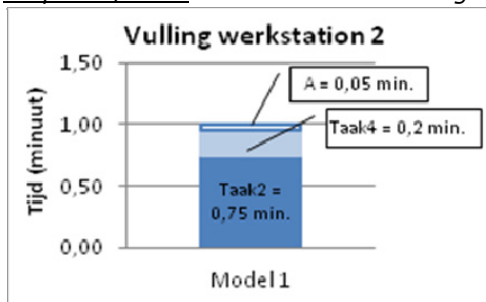
Stap 9 Werkstation 2, $A = c$, geen taken toegewezen



Stap 10 t/m 12 Alleen taak 2 kan toegewezen worden en wordt toegewezen



Stap 10 t/m 12 Alleen taak 4 kan toegewezen worden en wordt toegewezen



Stap 13 en 14 Er zijn geen taken meer over, dus stop

Kader 4-1 Voorbeeld stappenplan lijnbalancerings

Verbeterslag

28. Rangschik de producten in verwachte vraag en neem het product waarvan verwacht wordt dat het het meest verkocht wordt.
29. Rangschik van dit product de modellen in verwachte vraag en neem het model waarvan verwacht wordt dat het het meest verkocht wordt.
30. Probeer door middel van het switchen van activiteiten de activiteiten zoveel mogelijk tot dezelfde soort bewerking per werkstation te groeperen zonder in conflict te komen met de volgorrelaties.
31. Neem in volgorde van verwachte vraag een voor een de overige modellen van dit product en probeer door middel van het switchen van activiteiten zoveel mogelijk dezelfde soort bewerkingen (binnen dit model en in combinatie met de al eerder geplande modellen) te groeperen in een station. Wanneer het model meerdere stations heeft dan het leidende al ingeplande model, probeer dan door middel van meerdere operators of desnoods meerdere parallelle stations de totale bewerkingstijd voor dit model op de hoofdmontagelijns te verminderen.
32. Herhaal stap 18 voor alle modellen van het gekozen product tot er geen modellen meer zijn van het gekozen product.
33. Herhaal in volgorde van verwachte vraag de stappen 16 t/m 19 voor alle producten tot er geen producten meer zijn. Wanneer er geen producten meer zijn, stop.

4.4 Voormontage

Nu duidelijk is hoe de hoofdmontageband ingericht moet worden, zijn de voormontages aan de beurt. De hoofdmontageband krijgt onderdelen vanuit het magazijn aangeleverd, halffabricaten vanuit andere afdelingen en halffabricaten vanuit de assemblageafdeling zelf. De laatste categorie noemen we voormontages.

4.4.1 Voormontages bij APZ

Voor bepaalde handelingen aan de hoofdmontageband zijn voormontages nodig. Hierdoor is voor iedere voormontage duidelijk waar de producten die uit de voormontages komen nodig zijn. Door de inrichting van de hoofdmontageband is dus bepaald op welke punten in het proces welke voormontages nodig zijn.

De vier genoemde lay-out typen zijn ook hier weer toepasbaar. De keuze voor een vaste lay-out, een functionele lay-out en een cel lay-out zou leiden tot veel groepjes die idealiter allemaal dicht bij de hoofdmontageband zouden staan. Ruimtegebrek aan de lijn is in dit geval echter leidend. Daarom zou er idealiter wederom in een lijn geproduceerd moeten worden. Dit leidt ook tot meer flow in het proces. Ook de voormontage gaat dan mee in takttijd.

Helaas kan de oplossing voor het MALBP hier niet toegepast worden. In de voormontage zijn namelijk machineresticties: bepaalde taken moeten uitgevoerd worden op een product- of zelfs modelspecifieke machine of montagebok. Vanaf nu zullen we deze product- of modelspecifieke machines of montagebokken willekeurig machine of montagebok noemen. In het algemeen zien we dat de taken die op één machine uitgevoerd moeten worden, in totaal langer duren dan de takttijd. Door dit kenmerk ontstaan verschillende consequenties: er zijn meerdere machines aanwezig die soms langere tijd bezet zijn dan de takttijd, er zijn veel machines die ruimte innemen en er moet door medewerkers gemakkelijk en snel geschakeld kunnen worden tussen verschillende machines.

De meeste productietheorieën gaan in dit geval uit van de handeling die het langst duurt en op één machine plaatsvindt. Deze handeling is dan de bottleneck. De takttijd moet dan aangepast worden aan de bottleneck. Dit is echter voor APZ niet wenselijk omdat de klantvraag dan niet gehaald wordt.

Er zijn drie opties om dit probleem op te lossen:

- Er worden twee dezelfde bokken in serie geplaatst, waardoor een aantal handelingen op de ene bok gedaan worden, vervolgens het product naar de volgende bok verplaatst wordt en daar de overige handelingen plaatsvinden.
- Er worden twee dezelfde bokken in parallel geplaatst, waardoor na tweemaal de takttijd twee producten geproduceerd zijn.
- Het onderdeel gaat niet mee in takttijd.

In het laatste geval is er een restrictie in het aantal producten van dezelfde soort die achter elkaar gemaakt kunnen worden. Dit betekent een restrictie in batchgrootte. Wanneer er één onderdeel gemaakt is, duurt het vervolgens een aantal keer de takttijd voordat er weer een volgende beschikbaar is. Er kan een klein supermarktje gemaakt worden die aangevuld wordt als er eentje weggepakt wordt. De batchgrootte wordt in dat geval bepaald door het aantal producten in de supermarkt. Wanneer de grootte van de supermarkt net zo groot is als het aantal keer de takttijd dat het proces duurt, is de batchgrootte eentje groter.

Wanneer parallel gewerkt gaat worden, ontstaan ook planningsrestricties. Dit komt doordat de productmix niet homogeen is en het dus kan voorkomen dat binnen een cel verschillende bewerkingstijden zijn per werkstation. De consequentie is dat wanneer de takttijd verstreken is, niet iedere keer een product van de voormontage komt en op andere momenten er juist meerdere producten tegelijkertijd klaar zijn.

Uitgangspunt wordt om alles in serie in taktijd mee laten draaien. Dit betekent dat voor sommige plekken machines en montagebokken gedupliceerd moeten worden. Dit vergt een extra investering. Het draagt wel bij aan het uitgangspunt van lean: meteen is duidelijk waar de knelpunten zitten en welke voormontages (te) veel tijd vergen. Vrij snel zal in de praktijk gezocht kunnen worden hoe deze voormontages slimmer ingericht kunnen worden.

Niet alle werkplekken zullen echter bemand worden. Een groot gedeelte van de voormontages zijn maar nodig voor een fractie van de totale productie. Daarom wordt er gewerkt met tussenbuffers tussen de voormontages en de hoofdmontage.

Er wordt in kaart gebracht hoeveel mensen hoeveel procent van de tijd nodig zijn op een voormontagestation. Standaard komen er dat aantal mensen op een station dat het grootste gedeelte van de tijd nodig is. Daarna wordt berekend hoeveel mensen er gemiddeld extra nodig zijn en hoeveel mensen er gemiddeld over zijn. Op basis hiervan wordt berekend of er extra mensen nodig zijn om de voormontagestations te bemannen. Wanneer er gemiddeld meer mensen over zijn dan er gemiddeld nodig zijn, kunnen deze mensen alle voormontages draaien op momenten dat ze op hun eigen plek even niks te doen hebben. Dit betekent dat zij lege buffers vullen door daar te gaan produceren.

De toewijzing van de taken aan machines gebeurt door in kaart te brengen welke taken op één machine of montagebok plaats moet vinden. Wanneer de tijd op één machine groter is dan de taktijd, wordt de machine gekopieerd en de activiteiten gesplitst zodat het zo mooi mogelijk past.

4.4.2 Stappenplan “voormontage”

Het stappenplan voor de voormontages moet per productielijn gezamenlijk uitgevoerd worden voor alle voormontages, omdat het aantal medewerkers verdeeld wordt over de verschillende voormontagestations. Het stappenplan is in tweeën verdeeld. Het eerste stappenplan beschrijft de inrichting van de voormontagestations en het tweede stappenplan berekend het aantal mensen dat nodig is om de voormontagestations te bemannen. Het stappenplan om de voormontages aan te passen aan de hoofdmontageband, ziet er voor APZ als volgt uit:

Inrichting voormontagestations

1. Breng per werkstation van de hoofdmontage in kaart welke categorieën voormontages er plaats moeten vinden. Definieer per onderdeel van het eindproduct een categorie. Voor deze indeling zijn dus niet het product of model leidend, maar het type onderdeel.
2. Breng per categorie voormontage de modellen in kaart waarvoor deze voormontage plaats moet vinden. Een model is in dit geval een product waarvoor de combinatie van bewerkingen uniek is.
3. Breng per model per categorie voormontage in kaart welke bewerkingen plaats moeten vinden, hoe lang deze bewerkingen plaatsvinden en of ze op een specifieke machine plaatsvinden.
4. Bepaal per model per specifieke machine of de bewerkingen op die machine langer duren dan de taktijd van de hoofdmontageband. Wanneer de bewerkingen op de machine meer tijd vergen dan de taktijd, produceer een extra machine totdat de taktijd behaald kan worden.
5. Start met het voormontagestation dat het dichtst bij de hoofdmontageband ligt. Plaats hier voor alle modellen de laatste machine van de voormontage in. Neem vervolgens het voormontagestation dat daarna het dichtst bij de hoofdmontageband ligt en plaats hier voor alle modellen de op-een-na laatste machine van de voormontage in. Ga zo verder tot er geen machines meer over zijn.
6. Tussen de cellen worden korte bandjes als buffer geplaatst.

Berekening aantal mensen

7. Bereken per model het theoretisch minimale aantal stations (TM) door de totale bewerkingstijd $\sum_j t_j$ van alle taken j van een model te delen door de takttijd c:

$$TM = \frac{\sum_j t_j}{c}$$

8. Breng per model het verwachte aandeel (in procenten) van de verwachte totale vraag in kaart.
9. Breng voor ieder mogelijk theoretisch minimaal aantal stations TM het verwachte aandeel van de totale verwachte vraag dat dat aantal stations bezet is (in procenten) in kaart.
10. Herhaal de stappen 7 t/m 9 voor iedere categorie voormontage.
11. Bepaal voor iedere voormontage categorie hoeveel mensen er standaard ingezet worden door te bepalen voor welk aantal stations het aandeel van de totale verwachte vraag het grootst is.
12. Bereken het gemiddeld aantal mensen dat er over is door de som te nemen over het product van het aandeel van de totale verwachte vraag dat minder stations dan het standaard aantal stations bezet is en het aantal stations dat er minder bezet zijn dan het standaard aantal stations.
13. Bereken het gemiddeld aantal mensen dat er extra nodig is door de som te nemen over het product van het aandeel van de totale verwachte vraag dat meer stations nodig zijn dan het standaard aantal stations en het aantal stations dat er meer bezet zijn dan het standaard aantal stations.
14. Bereken hoeveel mensen in totaal extra nodig zijn door het verschil van stap 13 en 12 te nemen.
15. Bereken hoeveel mensen in totaal nodig zijn om alle voormontagestations te bemannen door het aantal standaard mensen van stap 11 en het aantal extra mensen van stap 14 bij elkaar op te tellen.

4.5 Logistieke aanvoer

Naast de voormontages moeten ook de onderdelen van het magazijn en de halffabricaten van andere afdelingen op een juiste manier aangeleverd worden.

4.5.1 Logistieke aanvoer bij APZ

In paragraaf 2.3.5 worden de opties beschreven voor de logistieke aanvoer. Er wordt onderscheid gemaakt tussen een MRP-aansturing en een JIT-aansturing. Beide opties worden op dit moment al bij Ahrend gebruikt. Voor de MRP-aansturing zijn er fysiek twee mogelijkheden:

- Aan het begin van een vooraf vastgestelde tijdshorizon wordt een lijst uitgedraaid welke halffabricaten er voor die tijdshorizon nodig zijn en deze worden per stuk geleverd. Deze aanlevering noemen we één-op-één levering.
- Aan het begin van een vooraf vastgestelde tijdshorizon wordt een lijst uitgedraaid per werkstation welke halffabricaten er nodig zijn voor die tijdshorizon en deze worden in een kit per product aangeleverd. Deze aanlevering noemen we kit-aanlevering.

APZ maakt op dit moment gebruik van een één-op-één levering met een tijdshorizon van een dag.

Voor de JIT-aansturing zijn ook twee mogelijkheden te onderscheiden die in paragraaf 2.3.5.1 en 2.3.5.2 al verder zijn uitgewerkt:

- Two-bin methode
- Kanban

APZ maakt op dit moment van beide gebruik. De gebruikte two-bin hoeveelheid is voor de meeste producten drie maal de verwachte gemiddelde vraag per dag, maar is gedurende dit onderzoek voor sommige producten bijgesteld naar de verwachte maximale vraag per dag, omdat de hoeveelheid van de logistieke aanvoer dan overeenkomt met de gecommuniceerde capaciteit van de productielijn. Voor de bevestigingsartikelen geldt een andere regel: daarvoor wordt door de logistieke afdeling bepaald wat een handige aanleveringshoeveelheid is. Normaliter is de leveringshoeveelheid van de externe leverancier of de hoeveelheid die in een two-bin bakje past leidend voor de hoeveelheid. Voor de two-bin en kanbans wordt eenmaal per dag gecontroleerd of nieuwe aanvoer nodig is.

De huidige situatie voor de logistieke aanvoer is nog niet volledig gestandaardiseerd. De logistieke aanvoer voor de assemblage wordt gebaseerd op deze huidige logistieke aanvoer van APZ. Op basis van de huidige situatie en de aanbevelingen van Slack (2007) en Saunders (1994) worden nieuwe stelregels opgesteld.

Eerst moet bepaald worden in welke categorie een onderdeel volgens de complexiteit van een onderdeel valt. Dit gebeurt aan de hand van Figuur 2-12. Vervolgens moet per onderdeel bepaald worden of het betreffende onderdeel een runner, een repeater of een stranger is. Door middel van een pareto-analyse kan vervolgens bepaald worden of een artikel essentieel of onbeduidend is. Met behulp van Tabel 2-2 kan bepaald worden welke vorm van logistieke aanvoer geadviseerd wordt. Als deze analyse de analyse van de complexiteit tegensprekt, moet op basis van eigen inzicht een keuze voor een methode gemaakt worden, door te beslissen welke argumentatie het zwaarst weegt.

Wanneer voor een artikel two-bin zou moeten worden toegepast, maar een artikel is daarvoor te groot (dit is afhankelijk van de ruimte aan de lijn), kan besloten worden kanban toe te passen.

Op dit moment zijn er veel voorraden op de vloer. Het slagen van een nieuwe inrichting van de lijn is afhankelijk van het goed toedelen van het ruimtegebrek aan de lijn aan de verschillende onderdelen en halffabricaten. Veel ruimte op de vloer wordt ingenomen door grote bakken onderdelen en halffabricaten. Door gebruik van de adviezen in deze paragraaf kunnen de voorraden omlaag.

Er zou veel ruimte bespaard worden en daarmee overzicht gecreëerd worden op de assemblageafdeling wanneer grote artikelen die vaak nodig zijn vaker en daarmee in kleinere hoeveelheden geleverd kunnen worden. Wanneer deze omschakeling niet meteen mogelijk blijkt te zijn, zal op de assemblageafdeling voor deze artikelen een aparte aanleverplek ingericht moeten worden van waaruit in kleinere hoeveelheden de productielijn bediend wordt.

4.5.2 Stappenplan "logistieke aanvoer"

In deze paragraaf wordt per product het stappenplan weergegeven om tot een inrichting te komen van de logistieke aanvoer:

1. Stel een lijst op met onderdelen die in het product aanwezig zijn, wat de aanvoerende afdeling is en op welke werkplek(ken) het onderdeel gebruikt wordt.
2. Bepaal per werkplek het aantal per onderdeel dat in dat product aanwezig is.
3. Bepaal per onderdeel in welke aanlevercategorie het onderdeel behoort op basis van complexiteit met behulp van Figuur 2-12.
4. Bepaal of het onderdeel een runner, repeater of stranger is, gebaseerd op de vraagfrequentie.
5. Bepaal of het onderdeel essentieel of onbeduidend is door het uitvoeren van een pareto-analyse.
6. Bepaal met behulp van Tabel 2-2 en de informatie uit stap 2 en 3 welke aanleveringscategorie geadviseerd wordt.

7. Wanneer de aanleveringscategorieën uit stap 1 en 4 van elkaar verschillen, beslis welke aanleveringscategorie voor dit artikel het beste is door op basis van eigen inzicht de argumentatie te heroverwegen.
8. Wanneer voor een artikel two-bin zou moeten worden toegepast, maar een artikel is daarvoor te groot, beslis of het slimmer is om kanban toe te passen.
9. Bepaal op basis van de huidige stelregels hoe groot de leveringsfrequentie en -volume van het artikel wordt.

4.6 Lay-out inrichting

Nu het ontwerp en de inrichting van de productielijnen duidelijk zijn, komt de fysieke lay-out inrichting aan de orde.

4.6.1 Lay-out inrichting bij APZ

Eerst zal voor iedere productielijn bepaald moeten worden wat de afmetingen van de verschillende onderdelen zijn en hoeveel ruimte nodig is om zowel de hoofdmontage, de voormontage als de voorraden van aangeleverde onderdelen mogelijk te maken. Bovendien moeten monteurs en heftrucks en/of karren die onderdelen aanleveren zich fatsoenlijk kunnen bewegen. Tegelijkertijd moeten werkplekken niet te ver uit elkaar liggen. Dit kost tijd, looptijd welteverstaan en betekent dus verspilling. Met al deze gegevens moet gespeeld worden om de lay-out in te richten. Na implementatie in de praktijk zal altijd blijken dat meer verbeteringen mogelijk zijn. Daarmee draagt ook de fysieke inrichting bij aan de mogelijkheid tot continue verbetering door incrementeel te verbeteren.

De stelregels die gebruikt worden voor de inrichting van een productielijn zijn samengevat in Tabel 4-1. Hierin staan de gemiddelde maten van onderdelen op de werkvloer. De maten zijn verkregen door deze te meten op de werkvloer. De inrichting van werkplekken moet uiteraard aan de arbo-wetgeving voldoen. Het arbeidsomstandighedenbesluit schrijft echter geen maximale of minimale afmetingen voor voor een werkruimte.

Onderdeel	Afmeting
Werkruimte monteur	100x100cm
Onderdelenstelling bij hoofdmontagewerkplek	110x70cm
Machine of montagebok voormontage	45x80cm
Onderdelenstelling bij voormontagewerkplek	45x110cm
Buffers grote onderdelen	100x100cm
Karren binnen productielijn	120x120cm
Breedte heftrucks rijpad	200cm
Heftrucks keerhoek	200x200cm
Vakken aanleverende afdelingen	600x250cm
Afkeurvak en retourvak	600x250cm

Tabel 4-1 Stelregels afmetingen fysieke inrichting productielijn

De stelregels zijn: de benodigde werkruimte voor een monteur is uit ervaring 100x100cm. Onderdelenstellingen bij een hoofdmontagewerkplek zijn gemiddeld 70x110cm. Een machine voor de voormontage is gemiddeld 45x80cm. De onderdelenstellingen die aan deze machine bevestigd zijn, zijn gemiddeld 45x110cm. Grote onderdelen krijgen direct aan de productielijn maar een beperkte ruimte, namelijk 100x100cm. De rest van de onderdelen wordt in een buffer op de assemblage geplaatst van waaruit de lijn beleverd kan worden. Hiervoor wordt per aanleverende afdeling een oppervlakte van 600x250cm gereserveerd. In de toekomst moet deze tussenbuffer verdwijnen door rechtstreeks vanuit een andere afdeling aan de lijn te leveren. Heftrucks hebben 200cm nodig om te kunnen rijden en elkaar te kunnen passeren en 200x200cm om te kunnen keren. Om de onderdelen aan te kunnen leveren is een pad van 120cm nodig. Er komt per productielijn een afkeur- en een retourvak van 600x250cm.

Wanneer de productielijnen ook fysiek zijn ingericht moeten ze in de assemblagehal geplaatst worden. Er zijn twee aanvoerende stromen en één afvoerende stroom die aan twee kanten van de assemblagehal binnenkomen en aan een derde zijde de hal verlaat. Er zal een afweging gemaakt moeten worden of de grootste transportkosten zitten in de investering van een afvoerband voor de afvoerende stroom of dat juist de variabele transportkosten van de aanvoerende stromen het grootst zijn. Op basis daarvan moet besloten worden of de productielijn met de hoogste verwachte cumulatieve vraag het dichtst bij de aanvoerende of bij de afvoerende stroom moet komen te liggen.

In de toekomst kan gekeken worden of aanvoerende afdelingen dicht bij de assemblageafdeling gelocerd kunnen worden en of de aanvoer vanuit andere afdelingen ook per automatische band kan.

4.6.2 Stappenplan "lay-out inrichting"

De te nemen stappen om de lay-out fysiek in te richten, zijn:

1. Bepaal per productielijn de benodigde ruimte voor een hoofdmontagewerkplek.
2. Bepaal per productielijn de benodigde ruimte voor de voormontagestations.
3. Richt de hoofdmontageband en de voormontagestations in zodat de werkplekken van de monteurs en de paden waar karren moeten kunnen komen aan de eisen van Tabel 4-1 voldoen. Doe dit voor alle productielijnen.
4. Plaats de productielijnen in de assemblagehal door de productielijn met de hoogste verwachte cumulatieve vraag het dichtst bij de aanvoerende en afvoerende stromen te leggen, afhankelijk van de verwachting van de afvoerende en aanvoerende transportkosten.

4.7 Samenvatting

In dit hoofdstuk is de lean oplossing voor lay-out ontwerp aangepast aan de randvoorwaarden en wensen die vanuit APZ gesteld zijn door een methode te ontwikkelen voor lay-out ontwerp voor APZ. Deze methode bestaat uit een vijftal stappen, te weten: clustering, lijnbalanceren, voormontage, logistieke aanvoer en tot slot de lay-out inrichting. Per stap is een stappenplan gegeven om dat deel van het ontwerp uit te voeren. Bijlage E geeft een samenvatting van alle stappen die genomen moeten worden om de productielijnen in te richten.

In het volgende hoofdstuk wordt dit stappenplan toegepast om te kijken wat de mogelijke resultaten zijn van lay-out ontwerp op basis van het lean productie concept.

5 Resultaten

Dit hoofdstuk geeft antwoord op de vierde onderzoeksvraag:

Wat is het verbeterpotentieel voor APZ door implementatie van een lay-out op basis van het lean productie concept?

In dit hoofdstuk worden de resultaten van het onderzoek gepresenteerd. De methode van hoofdstuk 4 wordt toegepast om te kijken wat voor resultaten behaald kunnen worden en hoe een nieuwe inrichting eruit komt te zien. Door toepassing van de methode kan bekeken worden wat de theoretisch haalbare resultaten zijn. Dit gebeurt door in paragraaf 5.1 t/m 5.5 de stappen van hoofdstuk 4 in dezelfde volgorde te behandelen. Paragraaf 5.6 vat de resultaten van deze stappen samen en beschrijft de theoretisch mogelijke verbeteringen. In paragraaf 5.7 wordt vervolgens gekeken wat voor resultaten in praktijk gehaald kunnen worden door invoering van het leanprincipe. Dit is gedaan door een kleine praktijktest door één productielijn om te bouwen van batchproductie naar een lijnlay-out inclusief de leanprincipes. In paragraaf 5.8 worden de resultaten samengevat en paragraaf 5.9 behandelt de gevolgen van implementatie van de nieuw voorgestelde lay-out voor de verschillende afdelingen van APZ. Paragraaf 5.10 sluit af met een samenvatting.

5.1 Clustering

Deze paragraaf bevat de uitwerking van de clustermethode beschreven in paragraaf 4.2.

5.1.1 Aannames clustering

Voor het model zijn een aantal aannames gedaan. Deze zijn achtereenvolgens genoemd:

- Voor de clustering wordt uitgegaan van producten die in 2008 zijn geproduceerd. Deze zijn van de bezettingsoverzichten gehaald. Een aantal producten is echter uitgesloten in de analyse: producten die inmiddels gesaneerd zijn, nieuwe producten (waarvan alleen nog een 0-serie gedraaid is) of producten die enkel en alleen voormontagestappen bevatten.
- De huidige productbewerkingen zijn genomen door waar te nemen op de productievloer.

5.1.2 Resultaten clustering

In bijlage F is een voorbeeld weergegeven van een diagram van een product waarin de bewerkingen zijn weergegeven met daarin de nummers die de volgreelaties aanduiden. Ook is in de bijlage de matrix te vinden met daarin de producten gekoppeld aan productbewerkingen. Door te schuiven met rijen en kolommen zodat de ingevulde vakjes zoveel mogelijk langs een diagonale as van linksboven naar rechtsonder komen te liggen, ontstaan cellen. Bij het schuiven van de rijen en kolommen is niet gekeken naar het soort product, enkel en alleen naar de ingevulde vakjes. Na clustering ontstaan duidelijk een vijftal rechthoekjes, waarbij een aantal bewerkingen in meerdere cellen plaatsvindt.

We besluiten voor een viertal bewerkingen dat deze bewerkingen in twee of meer cellen plaatsvindt. Deze zijn het afmonteren van de zitting op de zittingdrager, het afmonteren van de rug op de rugbeugel, de eindcontrole en het verpakken van stoelen. Deze handelingen worden in meerdere cellen uitgevoerd, omdat hier geen grote extra investering voor nodig is. Het verpakken in iedere cel heeft als voordeel dat het product beschermd wordt tegen beschadiging tijdens transport. Er wordt ook besloten een extra cel te creëren voor de A180 Draai. Deze stoel verschilt in bewerkingen teveel van alle soorten stoelen en krijgt daarom een eigen cel.

We geven de zes productgroepen die ontstaan een naam. De productgroepen zijn:

- Bureaustoelen
- Bezoekerstoelen
- Tafels
- Schermen
- Lounge overig
- Stoelen overig

De "overige cellen" zijn de cellen die zichzelf niet direct onderscheiden als cel. Ze worden gekenmerkt door de volgende eigenschappen:

- De "lounge overig" cel bevat producten die geen overeenkomstige bewerkingen met elkaar of met andere producten hebben. Deze producten zijn te groot om handmatig te verplaatsen en hebben geen specifieke montagebokken nodig.
- De "stoelen overig" cel bevat producten die geen overeenkomstige bewerkingen hebben met andere producten en waarvan het proces gekenmerkt wordt door meerdere specifieke montagebokken

In bijlage F is weergegeven welke producten tot welke productgroep behoren.

Iedere productgroep krijgt een eigen productielijn toegewezen. In bijlage F staan de bewerkingen die iedere productielijn typeren. De productielijnen worden vernoemd naar de productgroepen.

De productielijnen die zijn ontstaan door clustering, zijn achtereenvolgens:

- Bureaustoelenlijn
- Bezoekerstoelenlijn
- Tafellijn
- Schermenlijn
- Lounge overig-lijn
- Stoelen overig-lijn

5.2 Lijnbalancerings

Deze paragraaf bevat de uitwerking van de methode voor lijnbalancerings beschreven in paragraaf 4.3. De methode is uitgevoerd voor één van de productielijnen die uit de clustering is ontstaan en wel de productielijn waarvoor de verwachte vraag het grootst is. De verwachte vraag hangt direct samen met de verkoopaantallen in 2008. Het verkoopaantal in 2008 van de bureaustoelenlijn is het grootst met 78.703 stuks. Tabel 5-1 geeft de verkoopaantallen voor alle productielijnen.

Productielijn	Aantal
Bureaustoelenlijn	78.703
Bezoekerstoelenlijn	74.803
Tafellijn	19.605
Schermenlijn	14.604
Lounge overig-lijn	682
Stoelen overig-lijn	566

Tabel 5-1 Verkoopaantallen 2008 per productielijn

5.2.1 Aannames lijnbalancerings

Voor het model zijn een aantal aannames gedaan. Deze zijn achtereenvolgens genoemd:

- Voor de lijnbalancerings is uitgegaan van de producten die volgen uit de clustering van paragraaf 5.1.
- De productbewerkingen en normtijden zijn overgenomen van de metingen van de arbeidskundige.
- Als verwachte vraag worden de verkoopcijfers van 2008 genomen.
- Per dag wordt er voor iedere productielijn een half uur de tijd genomen om voor te bereiden, op te ruimen en te overleggen. Deze tijd gaat van de productietijd af.
- Het aantal productie-uren wordt gelijk gesteld aan dat van 2008. In 2008 waren 252 productiedagen van elk 455 minuten. Hier wordt een half uur voorbereidings-, opruim- en/of overlegtijd vanaf gehaald, waardoor een totale productietijd ontstaat van 107.100 minuten per jaar.
- In de verbeterslag wordt getracht om de eindcontrole zo dicht mogelijk bij de assemblage te houden, maar niet uit te laten voeren door een monteur die zelf het product ook gemonteerd heeft. Dit doen we vanwege een verwachte hogere kwaliteit. Idealiter ontstaat er dus een apart werkstation voor de eindcontrole en het verpakken.

5.2.2 Resultaten lijnbalancerings

In deze paragraaf worden de resultaten gepresenteerd van het uitvoeren van de methode voor lijnbalancerings voor de bureaustoelenlijn.

Op de bureaustoelenlijn worden de volgende producten geproduceerd:

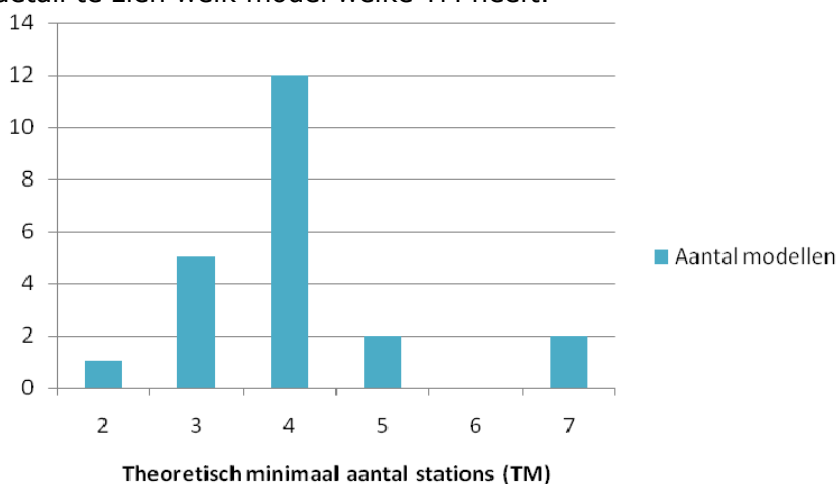
A230 Bureau, A220 Bureau, A220 ESD, A260 Bureau, A260 Tabouret, A450 Kuipstoel, A160 Stoel, A262 Bureau, A240 Draai, A250 Draai.

Als eerste volgt de berekening van de taktijd:

$$\text{Taktijd bureaustoelenlijn} = \frac{107.100 \text{ minuten}}{78.703 \text{ bureaustoelen}} = 1,36 \text{ minuut / stoel}$$

In bijlage G is een voorbeeld te vinden van een volgdiagram van een A230 bureaustoel model kunststof zijdelen en HBD/HBDD armleggers. Een van de bewerkingen duurt langer dan de taktijd, namelijk 1,714 minuut. Door een deel van de handelingen naar de voormontage te verplaatsen, duurt de handeling nog maar 0,743 minuten, waardoor ook deze handeling binnen de taktijd plaats kan vinden.

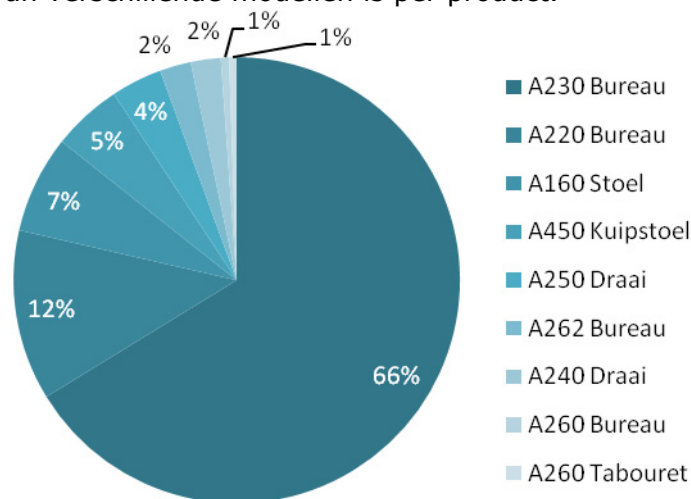
Het theoretisch minimaal aantal stations verschilt per model stoel. Er zijn 22 modellen bureaustoel. Een ruime meerderheid van de modellen heeft een TM van 4 stations of minder. Dit is te zien in Figuur 5-1. Onder de modellen met 4 theoretisch minimaal aantal station bevinden zich de modellen die het vaakst voorkomen. In bijlage G is meer in detail te zien welk model welke TM heeft.



Figuur 5-1 Aantal modellen met theoretisch minimaal aantal stations

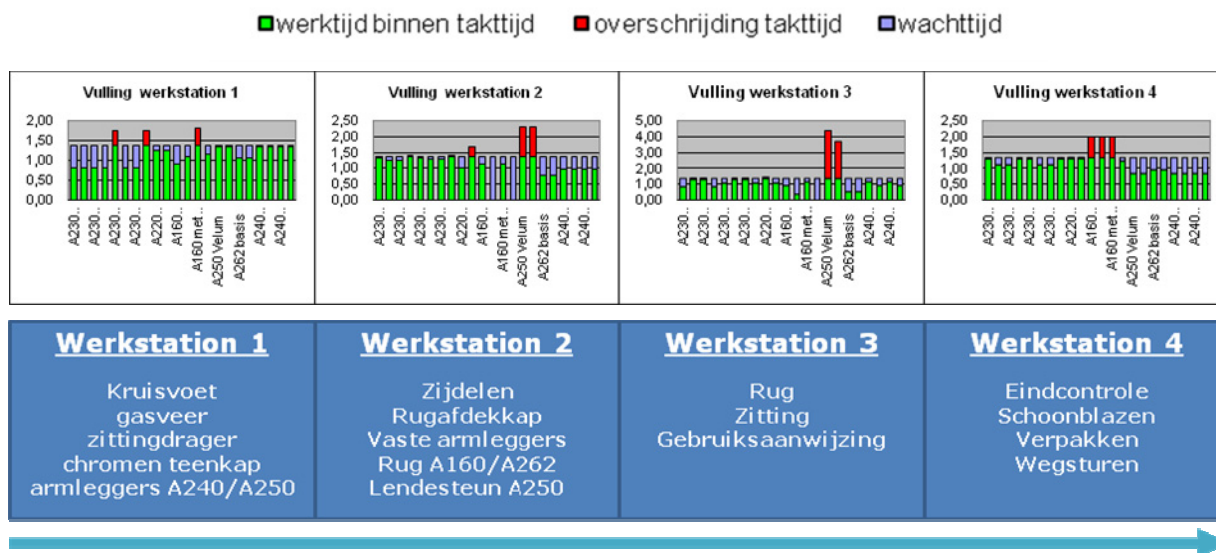
Voor alle 22 modellen bureaustoel is de SALBP uitgevoerd. Een voorbeeld hiervan is gegeven in bijlage G.

De volgorde van de producten zoals in Figuur 5-2 wordt aangehouden om de verbeterslag van de MALBP uit te voeren. Hierin is te zien wat het aandeel is van de verschillende producten in de verwachte vraag. Voor de modellen wordt de volgorde aangehouden zoals te zien is in bijlage G. Hier is te zien wat het aandeel van de vraag van verschillende modellen is per product.



Figuur 5-2 Aandeel productvraag in totale productvraag

De lijnbalancering resulteert voor de bureaustoelenlijn in vier werkstations. De vier werkstations laten zich kenmerken door een aantal hoofdstappen. De hoofdstappen en de bezetting per station per model is weergegeven in Figuur 5-3.



Figuur 5-3 Bewerkingen per werkstation hoofdmontageband bureaustoelenlijn en bezetting per model per werkstation

In Figuur 5-3 is te zien dat voor een aantal modellen de taktijd overschreden wordt. Dit is logisch wanneer je bedenkt dat voor sommige modellen een minimaal aantal stations van 7 nodig was. De figuur maakt ook duidelijk dat wanneer voor een groter aantal stations gekozen zou worden de totale wachttijd oploopt en de efficiëntie zou dalen. Omdat de overschrijding van de wachttijd maar in een fractie van de productie voorkomt, wordt voor deze gevallen afzonderlijk bepaald hoe de werktijd in dit werkstation verkort kan worden.

5.3 Voormontage

In deze paragraaf wordt het stappenplan van paragraaf 4.4 uitgevoerd om de voormontage van de bureaustoelenlijn in kaart te brengen.

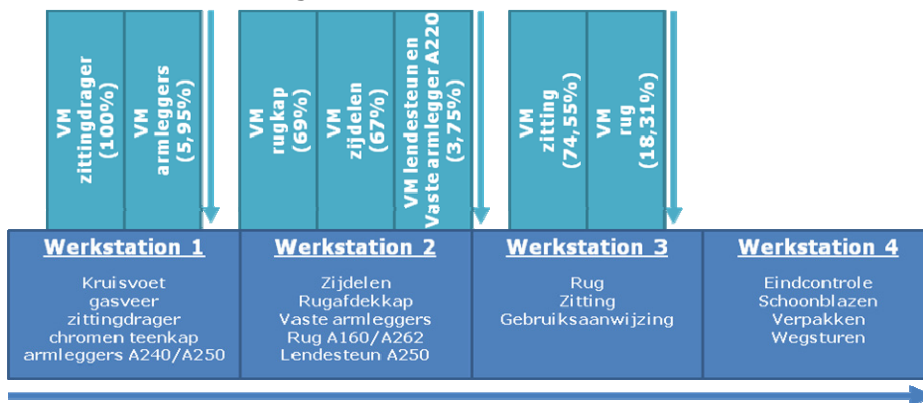
5.3.1 Aannames voormontage

Om de voormontages te kunnen inrichten, zijn een aantal aannames gedaan. Deze zijn achtereenvolgens genoemd:

- Voor de voormontage wordt uitgegaan van de inrichting van de hoofdmontagelijns die volgt uit de lijnbalancering in paragraaf 5.2.
- De productbewerkingen en normtijden zijn overgenomen van de metingen van de arbeidskundige.

5.3.2 Resultaten voormontage

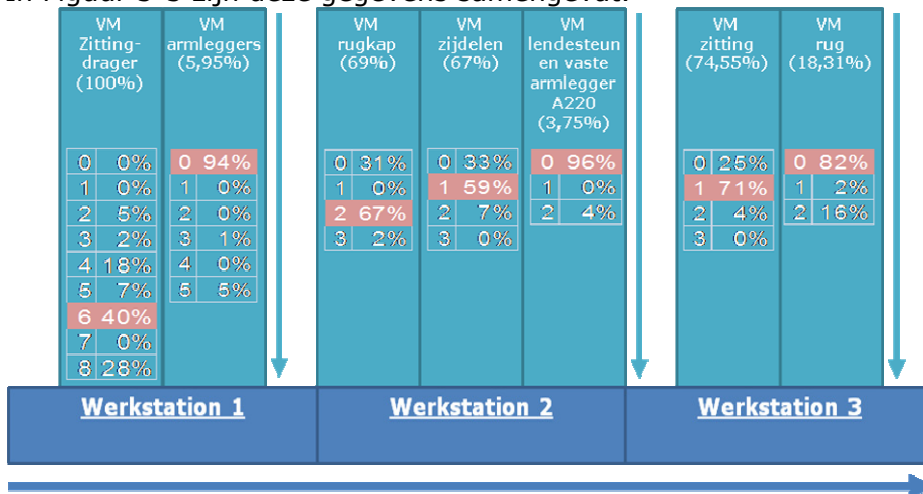
In deze paragraaf worden de resultaten gepresenteerd van uitvoering van de methode uit paragraaf 4.4 op de bureaustoelenlijn. In paragraaf 5.2 is de indeling van de hoofdmontageband gepresenteerd. Deze indeling bepaalt waar voormontages nodig zijn. In Figuur 5-4 is te zien dat 7 voormontagestromen nodig zijn, waarbij er twee bij werkstation 1 en 3 uitkomen en drie voormontagestromen uitkomen bij werkstation 2. Werkstation 4 behoeft geen voormontage. Alleen de voormontage van de zittingdragers is bij ieder mogelijk model nodig. De overige voormontages zijn enkel bij een gedeelte van de modellen nodig.



Figuur 5-4 Locatie voormontagegestromen en dichtheid voormontage

In bijlage H zijn de modellen weergegeven die het grootste deel van de voormontage voor hun rekening nemen met daarbij de totale normtijd voor die voormontage en het aantal stations dat nodig is om de productie in serie te draaien vermeld.

In Figuur 5-5 zijn deze gegevens samengevat.



Figuur 5-5 Aantal werkcellen (maximum) en standaard monteurs (gearceerd) per voormontage

Uit de figuur kan afgeleid worden hoeveel werkcellen nodig zijn om de betreffende voormontage te kunnen draaien. Dit is namelijk het maximum aantal machines dat mogelijk is. Zo zijn er voor de voormontage van de zittingdragers 8 werkcellen nodig. Deze werkcellen bestaan uit verschillende machines per model en worden in lijn geschakeld. Uiteindelijk komen ze bij werkstation 1 op de hoofdmontageband uit.

Ook valt uit de figuur af te lezen hoeveel mensen nodig zijn om de voormontage te draaien. In het stappenplan valt te lezen dat de stations ingericht worden met een standaard aantal mensen, gebaseerd op het percentage dat er mensen nodig zijn. De roze gearceerde vakjes geven aan hoeveel mensen standaard nodig zijn op de betreffende voormontagelijijn. Deze mensen bemannen de werkcellen die het dichtst bij de hoofdmontageband liggen.

Er kan berekend worden dat er gemiddeld 2,35 afgerond 2 monteurs zijn die op een willekeurig moment niets hoeven te doen en dus "over" zijn. Er kan ook berekend worden dat er gemiddeld 1,4 afgerond 2 monteurs op een willekeurig moment nodig zijn op een andere voormontageplek. Dat betekent dat er geen extra mensen bijgeschakeld hoeven te worden om de standaard onbemande stations te bemannen. De monteurs die al aanwezig zijn, houden de buffers van de overige voormontageplekken in de gaten om te kijken of er ergens anders een voormontage opgepakt moet worden. In totaal zijn er in theorie voor de voormontage dus 10 mensen nodig.

5.4 Logistieke aanvoer

Het voert te ver om in dit verslag de logistieke aanvoer per artikel volledig te behandelen. Alleen voor de A230 bureaustoel zijn al een kleine 240 onderdelen. Van de onderdelen is helaas niet duidelijk op welke werkplek ze nodig zijn en wat de afmetingen zijn. Voor al deze onderdelen moet samen met andere afdelingen tot overeenstemming worden gekomen wat de aanlevervorm en -hoeveelheden worden. Deze stap zal later dus per product genomen moeten worden. In deze paragraaf worden alleen voor stap 9 van het stappenplan uit paragraaf 4.5.2 de maximale vraaghoeveelheden van de eindproducten gegeven.

5.4.1 Aannames logistieke aanvoer

De aannames om de logistieke aanvoer in te kunnen richten, zijn:

- Voor de berekening van het maximaal verwachte verbruik per dag, wordt de maximale vraaghoeveelheid van 2008 genomen door een voortschrijdend gemiddelde over de vraag per 2 weken te nemen en vanuit het maximum hiervan de gemiddelde hoeveelheid per dag in deze periode te berekenen. Dit gebeurt omdat het hele jaar op deze hoeveelheid is ingericht. Wanneer zich een piek aandient, meldt de afdeling klantorderplanning dit ruim van tevoren, zodat er voor de piekperiode geschakeld kan worden naar een hogere aanleverhoeveelheid. De gebruikte gegevens komen uit het stamnummersamenstellingsoverzicht.

5.4.2 Resultaten logistieke aanvoer

In Tabel 5-2 wordt het maximaal verwacht dagverbruik per bureaustoel weergegeven. Deze gegevens kunnen gebruikt worden bij het bepalen van de leveringsfrequentie en – volume van stap 9 van het stappenplan uit paragraaf 4.5.2.

Product	Maximaal verwacht dagverbruik	Product	Maximaal verwacht dagverbruik
A230 Bureau	333	A160 Stoel	73
A220 Bureau	80	A262 Bureau	31
A260 Bureau	8	A240 Draai	24
A260 Tabouret	14	A250 Draai	40
A450 Kuipstoel	75		

Tabel 5-2 Maximaal verwacht dagverbruik per bureaustoel

5.5 Lay-out inrichting

In deze paragraaf wordt een mogelijkheid gegeven voor de fysieke inrichting van de bureaustoelenlijn. Merk op dat het stappenplan richtlijnen geeft voor inrichting, maar dat eigen inzicht kan leiden tot meerdere invullingen van de lay-out.

5.5.1 Aannames lay-out inrichting

Voor de inrichting van de lay-out zijn de volgende aannames gedaan:

- De werkstations die uit de analyses van paragraaf 5.2 en 5.3 worden gebruikt voor de inrichting van de productielijn.
- Voor de afmetingen van de werkplekken worden de afmetingen uit Tabel 4-1 gebruikt.

5.5.2 Resultaten lay-out inrichting

Voor de bureaustoelenlijn zijn vier werkstations nodig waar elk een onderdelenstelling geplaatst moet worden, waar de voormontages op uit moeten komen. Bij werkstation 1 moet nog plek zijn voor een extra montagebok om de wielen te persen en moeten vier buffers voor grote onderdelen aanwezig zijn. Werkstation 2, 3 en 4 moeten ook elk een buffer voor grote onderdelen hebben. Het aantal cellen per voormontagelijn is te vinden in bijlage I. Ook is te vinden welke machines in die cellen te vinden zijn.

Een voorbeeld van de uitwerking van de fysieke inrichting van de bureaustoelenlijn is te vinden in bijlage I. Uitwerking van de lay-out inrichting resulteert in het gebruik van een oppervlakte van 36 bij 14 meter. Dit komt overeen met 504 m².

5.6 Theoretisch mogelijke verbeteringen

De inrichting van de bureaustoelenlijn geeft een indicatie van de verbetering die theoretisch te behalen moet zijn. Voor dit onderzoek is continu uitgegaan van de gegenereerde output van 2008.

5.6.1 Efficiëntie

In 2008 werkten gemiddeld 40 directe mensen op de assemblageafdeling. Er wordt aangenomen dat deze mensen evenredig met de normtijd x aantal producten verdeeld waren over de afdeling. 61,1% van de tijd is dan gemiddeld besteed aan het produceren van de bureaustoelen van de bureaustoelenlijn. Dit betekent dat gemiddeld 24 directe mensen ingezet zijn om de output van 78.703 stoelen te genereren.

In paragraaf 5.2 is berekend dat 4 mensen nodig zijn om de hoofdmontageband te draaien (1 monteur per werkstation). In paragraaf 5.3 is berekend dat 10 mensen nodig zijn om de voormontageband te draaien. In totaal zou de output van 78.703 bureaustoelen met de nieuwe inrichting dus gegenereerd kunnen worden met slechts 14 monteurs.

Uitgaande van 40.000 euro per FTE, levert dit een besparing op van 400.000 euro per jaar voor alleen de bureaustoelenlijn. Wanneer dezelfde winst van 41% op alle productielijnen behaald kan worden, kan dezelfde output als in 2008 gegenereerd worden met ongeveer 16 monteurs minder. Dit betekent dat een stuk minder uitzendkrachten aangetrokken hoeven te worden en dit resulteert in een besparing van ongeveer 640.000 euro per jaar, alleen aan personeelskosten.

In paragraaf 1.3 is beschreven hoe APZ de efficiëntie meet. In 2008 was de efficiëntie gemiddeld 57,6%. Wanneer deze berekening toegepast wordt op de voorgestelde situatie, kan op de bureaustoelenlijn een efficiëntie behaald worden van maximaal 87%. Met deze efficiëntie hebben de monteurs per dag ook nog eens extra voorbereidings-, opruim- en overlegtijd van een half uur. Wanneer bijvoorbeeld gestart wordt met twee extra monteurs, dus met 16 monteurs in totaal, kan nog steeds een efficiëntie van 76% behaald worden.

5.6.2 Oppervlakte

In de huidige situatie wordt ongeveer 1330m² gebruikt voor de assemblage van de bureaustoelen. In paragraaf 5.5 is een voorstel gedaan voor een nieuwe lay-out op basis van voorgestelde methode. Deze lay-out beslaat zo'n 504m². Dit betekent dat een nieuwe lay-out op een kleine 40% van de huidige oppervlakte zou moeten passen en de rest van de assemblagehal leeg kan blijven.

5.7 Haalbaarheidstest in de praktijk

Volgens de berekeningen in de vorige paragraaf is er op papier een efficiëntieverbetering mogelijk van gemiddeld 58% naar 87%. De vraag rijst of deze verbetering ook daadwerkelijk te realiseren is. Daarom is een praktijktest uitgevoerd op de assemblagelijijn van APZ en worden de resultaten gebenchmarkt aan de resultaten bij een andere fabriek, namelijk die van Scania Production B.V. in Zwolle.

5.7.1 Haalbaarheidstest door lean-inrichting huidige productielijn

In april 2008 is binnen APZ een project opgestart genaamd "Value Engineering". Het doel van dit project is om het verdienvermogen te vergroten voor de stoelen A230 en A240/A250 door toepassing van lean. In de analysefase is vastgesteld waar de grootste problemen zitten en waar het meeste te winnen valt.

Gestart is met de A240/A250 Bureaulijn. De reden om met deze lijn te starten was dat er een vraag lag om de capaciteit te verhogen van 36 naar 60 stoelen per dag. Teneinde aan deze vraag te kunnen voldoen, is op de assemblageafdeling een nieuwe lay-out ontwikkeld voor deze lijn met als uitgangspunt stuksproductie. Een klok is opgehangen die de taktijd aangeeft en de lijn is op deze taktijd gebalanceerd.

De efficiëntie lag voor verandering op een maximum van 62% met een maximum van 36 stoelen per dag. Het doel was om na twee weken tijd 60 stoelen per dag te kunnen produceren met een efficiëntie van 66%. Na een week lagen de resultaten hoger dan het doel. De capaciteit was weliswaar gestegen naar 55 stoelen per dag, de efficiëntie was in de eerste volle week gemiddeld 79,32%.

Dit percentage werd behaald doordat de monteurs in de praktijk zelf hadden geconcludeerd dat de indeling nog slimmer geregeld kon worden dan op papier gedacht. Hierdoor kon de productie met vijf in plaats van zes medewerkers gedraaid worden.

5.7.2 Haalbaarheidstest door kleine benchmark

Om nog beter inzicht te krijgen in het verbeterpotentieel dat lean kan brengen, is een bezoek gebracht aan Scania Production B.V. te Zwolle. Bij Scania worden trucks geproduceerd. Scania maakt dus een ander product, het lean principe is hetzelfde. Scania is veel verder in het introduceren van lean dan APZ. De resultaten die daar behaald zijn, geven een beeld van zowel het verbeterpotentieel van de kwaliteit als van de productiviteit. Het toepassen van het lean productie concept bij Scania in Zwolle, heeft tussen 2001 en 2007 geleid tot een 47% kwaliteitsstijging en een 40% productiviteitsstijging.³

³ Presentatie op 11 maart 2009 door Ton Vollebregt, logistics manager Scania Production Zwolle B.V.

5.8 Resultaten

In deze paragraaf worden de te verwachten resultaten samengevat.

5.8.1 Efficiëntie

De verwachte verbeteringen in efficiëntie zijn samengevat in Tabel 5-3.

Huidige efficiëntie	Verwachte efficiëntie	Verbetering	Argumentatie
58%	87%	29%	Theoretisch mogelijk door samenvoegen lijnen
62%	79%	17%	Waargenomen in praktijk bij lean A240/A250 Bureau-lijn (na een week)
-	-	40%	Scania Production B.V. Zwolle (in 6 jaar tijd)

Tabel 5-3 Samenvatting verwachte efficiëntieverbeteringen

Uit de tabel volgt dat niet exact duidelijk is wat het verbeterpotentieel in de praktijk zal zijn. Het lijkt er wel op dat de efficiëntie in ieder geval tot boven de 80% kan gaan stijgen door het samenvoegen van productielijnen.

5.8.2 Terugverdientijd

Het is lastig om in dit stadium een exacte inschatting te doen van de kosten die gemaakt moeten worden om één lean productielijn in te richten door het samenvoegen van 6 bureaustoelenlijnen. Er kan een inschatting gemaakt worden door te kijken naar de aanpassingen die gedaan zijn voor het project "Value Engineering", behandeld in paragraaf 5.7.1. Hiervoor is een investering van 18.500 euro gedaan voor het ombouwen van werkplekken, productspecifieke karren en logistieke aanvoerpunten. Het is in principe in de opstartfase namelijk niet nodig om extra investeringen te doen bovenop de investeringen die ook voor deze werkplek gedaan zijn. Het lijkt er overigens wel op dat de investering voor het tweede project, de A230 Bureaustoel, iets hoger zal uitvallen.

We nemen aan dat voor iedere lijn die omgebouwd wordt een investering van 25.000 euro nodig is. Dat betekent dat een totale investering van 150.000 euro gevraagd wordt om de bureaustoelenlijn om te bouwen en een investering van 500.000 euro om alle lijnen volgens de beschreven methode in te richten.

Met een verwachte besparing aan personeelskosten van 400.000 euro voor de bureaustoelenlijn, respectievelijk 640.000 euro voor alle productielijnen samen, betekent dit een terugverdientijd van 4,5 respectievelijk 9 maanden.

Uiteraard wordt de investering wel hoger wanneer het aansturingssysteem en de afvoerband ook vervangen gaan worden. Voor het implementeren van een lean lay-out is dit echter niet noodzakelijk.

5.8.3 Oppervlakte

In paragraaf 5.6.2 is te lezen dat een nieuwe lay-out slechts 40% van de huidige oppervlakte in beslag hoeft te nemen.

5.9 Gevolgen implementatie

In hoofdstuk 3 zijn randvoorwaarden en wensen genoemd aan het lay-out ontwerp. De randvoorwaarden zijn gedurende het onderzoek meegenomen. In deze paragraaf wordt behandeld in hoeverre aan de wensen is voldaan en of er nog andere gevolgen zijn voor overige functies binnen de organisatie. Vervolgens wordt ook gekeken of verspillingen door invoer van dit voorstel verminderd kunnen worden en of er meer doorstroom gecreëerd is. Dit waren de twee wensen die volgden uit een lean analyse van de afdeling.

5.9.1 Gevolgen voor APZ voor overige functies

In paragraaf 3.1 zijn de functies binnen APZ die invloed hebben op lay-out ontwerp behandeld. Omgekeerd is natuurlijk ook het geval: het lay-out ontwerp kan consequenties hebben voor bepaalde functies binnen APZ. In deze paragraaf worden deze gevolgen per functie behandeld. De functies zullen verder niet meer beschreven worden, deze beschrijvingen zijn te vinden in paragraaf 3.1.

5.9.1.1 Gevolgen voor strategie APZ

Voor de implementatie van lean productie wordt vanuit de literatuur gewaarschuwd dat het management het lean concept ook uit moet dragen in haar strategie. Bovendien was er een wens voor meer representativiteit. De voorgestelde lay-out zal – zeker wanneer deze tezamen met andere lean-principes wordt ingevoerd – hieraan bijdragen. De nieuwe lay-out heeft enige consequenties voor de mate van maatschappelijk verantwoord ondernemen, dit kan bepaald worden aan de hand van de drie P's (people, planet, profit). Voor de people wordt het werk simpeler en gestandaardiseerder. Voor de planet zijn er in principe geen veranderingen noodzakelijk, omdat het productieproces gelijk blijft. Er is niet onderzocht wat de consequenties voor de planet zullen zijn wanneer er veranderingen in de logistieke aansturing plaats zullen vinden. De profit zal stijgen, omdat verspillingen gereduceerd worden.

5.9.1.2 Financiën

De financiële afdeling heeft de wens geuit om de voorraden te verlagen. Dit zal gebeuren door de invoering van de nieuwe lay-out. Er zal een initiële investering plaats moeten vinden voor implementatie van zo'n 640.000 euro. Verder zijn er geen consequenties voor de afdeling.

5.9.1.3 Inkoop

Om de voorraden niet alleen op de assemblageafdeling, maar door de hele fabriek te verlagen, zijn een goede samenwerking en nieuwe afspraken met leveranciers noodzakelijk. De focus zal moeten liggen op een afweging van de integrale kosten door de hele keten. Inkoop is al bezig deze te bewerkstelligen en zal dit door moeten zetten, willen verdere resultaten geboekt worden.

5.9.1.4 Personeel & Organisatie

In paragraaf 2.4 is verhaald over de mogelijkheid dat functieomschrijvingen moeten veranderen. De lay-out verandering geeft hier geen directe aanleiding toe, maar wanneer – volgens het lean-concept – meer verantwoordelijkheden bij de monteurs komen te liggen, zouden de functieomschrijvingen moeten worden nagekeken. In praktijk kan dit een grote invloed hebben, zo zal een procesbegeleider en een runner opgeleid worden. Verder zijn er geen consequenties voor de afdeling P&O.

5.9.1.5 Productontwikkeling

Het voorstel voor een nieuwe lay-out gaat uit van de huidige productbewerkingen. Nog betere resultaten kunnen bereikt worden op de assemblageafdeling wanneer de producten steeds meer gestandaardiseerd kunnen worden wat betreft productiebewerkingen. Er is precies omschreven welke bewerkingen van welke producten bij elkaar op de productielijn plaatsvinden. In een ideale situatie zou de afdeling productontwikkeling deze kenmerken van productie meenemen in haar programma van eisen voor het ontwerpen van een nieuw product.

5.9.1.6 Productie

Voor de assemblageafdeling zelf zullen een aantal dingen moeten veranderen. Allereerst wordt de werkwijze anders. Waar in de huidige situatie aan een aantal producten tegelijkertijd wordt gewerkt, wordt in de lijnlay-out aan één product tegelijkertijd gewerkt. Aan dit product vinden per persoon voorgeschreven handelingen plaats binnen de taktijd.

Bovendien werken alle monteurs in dezelfde volgorde aan producten. Deze volgorde en met name ook wijzigingen in de volgorde moet aan iedereen gecommuniceerd worden. De goedkoopste manier om de volgorde te communiceren is om iedereen aan het begin van de dag een lijst te geven met de volgorde. Wanneer hier iets in wijzigt, zal de procesbegeleider de volgorde bij iedereen aan moeten passen. Een slimmere manier is om een Management Executive System (MES) aan te schaffen waarmee iedereen de meest up-to-date informatie krijgt van de planner. Overigens heeft dit MES meerdere voordelen, zoals het communiceren van de prestatie van een afdeling, maar ook het verzamelen van nuttige managementinformatie. De aanschaf van een MES kost echter wel geld.

De ruimte voor opslag aan de productielijn wordt kleiner en het aantal onderdelen wordt groter. Daarom zal de levering van onderdelen vaker plaats moeten vinden. Dit kan direct vanuit de aanleverende afdeling. Wanneer dit niet meteen mogelijk is, kan ook besloten worden om hiervoor op de assemblageafdeling een aparte buffer te maken.

Het wordt gemakkelijker om over producten heen te managen en te sturen: de aandacht hoeft minder verdeeld te worden over verschillende productielijnen en de productievolgorde is ook over de producten heen bekend en dus hoeft de focus minder verdeeld te worden.

Monteurs moeten andere taken beheersen. Voorheen moesten monteurs alle assemblagetaken van één bepaald product beheersen om een lijn te draaien. Nu moeten de monteurs één taak voor alle soorten producten beheersen om een werkplek te kunnen draaien. Verwacht wordt dat dit door training en scholing geen problemen gaat opleveren.

De assemblageafdeling wordt flexibeler in het plannen van producten over de dag. Dit betekent dat aanleverende afdelingen voor planning vaker de bottleneck zullen zijn en vooral ook beter hun wensen in planning aan kunnen geven. Uitgangspunt blijft uiteraard in eerste instantie wel de klantwens.

De assemblageafdeling gaat – met name voor grotere onderdelen – om frequentere levering vragen. Dit kan desgewenst vertaald worden in effecten voor de productie van aanleverende afdelingen.

De technische dienst zal in haar dagelijkse taken niet veel wijzigingen ondervinden door herinrichting van de lijn. De lijn wordt wel storingsgevoeliger. Wanneer ergens een storing of defect is, staat de gehele productielijn stil. Daarom is snel ingrijpen en preventief onderhoud nog meer gewenst dan eerder het geval was.

5.9.1.7 Logistiek

De afdeling materiaalverwerving zal, door de frequentere levering van onderdelen, later signalen ontvangen van het MRP-systeem om nieuwe onderdelen bij te bestellen. Hierdoor verlagen de voorraden.

Ook van het magazijn zal vaker om uitlevering van onderdelen gevraagd worden. Een methode om aan deze vraag te kunnen voldoen, is het loslaten van de in- en uitlevertijden en een persoon aan te stellen die continue controleert of er nog behoefte is van de assemblageafdeling en in deze behoefte voorziet.

De nieuwe lay-out levert een hogere flexibiliteit van de capaciteit van de assemblageafdeling. Het is dus zeer waarschijnlijk dat de offset verlaagd kan worden en dat er minder eindproducten op de expeditie in voorraad staan. Dit vereenvoudigt het expeditieproces omdat de zoektijd verminderd kan worden.

Al eerder is gerefereerd aan het feit dat de flexibiliteit van de capaciteit van de assemblageafdeling verhoogt door invoering van een gecombineerde productielijn. De capaciteitsrestrictie vindt immers niet meer plaats op productniveau, maar op productgroepniveau. Dit geeft een grotere flexibiliteit voor de afdeling klantorderplanning.

5.9.2 Gevolgen voor verspillingen en doorstroom

Uit een lean-analyse van de huidige prestatie van de assemblageafdeling in paragraaf 3.2 volgden de wensen om de verspillingen in het huidige proces zoveel mogelijk te elimineren en om meer doorstroom of flow te creëren op de assemblageafdeling.

De resultaten hiervan kunnen niet kwantitatief gemaakt worden, wel kan er iets gezegd worden over de invloed van een lay-out volgens voorgesteld lay-out ontwerp op de flow en de verspillingen.

Het mag duidelijk zijn dat de nieuwe lijnlay-out zorgt voor een betere doorstroom of flow op de assemblageafdeling. Er worden geen batches stoelen, tafels en schermen meer tegelijk geproduceerd, waardoor geen opstoppen ontstaan. Door de producten een voor een te maken is beter zichtbaar waar op welk moment waarde toegevoegd wordt en hoeft er ook niet meer vooruit gewerkt te worden. Hierdoor kunnen voorraden onderdelen, halffabricaten en onder handen werk per direct omlaag. Er is immers maar voor één product voorraad mogelijk, omdat er niet meer ruimte voor is op de band.

De verspillingen in het huidige proces zijn gegeven in Tabel 3-1. We zullen de gevolgen van een nieuwe lay-out volgens voorgestelde ontwerpmethode op alle verspillingen achtereenvolgens behandelen.

De overproductie bedraagt op dit moment gemiddeld vijf dagen. Omdat de flexibiliteit van de capaciteit van de assemblageafdeling verhoogt, is het gemakkelijker daadwerkelijk de klantvraag te produceren. Ook is de productie op de assemblage beter te controleren, waardoor de leverbetrouwbaarheid waarschijnlijk zal stijgen. De offset zal langzaam omlaag moeten worden gebracht, zodat de overproductie omlaag gebracht kan worden. Wanneer de leverbetrouwbaarheid verder stijgt, zou in het uiterste geval zelfs per vrachtwagen geproduceerd kunnen gaan worden.

De wachttijd van machines, die overigens niet in kosten is uitgedrukt, kan omlaag, omdat de productielijnen een veel groter gedeelte van de dag productie gaan draaien en er dus veel minder vaak een hele productielijn zal stilstaan. De wachttijd van mensen bedroeg zo'n 10% van de tijd. In de nieuwe lay-out zal deze wachttijd dalen, er is immers in totaal maar 13% niet-waardetoevoegende tijd.

Van de transporttijd is niet duidelijk of deze zal dalen of stijgen. Wanneer vaker aangeleverd zal worden, bespaard dit voorraden en zoektijden, maar zal de hoeveelheid transport toenemen. Het is echter wel de vraag of dit direct leidt tot extra verspilling. De transportkosten zullen dus waarschijnlijk toenemen, maar de hoogte van de stijging staat niet in verhouding tot de reductie van overige verspillingen.

De kosten van slechte procesinrichting zullen niet direct veranderen door een andere inrichting van de lay-out. Door het houden van Kaizen-events en door continue verbetering, een lean-methode om op de werkvloer verbeteringen in het proces aan te brengen, kunnen deze echter snel omlaag gebracht worden.

Vorraden moeten omlaag en zullen ook omlaag gaan, wanneer aan de productielijn maar een beperkte ruimte voor de opslag van onderdelen bestaat. De hoeveelheid transport zal hierdoor stijgen, maar de hoeveelheid voorraden kan drastisch omlaag door vaker te gaan leveren.

De kosten door onnodige beweging zullen omlaag gaan. Door producten en benodigde gereedschappen duidelijk aan te bieden, zal de zoek- en opruimtijd dalen.

Defecten worden in een lijnlay-out gemakkelijker direct opgelost dan in een batchproductie doordat defecten direct teruggaan naar degene die hier verantwoordelijk voor is. Deze directe terugkoppeling kan op den duur weer leiden tot minder defecten. In totaal zullen de kosten van defecten dus dalen.

5.10 Samenvatting

In dit hoofdstuk heeft de toepassing van de methode voor lay-out ontwerp, beschreven in hoofdstuk 4, plaatsgehad. De toepassing leidt tot een inzicht in de mogelijke verbeteringen door lean lay-out ontwerp. Met een terugverdiendtijd van minder dan een jaar valt een efficiëntieverbetering te behalen van 62% naar meer dan 80% op een oppervlakte van 40% van de huidige oppervlakte.

In het volgende hoofdstuk worden de conclusies van dit onderzoek behandeld en volgen de aanbevelingen voor APZ.

6 Conclusie en aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden de conclusies van het onderzoek besproken. Eerst volgt de conclusie door evaluatie van de doelstelling. Daarna volgen aanbevelingen voor implementatie. Vervolgens komt in paragraaf 6.3 een ex-ante evaluatie aan de orde. Dit hoofdstuk wordt afgesloten met een discussie over het onderzoeken en met aanbevelingen voor verder onderzoek.

6.1 Conclusie

De doelstelling in dit onderzoek, was:

Het doel van dit onderzoek is het doen van aanbevelingen voor het ontwerpen van een lay-out voor de assemblageafdeling van Ahrend Productiebedrijf Zwanenburg op basis van het lean productie concept die leidt tot verhoging van de efficiëntie.

Als eerste kan geconcludeerd worden dat het mogelijk is om de efficiëntie te verhogen door het ontwerp van een lean lay-out. Voor de assemblageafdeling van Ahrend Productiebedrijf Zwanenburg kan het gebruik van Group Technology cellen aangeraden worden. In plaats van voor een enkel product een productielijn op te zetten, wordt geadviseerd een productielijn toe te wijzen per productgroep. Deze verandering leidt tot een hogere flexibiliteit in capaciteit.

De productielijnen dienen klantvraaggestuurd op taktijd te worden gebalanceerd. Alle aanvoer moet op de hoofdmontageband – daar waar de waarde zichtbaar stroomt – aangepast worden.

Dit nieuwe lay-out ontwerp op basis van het lean productie concept leidt tot een hogere flexibiliteit in capaciteit, tot een hogere efficiëntie en bijkomend voordeel is dat de productie plaats kan vinden op een kleinere oppervlakte.

6.2 Aanbevelingen voor implementatie

Efficiëntieverbetering is mogelijk door het nieuwe lay-out ontwerp. Daarom worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Bouw de huidige productielijnen van de bureaustoelen om naar de voorgestelde lay-out van de bureaustoelenlijn. Doe dit door geleidelijk meerdere bureaustoelen op de huidige A230-bureaustoelenlijn te implementeren en pas de taktijd steeds aan door het doen van Kaizen events. Gebruik bij de implementatie de in bijlage J bijgevoegde checklist. Deze checklist is ontstaan ter optimalisatie van iedere huidige productielijn, maar aangepast voor het invoeren van de nieuwe voorgestelde gecombineerde productielijnen.
- Streef op de lange termijn naar een productievolgorde zoals de klant deze vraagt, juist ook als dit betekent dat de batches ter grootte van één stuk zijn. Uiteindelijk kunnen producten dan direct een vrachtwagen in geladen worden. In het begin is het gemakkelijker om grotere batches te produceren, om te wennen aan het omschakelen. Ook kan gestart worden met in de ochtend de producten te maken die weinig voormontage vereisen, zodat er in de ochtend alvast voorgemonteerd kan worden voor de producten die later die dag gemonteerd worden.
- Maak bij de implementatie gebruik van de 5S methode. 5S is een lean-methode die staat voor scheiden, schikken, schoonmaken, standaardiseren en in stand houden. Deze methode is Ahrend bekend en draagt onder andere zorg voor overzichtelijke werkplekken waar monteurs hun onderdelen en gereedschappen altijd direct en in goede staat bij de hand hebben.

- In Figuur 5-3 is te zien dat voor de bureaustoel niet iedere groep bewerkingen binnen de taktijd past. Voor de meeste gevallen is de verwachting dat dit opgelost kan worden in Kaizen events. De bewerkingstijd van de A250 bureaustoel is echter te hoog om binnen de voorgestelde taktijd te passen. Produceer de A250 bureaustoelen in één batch per dag, zet de taktijd omhoog bij het maken van een A250 bureaustoel en probeer door continue verbetering de bewerkingstijd steeds meer richting taktijd te krijgen.
- Voer de voorgestelde methode voor lay-out ontwerp ook uit voor de overige producten door bijlage F van dit verslag uit te voeren en neem daarin de ervaringen van implementatie van de bureaustoelenlijn mee.
- Kijk bij introductie van een nieuw product met behulp van een clusteranalyse of dit product op een van de bestaande productielijnen past op basis van de bewerkingen. Is dit niet het geval, bekijk of het product tot een van de twee "overige" productielijnen behoort. Is ook dit niet mogelijk, maak dan een nieuwe productielijn voor het nieuwe product.
- Wanneer nieuwe bewerkingen toegevoegd of verwijderd worden van de assemblageafdeling, moet de lijn opnieuw gebalanceerd worden. Doe dit door de methode voor lijnbalanceren te gebruiken.
- Communiceer de bewerkingen per productielijn aan de afdeling productontwikkeling, zodat er bij het ontwerp van een nieuw product rekening gehouden kan worden met de wensen van productie op de assemblageafdeling. Voor de bureaustoelenlijn is deze te vinden in Tabel H-2.
- Communiceer de nieuwe geaggregeerde capaciteitsrestricties met de planningsafdeling.
- Blijf continu verbeteren door alle deelprocessen bij de verschillende werkstations steeds slimmer te gaan regelen en standaardiseer slimmere verbeteringen. Wanneer de wachttijd voldoende is opgelopen, kunnen de taken van twee werkstations worden samengevoegd, waardoor de efficiëntie weer verhoogd kan worden. Wees nooit tevreden, er is altijd meer verbetering mogelijk.
Bijkomend voordeel is dat investeringen die leiden tot verbeteringen in het proces sneller rendabel zijn: nu worden kruisvoeten bijvoorbeeld op ongeveer zeven verschillende plekken gemonteerd, in de nieuwe situatie gebeurt dat op één plek. Hierdoor is de tijd dat de machine daadwerkelijk gebruikt wordt veel groter. Een investering kan daardoor een kortere terugverdientijd hebben dan voorheen.
- Ontwerp machines en montagebokken die voor meerdere modellen inzetbaar zijn. Een voorbeeld is de montage van de zittingdragers. In de voorgestelde lay-out staan verschillende machines voor verschillende modellen naast elkaar. Wanneer hier één machine voor ontworpen kan worden, wordt oppervlakte en daarmee transporttijd bespaard.

6.3 Ex-ante evaluatie

Deze paragraaf behandelt vooraf de mogelijke consequenties die aan de orde kunnen komen bij de implementatie van het lay-out voorstel:

- Ruimtegebrek aan de lijn voor onderdelen wordt een bottleneck in de implementatie. Bedenk daarom – op basis van de aanbevelingen in paragraaf 4.5 – goed hoe de voorraden aan de lijn verlaagd kunnen worden door te kiezen voor de juiste logistieke aanvoer.
- De aansturing van de dagelijkse volgorde op een productielijn, kan gebeuren door gebruik te maken van volgordelijsten die ieder monteur aan het begin van de dag krijgt. Waarschijnlijk gaat de aansturing echter veel beter wanneer gebruik gemaakt wordt van een MES-systeem. In dat geval moet er een extra investering plaatsvinden.
- Er zal extra capaciteit nodig zijn voor het ombouwen van de productielijnen en het begeleiden van de monteurs bij de implementatie van een nieuwe productielijnen.

- De taak van de monteurs op de assemblageafdeling is om onderdelen te monteren tot eindproducten. Met de invoer van een nieuwe productielijn, zullen zij zich steeds minder bezig houden met de aan- en afvoer van onderdelen en assemblage. Voor deze taken zal nog steeds wel iemand aangesteld moeten worden, bij voorkeur van de logistieke afdeling. Deze persoon heet een runner. Ook zal er een procesbegeleider moeten zijn aan de productielijn zelf.
- Een risico en veel gehoorde zorg voor de implementatie van lean is dat er weerstand bij de monteurs zal zijn, omdat het werk saaier zou worden. De monteurs zelf zeggen bij implementatie van lean ook bang te zijn om robots te worden, omdat het werk steeds meer gestandaardiseerd wordt. Bij een gecombineerde productielijn zien zij echter een groot voordeel: er komt wisseling in de productmix en dus in de handelingen.

6.4 Discussie en aanbevelingen voor verder onderzoek

Dit onderzoek is gebaseerd op het lean productie concept. Andere productietheorieën zijn niet diepgaand onderzocht op toepasbaarheid voor dit onderzoek. Er is gebruik gemaakt van het lean concept omdat dit volledig in lijn is met de ontwikkeling van de fabriek en een grote efficiëntiewinst mogelijk is door toepassing. Voor de toekomst zou het interessant zijn om voor deelgebieden te bekijken of andere theorieën verdere richtlijnen of rekenmethodes bieden om optimale oplossingen te krijgen. Een aantal van deze deelgebieden wordt hier behandeld.

Voor de logistieke aanvoer zijn nu stelregels opgesteld die in lijn zijn met de huidige werkwijze en met lean-gebruik. Er zou een kostenafweging gemaakt kunnen worden tussen de relevante kosten, waaronder verpak-, opslag- en transportkosten, waardoor de parameters van aantal keren leveren en batchgroottes bepaald kan worden.

De nieuwe productielijn biedt de mogelijkheid om flexibel om te gaan met het inplannen van de volgorde van producten. Er is echter niet berekend wat de effecten zijn van een batchvolgorde of een willekeurige volgorde. De keuze voor de volgorde is van invloed op voorgaande afdelingen, op de omsteltijd en op de expeditie. Er zou een kostenafweging gemaakt kunnen worden wat de beste optie is. Er kan ook besloten worden om in de praktijk te testen of het lukt om in willekeurige volgorde te gaan produceren. Lean schrijft dit voor.

Uitgangspunt voor dit onderzoek was dat de productie van 2008 op de productielijnen gedraaid moest kunnen worden. Er zou in de toekomst door middel van levenscycli voor productgroepen in de gaten gehouden moeten worden of de taktijd aangepast moet worden om aan de klantvraag te blijven voldoen.

De normtijden die in dit onderzoek gebruikt zijn, komen van metingen van de arbeidskundige van APZ. Deze metingen zijn verouderd doordat veranderingen in het proces hebben plaatsgevonden. Een controlemeting heeft uitgewezen dat de werkelijke bewerkingstijden inderdaad afwijken van de normtijden uit het normtijdenoverzicht. In de praktijk zal dus blijken dat de lijnbalancerings niet volledig klopt. Daarom zal in de praktijk na implementatie direct gemeten moeten worden of de taktijd per werkplek gehaald wordt. Daarnaast zullen de normtijden in de toekomst aangepast nagemeten moeten worden en in orde moeten worden gebracht in het ERP-systeem, zodat de stuurinformatie weer klopt.

De lay-outinrichting is gebaseerd op gemiddelde afmetingen. De werkelijke afmetingen kunnen de benodigde oppervlakte dus nog enigszins beïnvloeden.

In dit onderzoek is uiteindelijk niet gekeken naar de locatie en de vorm van een nieuwe afvoerband. Het aansturingssysteem van de afvoerband blijft onbetrouwbaar. Er zal dus onderzoek gedaan moeten worden wat het beste systeem is voor de assemblageafdeling. Uitgangspunt zou hierbij moeten zijn dat zoveel mogelijk producten over de afvoerband kunnen. Dan hoeft er ook niet meer geïnvesteerd te worden in specifieke productdragers voor de zogenaamde "project producten" die nu niet over de afvoerband afgevoerd kunnen worden.

Ook is niet onderzocht wat de mogelijkheden zijn voor verbetering van de link tussen aanvoerende afdelingen en de assemblageafdeling. Wellicht is het in de toekomst mogelijk om afdelingen dichterbij elkaar te verplaatsen. Er ontstaat immers ruimte door invoering van de nieuwe productielijnen. Er kan ook gedacht worden aan een automatische aanvoer van onderdelen.

De aansturing van de volgorde van de productielijnen kan geschieden door middel van een MES-systeem. In dit onderzoek is niet onderzocht of de voordelen van het MES-systeem opwegen tegen de kosten. Er zal onderzocht moeten worden wat het pakket van eisen is voor aanschaf van zo'n systeem, welk systeem APZ het beste past, wat exact de voordelen zijn en wat de kosten van zo'n systeem zijn.

Bronvermelding

Baarda D.B., De Goede M.P.M. (2006), *Basisboek Methoden en Technieken*, Houten: Wolters-Noordhoff Groningen

Ballé, F., Ballé, M. (2005), *De Goudmijn*, Driebergen, Nederland: Lean Management Instituut (vertaling van: *The Goldmine*. Brookline, Massachusetts, VS: The lean enterprise institute)

Becker C., Scholl, A. (2004), *A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing*, in: European journal of operational research, Elsevier

Botter, C.H. (1993), *Productiemanagement*, Deventer: Kluwer

Buffa, E., Sarin, R. (1987), *Modern Production/Operations Management*, New York: John Wiley & Sons

Hall, R.W., American Products & Inventories (1983), *Zero inventories*, Dow Jones-Irwin

Hayes, R., Pisano, G., Upton, D., Wheelwright, S (2005), *Pursuing the Competitive Edge*, John Wiley & Sons

Heerkens, J.M.G. (2004). *Methodologische checklist*. Enschede: Universiteit Twente

Hopp, W.J., Spearman, M.L. (2000), *Factory Physics*, Singapore: McGraw-Hill

Genaldy, A.M., Karwowski, W. (2003), *Human Performance in Lean Production Environment: Critical Assessment and Research Framework*, in: Human Factors and Ergonomics in Manufacturing, Vol. 13 (4) 317–330 (2003)

Krajewski, L.J., Ritzman, L.P., Malhotra, M.K. (2009), *Operations Management*, New Jersey, USA: Pearson Education

Rother, M., Shook, J. (2003), *Leren zien*, Driebergen, Nederland: Lean management instituut (vertaling van: *Learning to See*. Brookline, Massachusetts, VS: The lean enterprise institute)

Sandberg, A. (2007), *Enriching Production: Perspectives on Volvo's Uddevalla plant as an alternative to lean production*, Aldershot, Engeland: Avebury, digitale versie

Saunders, M. (1994), *Strategic Purchasing & Supply Chain Management*, London, Engeland: Pitman Publishing

Shah, R., Ward, P.T. (2002), *Lean manufacturing: context, practice bundles and performance*, in: Journal of Operations Management, Vol. 21 129-149 (2003)

Slack, N., Chambers, S., Johnston, R. (2007), *Operations Management*, Harlow, Engeland: Pearson Education

Tompkins, J.A., White, J.A., Bozer, Y.A., Tanchoco, J.M.A. (2003), *Facilities Planning*, Danvers; Hoboken, United States: John Wiley & Sons, Inc.

Womack, J.P., Jones, D.T. (2003), *Lean thinking*, Londen, Engeland: Simon & Schuster

Womack, J.P. (2007), *The State of Lean in 2007*, Lean Management Instituut

Interne documentatie

Doelstellingen en uitgangspunten Sociaal en Personeelsbeleid Koninklijke Ahrend NV (januari 2003)

Risico-inventarisatie en –evaluatie Ahrend Productiebedrijf Zwanenburg, uitgevoerd door Arbo Unie B.V. (juli 2008)

KAM-handboek APZ versie 8.1 (15 juli 2008)

Logistiek concept van Ahrend Productiebedrijf Zwanenburg (februari 1998)

Presentatie over Ahrend Productiebedrijf Zwanenburg (versie 2007 Nederlands)

Bijlage A Verkoopaantallen 2008

In Tabel A-1 zijn de verkoopaantallen te zien van de producten die in 2008 op de assemblageafdeling zijn geassembleerd. Bijbehorende afdelingen en machinenummers zijn ook weergegeven.

Omschrijving	Afdeling	Machine	Aantal 2008
A220 Bureau	701	701220 A220 bureau	9.722
A260 Bureau	703	703251 A260 bureau	469
A260 Tabouret	703	703253 A260 tabouret	429
A450 Kuipstoel	703	703450 A450 Kuipstoel	3.971
A180 Draai	707	707180 A180 draai	566
A210 Bezoeker	708	708415 A210 bezoeker	266
A320 Buisstoel	709	709320 A320 Buisstoel	8.571
A250 Draai	710	710250 A250 draai	2.917
A240 Draai	710	710240 A240 draai	1.711
A250 Bezoeker	711	711251 A250 bez.	2.372
A240 Bezoeker	711	711241 A240 bez.	1.576
A310/A312 Tafel	712	712151 A310/A312 tafels	4.901
A460 Bistro-Tafel	712	712161 A460 bistro-tafels	952
Facet Tafel	712	712121 Facet tafel	388
Move-It Tafel	712	712181 Move-it tafels	603
S18/S20 Fence Panel	713	713614 S18/S20 Fence panel	4.378
S32 Schermen	714	714610 S32 Schermen	10.211
Backpanels	715	715611 S70 Schermen/Backpanels	15
A312 Stoel	716	755312 A312 stoel	6.644
A262 Kruk	717	717262 A262 Kruk	1.982
A460 Basisstoel	717	717470 A460 Basisstoel	17.728
A452 Schoolstoel	718	718452 A452 Schoolstoel	1.980
A450 Schoolstoel	718	718450 A450 Schoolstoel	8.224
A452 4-Poot tafel	719	719455 A452 4-Poot tafel	814
A452 Schooltafel	719	719452 A452 Schooltafel	3.324
A450 Schooltafel	719	719450 A450 Schooltafel	8.623
A160 Stoel	724	703160 A160 stoel	5.567
A262 Bureau	724	703262 A262 bureau	1.778
A262 Bezoeker	725	725262 A262 bezoeker	2.530
S18 Voormontage steunen t.b.v. schermen	726	726STN Montage steunen t.b.v. schermen	2.903
S32 Onderdelen	726	714611 S32 Onderdelen	251
A330 Stoel	727	727330 A330 stoel	452
A350 Bureau en Bezoeker	729	729350 A350 bureau	2.669
A460-Traversebank	751	751460 Montage A460-traversebank	253
A600 Museumbank	751	721452 A600 Museumbank	27
A230 Bureau	752	752230 A230 bureau	52.139
A230 Bezoeker	753	753230 A230 bezoeker	17.326
Revolt Stoel	754	754REV Revolt stoel	2.496
A360 Stoel	755	755360 A360 stoel	32
A750 Verstelbare stoel	760	760751 montage A750 Verst. Stoel	91
A750 Vaste stoel	760	760750 montage A750 Basis	515
A750 Tafel	760	760752 montage A750 Tafel	76
Eindtotaal Som van Aantal			192.442

Tabel A-1 Verkoopaantallen 2008

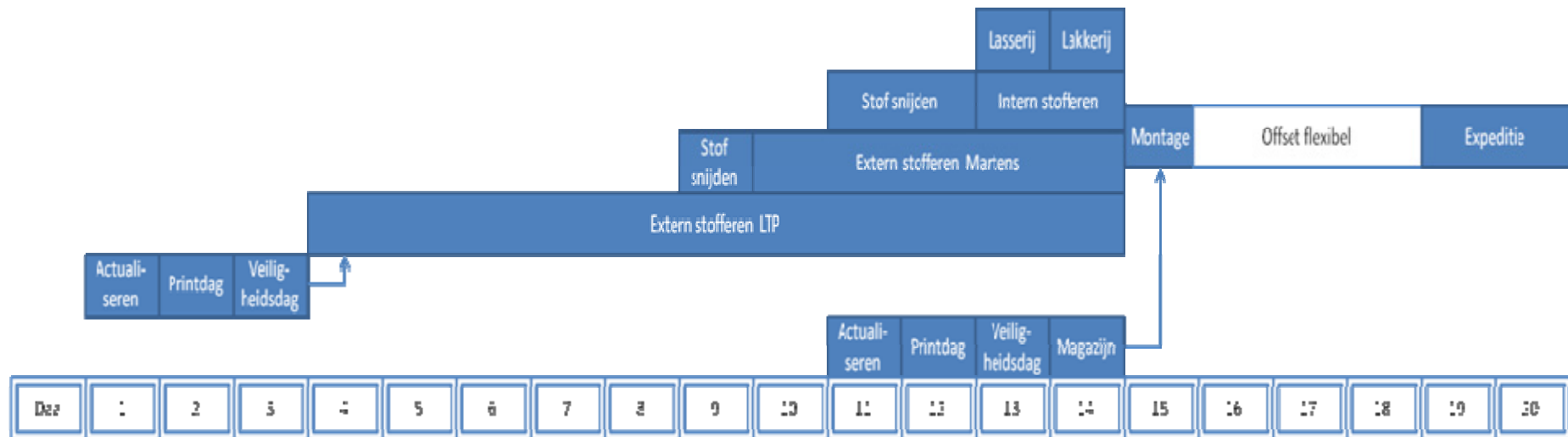
Bijlage B Probleemkluwen

In deze bijlage is in Figuur B-1 is de probleemkluwen weergegeven. De probleemkluwen geeft een samenhang tussen de problemen die geconstateerd zijn op de assemblageafdeling. De pijlen geven een oorzaak-gevolg relatie aan.

Bijlage C Klantordergestuurde productieproces

Deze bijlage geeft het klantordergestuurde productieproces van APZ weer.

wat vandaag gelast wordt, wordt morgen gelakt en overmorgen geassembleerd. Het stofsniijden kent twee dagen doorlooptijd, intern stofferen twee dagen en extern stofferen vijf of elf dagen doorlooptijd, afhankelijk van de leverancier. Wat gesneden is, wordt morgen en de dagen erna gestoffeerd en na stofferen vindt de assemblage plaats. Dit heet het zogenaamde 1:1 Dag-Batch systeem. Figuur C-1 geeft dit klantorder gestuurde productieproces in de tijd weer.



Figuur C-1 Klantordergestuurde productieproces

Bijlage D Randvoorwaarden en wensen aan lay-out ontwerp

Deze bijlage geeft een overzicht van de randvoorwaarden en aanvullende wensen die in hoofdstuk 3 gesteld zijn aan het lay-out ontwerp.

Randvoorwaarden

APZ stelt de volgende randvoorwaarden aan lay-out ontwerp:

- Het juiste product moet gemaakt worden. De eerste prioriteit hierbij is de huidige kwaliteit behalen, vervolgens is de leverbetrouwbaarheid van belang en als het product van voldoende kwaliteit op tijd gereed is, ligt de derde prioriteit bij een efficiënte productie van het product. Concreet betekent dit dat het huidige niveau van kwaliteit en leverbetrouwbaarheid minimaal behouden moet blijven
- Het lay-out ontwerp moet passen binnen het lean productie concept
- Een nieuwe lay-out mag niet negatief bijdragen aan de mate van maatschappelijk verantwoord ondernemen
- De voorraad mag niet stijgen
- De terugverdiëntijd mag niet groter zijn dan drie jaar
- De nieuwe lay-out moet passen in de huidige afdeling wat betreft vorm (zie Figuur 3-1) en oppervlakte (5290m²)
- De initiële investering mag niet te groot zijn
- De veiligheid op de werkvloer moet in ieder geval op de huidige standaard blijven
- Het niveau van uitdagende en effectieve functies en het faciliteren van ontwikkelingsmogelijkheden voor medewerkers moet minimaal gelijk blijven
- De productie moet met de competenties van de huidige personele bezetting gedraaid kunnen worden. Dit betekent dat de werkzaamheden niet op dusdanige wijze van aard mogen veranderen dat de capaciteiten van het personeel te kort schieten en deze tekortkomingen niet door scholing opgelost kunnen worden
- De medewerkers van APZ vallen onder de Collectieve Arbeidsovereenkomst Metalelektro. De nieuwe inrichting mag niet tot een conflict leiden met dit CAO
- De productie moet zo min mogelijk kosten met zich meebrengen en daarom zo efficiënt mogelijk worden ingericht, met name voor de moneymakers (de producten die verantwoordelijk zijn voor het grootste deel van de omzet)
- De productie moet zo flexibel ingericht zijn dat alle varianten geproduceerd kunnen worden en wijzigingen in het productaanbod gemakkelijk in te passen zijn
- De capaciteit van productie van de assemblageafdeling moet minstens gelijk zijn aan de klantvraag van 2008
- De huidige assemblagebewerkingen en hiervoor gebruikte machines en gereedschappen blijven de basis voor productie en hoeven in dit ontwerp niet heroverwogen te worden. Dit heeft als consequentie dat de door het proces vastgelegde veiligheid en kwaliteit gelijk zullen blijven
- Het huidige niveau van flexibiliteit van de capaciteit op de assemblage moet minimaal gelijk blijven
- De voorgestelde veranderingen moeten aan te passen zijn in het ERP-systeem

Aanvullende wensen

Naast de genoemde randvoorwaarden, zijn er aanvullende wensen gedefinieerd ter verbetering van de huidige prestatie:

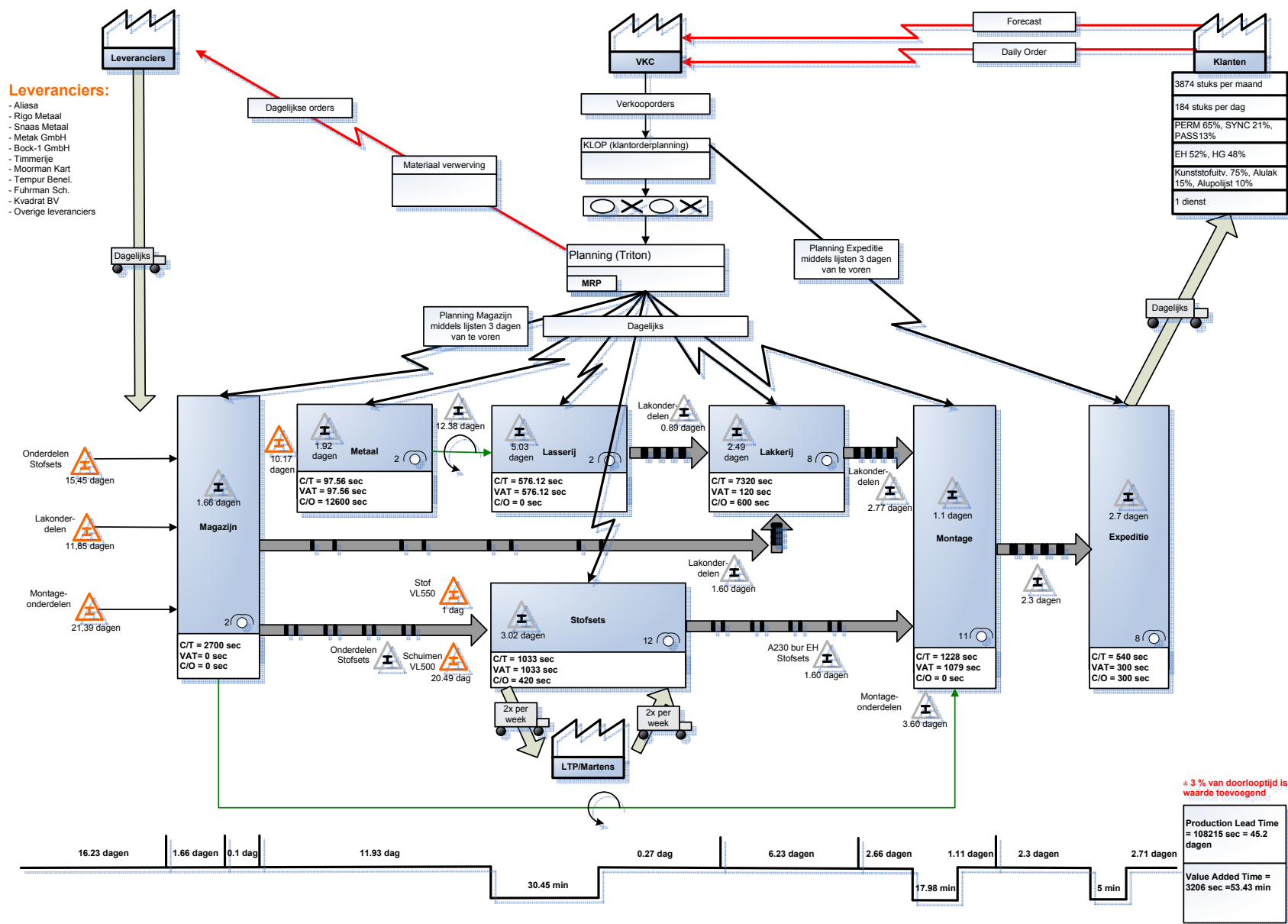
- APZ wordt vaak bezocht voor bedrijfsbezoeken, vanwege de strategische ligging in de buurt van luchthaven Schiphol. Daarom wordt representativiteit gewenst
- De focus van Ahrend NV ligt steeds meer op maatschappelijk verantwoord ondernemen. Het is een wens om de lay-out zo maatschappelijk verantwoord mogelijk in te richten
- Het is een wens om de voorraad te verlagen

- Op veel plaatsen is de vloer glad, ongelijk of sterk vervuild. Hierdoor is struikelgevaar aanwezig. De vloer is aan het verzakken en achter in de assemblageafdeling liggen losse platen. Het is een wens om te overwegen of de vloer vervangen kan worden tijdens de implementatie van nieuw lay-out ontwerp
- Er liggen regelmatig luchtslangen op de grond, dit levert struikelgevaar op. Het is een wens om de luchtslangen om te leiden, zodat er geen struikelgevaar meer is tijdens het gebruik.
- Het is een wens rij-, voetpaden en oogdouches duidelijke plekken te geven en deze duidelijk aan te geven en schoon te houden
- Het is een wens om het werk overzichtelijker te maken door op de werkplekken maximaal een dagvoorraad aanwezig te laten zijn
- Het is een wens aanbevelingen te krijgen voor de productdragers van "project producten"
- Het is een wens aanbevelingen te krijgen voor de verpakkingslocatie
- Het is een wens aanbevelingen te krijgen voor het gebruik van scan, RFID en/of een MES-systeem
- Het is een wens om de productmix gelijkmatiger te maken
- Verhoging en flexibilisering van de capaciteit op de assemblageafdeling wordt gewenst
- Het is gewenst om de betrouwbaarheid van exacte leverdag aan expeditie te vergroten
- Zorg voor meer flow of doorstroom op de assemblageafdeling
- Reduceer alle verspillingen zoals gedefinieerd in Tabel 3-1 zoveel mogelijk

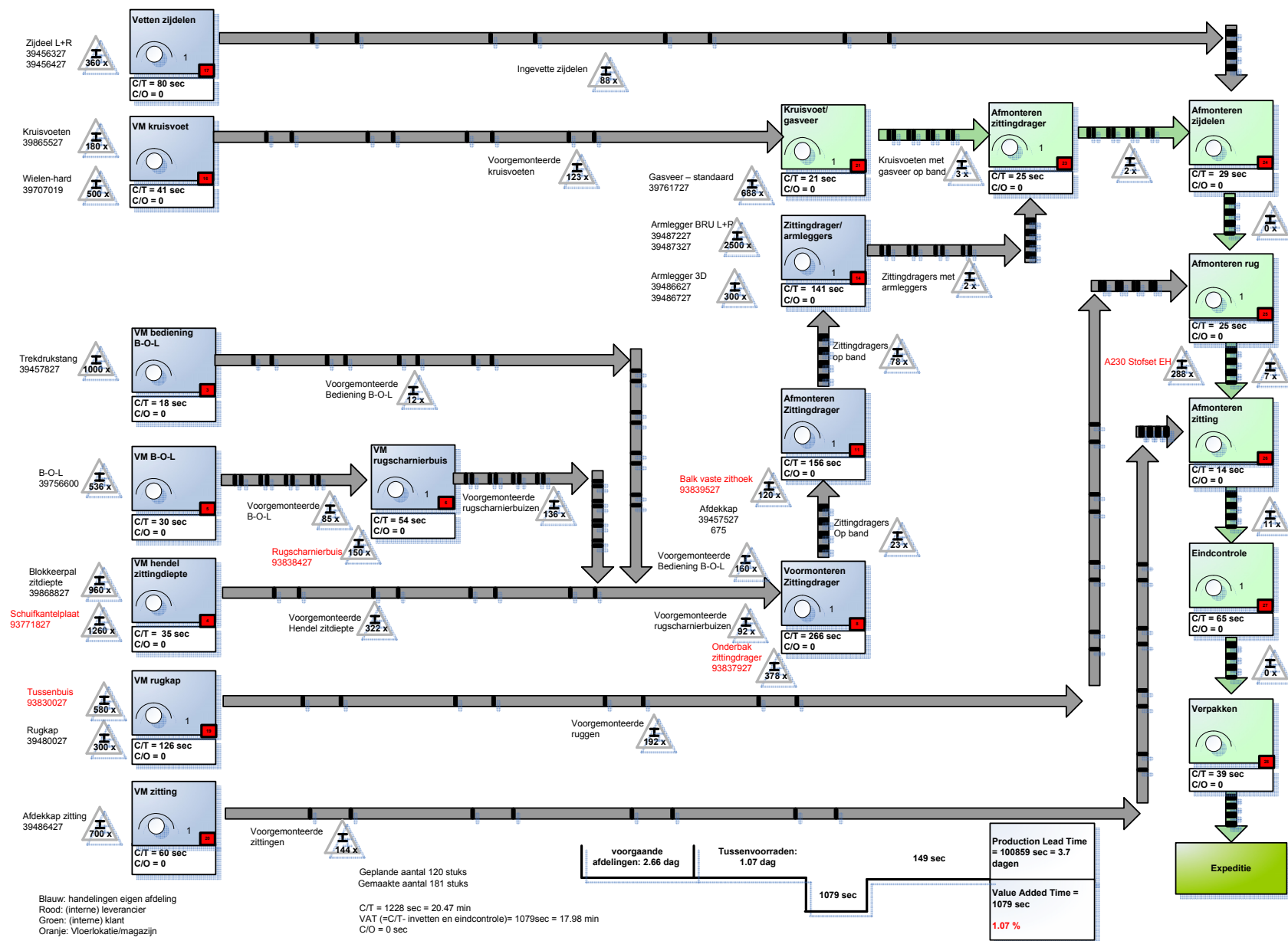
Bijlage E Value Stream Map

Deze bijlage geeft de Value Stream Map voor het huidige proces binnen APZ voor de A230 bureaustoel. De keuze is voor dit product gemaakt, omdat de A230 bureaustoel verreweg het meest verkocht wordt.

In Figuur E-1 is de Current VSM te zien van APZ, in Figuur E-2 is de Current VSM van de assemblageafdeling weergegeven en in Figuur E-3 is te zien waar zich in de Value Stream Map van Figuur E-1 de grootste knelpunten bevinden.



Figuur E-1 Current Value Stream Map A230 bureaustoel



Figuur E-2 Current Value Stream Map assemblageafdeling A230 bureaustoel (type PERM.EH.KS-KS.WL.ARM-3D)

Bijlage F Berekening verspillingen

In deze bijlage volgt in Tabel F-1 de berekening van de kosten van verspillingen binnen de assemblageafdeling van APZ. De definities van de zeven verspillingen zijn overgenomen uit Slack (2007) en Womack en Jones (2003) en vervolgens vertaald voor de praktijk van APZ. Waar nodig is een inschatting gedaan. In Tabel F-2 volgt de verantwoording voor de aannames en inschattingen. De verspillingen zijn enkel berekend voor de assemblageafdeling. Dat betekent dat bijvoorbeeld kosten van externe kwaliteitsdefecten (na assemblage), maar ook aanleverend transport (voor assemblage) niet zijn meegenomen in de berekening.

Verspilling	Hoogte verspilling	Kosten ten gevolge van de verspilling	Definitie (Slack et al, 2007 en Womack en Jones, 2003)	Definitie voor de assemblageafdeling van APZ
Overproductie	<u>5 dagen overproductie $\approx$ 320.000 euro</u> Materiaalkosten: 35,4% van de omzet = 16,1 miljoen euro 5 dagen voorraad (van 252 productiedagen): 320.000 euro materiaalwaarde	<u>38.400 euro</u> 12% Cost of Capital: 38.400 euro	Meer produceren dan meteen nodig is bij het volgende proces in de operatie.	De kosten van de tijd dat eindproducten wachten tot verpakken of laden bij expeditie. N.B. Er wordt op order geproduceerd en dus niets geproduceerd wat niet verkocht is. Wel wordt vooruit geproduceerd, dit is ook overproductie.
Wachttijd	<u>4,3 FTE wachttijd $\approx$ 172.000 euro</u> 43 FTE: 1,72 miljoen euro 10% gemiddelde wachttijd: 172.000 euro	<u>172.000 euro</u>	Wachttijd van mensen en machines op de volgende processtap.	De kosten van de tijd dat operators wachten en kosten van de tijd dat machines wachten. NB. Door de strategische keuze van Ahrend om niet voor derden te produceren, zijn geen kosten te bepalen voor de onderbezetting van machines.
Transport	<u>1,8 FTE transporttijd $\approx$ 71.120 euro</u> <u>Transport afvoerend en emballage</u> $\frac{7}{8}$ FTE heftruckchauffeur: 35.000 euro <u>Transport tussen werkplekken</u> 43 FTE: 1,72 miljoen euro 2,1% gemiddelde transporttijd: 36.120 euro	<u>71.120 euro</u>	Onnodig transport van producten.	De kosten van transport tussen assemblage en expeditie, transport van emballage en transport tussen de werkplekken. NB. transport tussen productielijnen is meegenomen in de zoektijd, dus in beweging

Verspilling	Hoogte verspilling	Kosten ten gevolge van de verspilling	Definitie (Slack et al, 2007 en Womack en Jones, 2003)	Definitie voor de assemblageafdeling van APZ
Proces	<u>1,3 FTE uitpak- en overlegtijd $\approx$ 53.320 euro</u> 43 FTE: 1,72 miljoen euro 3,1% gemiddelde uitpak- en overlegtijd: 53.320 euro	<u>53.320 euro</u>	Meer tijd dan nodig besteden aan productie door slecht product- en procesontwerp.	De kosten van constructiefouten, onlogische productiestappen en onlogisch procesontwerp, vertaald naar de kosten van uitpaktijd en overlegtijd. NB. Een groot deel van deze kosten zijn meegenomen in de normtijd
Vorraden	<u>301.000 euro OHW</u> <u>Anonieme delen</u> 77% assemblagedeel van totale waarde OHW: 269.000 euro <u>Klantspecifieke delen</u> 0,5 dag materiaalkosten: 64.000 euro 50% klantspecifieke materiaalkosten: 32.000 euro	<u>36.120 euro</u> 12% Cost of Capital: 36.120 euro	Alle soorten voorraad.	De kosten van de waarde van de onder handen werk voorraad op assemblage.
Beweging	<u>4,8 FTE zoek- en opruimtijd $\approx$ 192.480 euro</u> $\frac{1}{8}$ FTE heftruckchauffeur opruimtijd: 5.000 euro 43 FTE: 1,72 miljoen euro 10,9% gemiddelde zoek- en opruimtijd: 187.480 euro	<u>192.480 euro</u>	Onnodige beweging door een operator tijdens het werk: een operator die er druk uit ziet, maar geen waarde toevoegt door het werk dat hij doet.	De kosten van de tijd die operators aan niet waardetoevoegende beweging besteden, vertaald naar de kosten van zoek- en opruimtijd

Verspilling	Hoogte verspilling	Kosten ten gevolge van de verspilling	Definitie (Slack et al, 2007 en Womack en Jones, 2003)	Definitie voor de assemblageafdeling van APZ
Defecten	<u>228.750 euro</u> <u>Kosten opknappen defecten op assemblageafdeling</u> 43 FTE: 1,72 miljoen euro 10,3% gemiddelde herstel en reparatietijd: 177.160 euro <u>Kosten andere afdeling (oorzaak op assemblageafdeling)</u> Kosten defecten op andere afdelingen door oorzaak assemblageafdeling: 960 euro + 630 euro = 1590 euro <u>Kosten kwaliteitsdienst</u> 1 FTE kwaliteitsdienst: 50.000 euro	<u>228.750 euro</u>	Het produceren van producten die niet aan de vooraf gestelde kwaliteit voldoen.	De kosten van het oplossen van defecten op de assemblageafdeling gemaakt door monteurs en kwaliteitsdienst en de kosten van het oplossen van defecten op andere afdelingen veroorzaakt op assemblageafdeling.

Tabel F-1 Berekening van de hoogte van de verspilling en bijbehorende kosten

Aanname/inschatting	Waarde	Gegevens van	Opmerking
Omzet 2008	45,5 miljoen euro	Afdeling finance	
Materiaalkosten als percentage van omzet	35,4%	Afdeling finance	
Gemiddelde offset 2008 (gemiddeld aantal dagen voorraad van eindproducten op de expeditieafdeling)	5 dagen	VSM stageonderzoek expeditie 2008	
Aantal productiedagen 2008	252 dagen	Kalender 2008	
Cost of Capital (kosten kapitaalbeslag)	12%	Inschatting door afdeling finance	Betrekking op Ahrend NV, niet op APZ
Aantal FTE direct 2008 assemblageafdeling	43	Assemblageafdeling	
Kosten per FTE 2008	40.000 euro	Afdeling finance	
Tijdsverdeling heftruckchauffeur	$\frac{7}{8}$ transport, $\frac{1}{8}$ opruimen	Inschatting door heftruckchauffeur	
Tijdsverdeling monteur	10% wachttijd 2,1% transporttijd 3,1% uitpak- en overlegtijd 10,9% zoek- en opruimtijd 10,3% herstel en reparatietijd 63,6% waardetoevoegende tijd	Driemaal één monteur waargenomen en getimed op twee verschillende werkplekken, gemiddelde genomen	
Verdeling voorraad anonieme onderdelen	77% assemblage, 23% overige afdelingen	72% van de waarde van OHW magazijn december 2008 gecheckt op locatie	
Hoogte gemiddelde voorraad anonieme onderdelen	349.000 euro	Momentopname van OHW magazijn in december 2008	
Hoogte gemiddelde voorraad klantspecifieke onderdelen	0,5 dag		
Gemiddeld aandeel materiaalwaarde klantspecifieke onderdelen in totale materiaalwaarde	50%	Aanname. Het ene product bestaat bijna volledig uit klantspecifieke delen, het andere volledig uit inkoopdelen.	De foutmarge is plus of min 3.000 euro.

Aanname/inschatting	Waarde	Gegevens van	Opmerking
Kosten voorraad	Alleen kapitaalbeslag op materiaalwaarde	De kostprijs van de producten bestaat uit materiaalkosten, loonkosten en machinekosten. Berekend is alleen het kapitaalbeslag op de materiaalkosten.	
Aantal defecten stofsets door oorzaak montagefouten	158 stuks	KPI's stoffeerderij over 2008	Alleen bladen en stofsets meegenomen, omdat inschatting is dat daar vaakst oorzaak bij assemblage ligt
Kosten reparatie/nieuwe productie per stofset	4 euro	Inschatting door afdeling stofsets	
Aantal defecten bladen door oorzaak montagefouten	24 stuks	Half Jan-feb 2009: 3 stuks, inschatting rode puntensysteem	
Kosten per blad afkeur (materiaal- en herstelkosten)	40 euro	Inschatting o.b.v. een blad van 160x80, 30 euro/m ² , bewerkingstijd van 0,38 uur/20 bladen (2 min zaagwerk à 2,70 euro/min en 21 min freeswerk à 3,10 euro/min)	
Aantal FTE kwaliteitsdienst voor defecten assemblage	1 FTE	Inschatting door kwaliteitsdienst	
Kosten per FTE kwaliteitsdienst	50.000 euro	Afdeling finance	

Tabel F-2 Verantwoording aannames en inschattingen

Bijlage G Stappenplan lay-out ontwerp

In deze bijlage wordt het stappenplan tot lay-out ontwerp samengevat per onderdeel.

Stappenplan "clustering"

1. Maak een lijst met "te produceren producten".
2. Zet deze producten in willekeurige volgorde in de eerste rij van een excelsheet.
3. Schrijf per product de bewerkingen op die nodig zijn om een product te produceren door op de werkvloer te gaan kijken en bepaal de volgorde van de bewerkingen. Gebruik het format van Figuur 4-2 om de stappen en de volgorde weer te geven.
4. Zet alle hoofdmontagestappen (bewerkingen van het laatste niveau van Figuur 4-2) in de eerste kolom van de excelsheet van stap 1.
5. Geef in de matrix die uit stap 2 en 4 ontstaan is voor ieder product aan welke bewerkingen voor dat product nodig zijn. Doe dit door de betreffende cel te arceren en de volgorde van de stappen aan te geven door de cijfers die in stap 3 uit de volgrelaties volgen, in de betreffende cel weer te geven.
6. Anonimiseer de producten, door de productnamen te vervangen door nummers.
7. Verschuif de rijen en kolommen zodat de gearceerde cellen zoveel mogelijk langs de diagonale as van linksboven naar rechtsonder komen te liggen.
8. Bepaal welke cellen ontstaan zijn door de vierkantjes of rechthoekjes weer te geven die in stap 6 ontstaan zijn.
9. Vervang de nummers weer door de originele productnamen.
10. Beslis wat er met de bewerkingen moet gebeuren die niet netjes tot één vierkantje of rechthoekje behoort door te kiezen uit drie opties:
 - a. Dezelfde bewerking in meerdere cellen uitvoeren; dit vraagt om een extra investering
 - b. Producten vanuit de ene cel naar de andere cel verplaatsen; dit is in tegenstrijd met het uitgangspunt van een cel lay-out om de complexe stroom te simplificeren
 - c. Er kan een extra cel gevormd worden; dit vraagt om een extra investering
11. Definieer de productgroepen door de producten te benoemen die in één cel vallen en geef de productgroep een naam.
12. Valideer de clustering, door te controleren of de productgroepen die zijn ontstaan intuïtief logisch zijn.
13. Maak voor iedere productgroep een productielijn door alle bewerkingen te beschrijven voor de producten uit de betreffende productgroep.

Stappenplan "lijnbalanceren"

Voorbereiding

14. Breng per product de bewerkingen in kaart die op de hoofdmontagelijijn worden uitgevoerd. Leidend hierbij is of de handeling direct plaatsvindt aan het op te bouwen eindproduct.
15. Verdeel de producten in modellen. Een model is in dit geval een product waarvoor de combinatie van bewerkingen uniek is.
16. Combineer de bewerkingen tot de kleinste niet-deelbare taken. Een niet-deelbare taak is gedefinieerd als een taak die als één handeling beschouwd kan worden. Dit kan een set van handelingen zijn die op één en dezelfde machine of montageboks plaats moeten vinden of een taak waarbij een pakhandeling hoort. Deze pakhandeling hoort dan bij de taak.
17. Maak per model een volgdiagram met normtijden t . Hierin staan alle kleinste niet-deelbare taken op de hoofdmontagelijijn met daarin aangegeven welke bewerkingen voltooid moeten zijn voordat de bewerking uitgevoerd kan worden. Geef hierin ook de normtijd aan. De normtijden zijn bij Ahrend gemeten door een arbeidsdeskundige en geven de tijd aan die nodig is om een taak uit te voeren. Neem hierin de tijd nodig voor extra handelingen en persoonlijke verzorging niet mee.

18. Bepaal de taktijd of cyclustijd c . Neem hiervoor de verwachte cumulatieve vraag (dit is de verwachte vraag van alle producten in de productgroep op de productielijn) en de beschikbare productietijd in een jaar. Deel de beschikbare tijd door het aantal verwachte verkochte producten, dit is de taktijd.
19. Bekijk voor welke bewerkingen de normtijd langer is dan de taktijd. Beslis of het mogelijk is om deze met behulp van extra voorbereiding, een tweede persoon of desnoods een parallel extra station om deze bewerking toch uit te voeren binnen de taktijd. Verander de normtijd tijdelijk in de taktijd voor toepassing van de heuristiek. Wanneer besloten wordt een parallel station te gebruiken, moet de normtijd niet in de taktijd veranderd worden, maar door tweeën gedeeld worden.

SALBP voor ieder model in de productgroep

20. Bereken het theoretisch minimale aantal stations (TM) door de totale bewerkingstijd

$\sum_j t_j$ van alle taken j van een model te delen door de taktijd c :

$$TM = \frac{\sum_j t_j}{c}$$

21. Zet het huidige stationnummer N op 1.
22. Zet de beschikbare tijd A op c . Maak de set met taken T die aan het huidige station is toegewezen leeg: $T = \emptyset$.
23. Bepaal de set van kandidaten S die toegewezen kunnen worden. Om een kandidaat te zijn, moet een taak aan de volgende twee condities voldoen:
 - a. Alle voorgangers van de kandidaat moeten al toebedeeld zijn of de kandidaat heeft geen voorgangers
 - b. De bewerkingstijd t_j is kleiner dan de beschikbare tijd A : $t_j \leq A$
24. Kies taak j uit set S , gebaseerd op de volgende twee regels:
 - a. Kies de taak met het grootst aantal opvolgers
 - b. Bij gelijk aantal opvolgers, kies de taak met de grootste bewerkingstijd t_j
 - c. Bij gelijk aantal opvolgers en gelijke bewerkingstijd, kies een willekeurige taak
 Voeg de gekozen taak j toe aan T .
25. Update de beschikbare tijd A naar $A - t_j$. Verwijder taak j uit set S .
26. Herhaal de stappen 10, 11 en 12 tot er geen kandidaten meer zijn, dit is wanneer set S leeg is.
27. Wanneer er nog taken over zijn, verhoog dan het stationnummer N met 1 en ga naar stap 9. Anders stop.

Verbeterslag

28. Rangschik de producten in verwachte vraag en neem het product waarvan verwacht wordt dat het het meest verkocht wordt.
29. Rangschik van dit product de modellen in verwachte vraag en neem het model waarvan verwacht wordt dat het het meest verkocht wordt.
30. Probeer door middel van het switchen van activiteiten de activiteiten zoveel mogelijk tot dezelfde soort bewerking per werkstation te groeperen zonder in conflict te komen met de volgorrelaties.
31. Neem in volgorde van verwachte vraag een voor een de overige modellen van dit product en probeer door middel van het switchen van activiteiten zoveel mogelijk dezelfde soort bewerkingen (binnen dit model en in combinatie met de al eerder geplande modellen) te groeperen in een station. Wanneer het model meerdere stations heeft dan het leidende al ingeplande model, probeer dan door middel van meerdere operators of desnoods meerdere parallelle stations de totale bewerkingstijd voor dit model op de hoofdmontagelijng te verminderen.
32. Herhaal stap 18 voor alle modellen van het gekozen product tot er geen modellen meer zijn van het gekozen product.

33. Herhaal in volgorde van verwachte vraag de stappen 16 t/m 19 voor alle producten tot er geen producten meer zijn. Wanneer er geen producten meer zijn, stop.

Stappenplan "voormontage"

Inrichting voormontagestations

34. Breng per werkstation van de hoofdmontage in kaart welke categorieën voormontages er plaats moeten vinden. Definieer per onderdeel van het eindproduct een categorie. Voor deze indeling zijn dus niet het product of model leidend, maar het type onderdeel.
35. Breng per categorie voormontage de modellen in kaart waarvoor deze voormontage plaats moet vinden. Een model is in dit geval een product waarvoor de combinatie van bewerkingen uniek is.
36. Breng per model per categorie voormontage in kaart welke bewerkingen plaats moeten vinden, hoe lang deze bewerkingen plaatsvinden en of ze op een specifieke machine plaatsvinden.
37. Bepaal per model per specifieke machine of de bewerkingen op die machine langer duren dan de taktijd van de hoofdmontageband. Wanneer de bewerkingen op de machine meer tijd vergen dan de taktijd, produceer een extra machine totdat de taktijd behaald kan worden.
38. Start met het voormontagestation dat het dichtst bij de hoofdmontageband ligt. Plaats hier voor alle modellen de laatste machine van de voormontage in. Neem vervolgens het voormontagestation dat daarna het dichtst bij de hoofdmontageband ligt en plaats hier voor alle modellen de op-een-na laatste machine van de voormontage in. Ga zo verder tot er geen machines meer over zijn.
39. Tussen de cellen worden korte bandjes als buffer geplaatst.

Berekening aantal mensen

40. Bereken per model het theoretisch minimale aantal stations (TM) door de totale

bewerkingstijd $\sum_j t_j$ van alle taken j van een model te delen door de taktijd c:

$$TM = \frac{\sum_j t_j}{c}$$

- 41.
42. Breng per model het verwachte aandeel (in procenten) van de verwachte totale vraag in kaart.
43. Breng voor ieder mogelijk theoretisch minimaal aantal stations TM het verwachte aandeel van de totale verwachte vraag dat dat aantal stations bezet is (in procenten) in kaart.
44. Herhaal de stappen 7 t/m 9 voor iedere categorie voormontage.
45. Bepaal voor iedere voormontage categorie hoeveel mensen er standaard ingezet worden door te bepalen voor welk aantal stations het aandeel van de totale verwachte vraag het grootst is.
46. Bereken het gemiddeld aantal mensen dat er over is door de som te nemen over het product van het aandeel van de totale verwachte vraag dat minder stations dan het standaard aantal stations bezet is en het aantal stations dat er minder bezet zijn dan het standaard aantal stations.
47. Bereken het gemiddeld aantal mensen dat er extra nodig is door de som te nemen over het product van het aandeel van de totale verwachte vraag dat meer stations nodig zijn dan het standaard aantal stations en het aantal stations dat er meer bezet zijn dan het standaard aantal stations.
48. Bereken hoeveel mensen in totaal extra nodig zijn door het verschil van stap 13 en 12 te nemen.
49. Bereken hoeveel mensen in totaal nodig zijn om alle voormontagestations te bemannen door het aantal standaard mensen van stap 11 en het aantal extra mensen van stap 14 bij elkaar op te tellen.

Stappenplan "logistieke aanvoer"

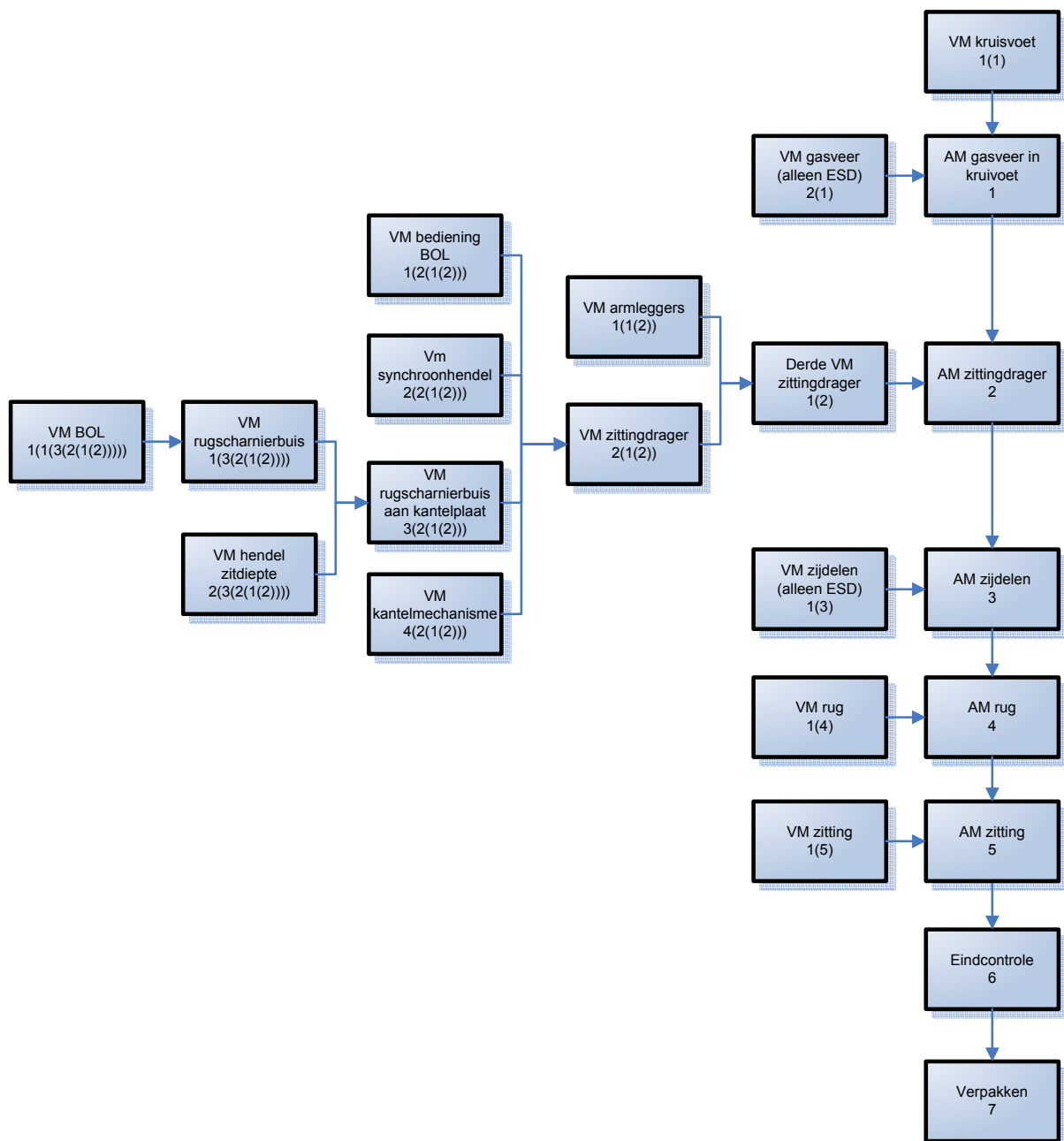
50. Stel een lijst op met onderdelen die in het product aanwezig zijn, wat de aanvoerende afdeling is en op welke werkplek(ken) het onderdeel gebruikt wordt.
51. Bepaal per werkplek het aantal per onderdeel dat in dat product aanwezig is.
52. Bepaal per onderdeel in welke aanlevercategorie het onderdeel behoort op basis van complexiteit met behulp van Figuur 2-12.
53. Bepaal of het onderdeel een runner, repeater of stranger is, gebaseerd op de vraagfrequentie.
54. Bepaal of het onderdeel essentieel of onbeduidend is door het uitvoeren van een pareto-analyse.
55. Bepaal met behulp van Tabel 2-2 en de informatie uit stap 2 en 3 welke aanleveringscategorie geadviseerd wordt.
56. Wanneer de aanleveringscategorieën uit stap 1 en 4 van elkaar verschillen, beslis welke aanleveringscategorie voor dit artikel het beste is door op basis van eigen inzicht de argumentatie te heroverwegen.
57. Wanneer voor een artikel two-bin zou moeten worden toegepast, maar een artikel is daarvoor te groot, beslis of het slimmer is om kanban toe te passen.
58. Bepaal op basis van de huidige stelregels hoe groot de leveringsfrequentie en -volume van het artikel wordt.

Stappenplan "lay-out inrichting"

59. Bepaal per productielijn de benodigde ruimte voor een hoofdmontagewerkplek.
60. Bepaal per productielijn de benodigde ruimte voor de voormontagestations.
61. Richt de hoofdmontageband en de voormontagestations in zodat de werkplekken van de monteurs en de paden waar karren moeten kunnen komen aan de eisen van Tabel 4-1 voldoen. Doe dit voor alle productielijnen.
62. Plaats de productielijnen in de assemblagehal door de productielijn met de hoogste verwachte cumulatieve vraag het dichtst bij de aanvoerende en afvoerende stromen te leggen, afhankelijk van de verwachting van de afvoerende en aanvoerende transportkosten.

Bijlage H Uitwerking clustering

In deze bijlage is de uitwerking van de clusteranalyse te zien. Figuur H-1 geeft een voorbeeld weer van een diagram waarin de bewerkingen en de volgreelaties van een product worden weergegeven. Figuur H-2 geeft de product-bewerkingen matrix weer voordat de clustering plaatsvindt. Figuur H-3 geeft dezelfde matrix weer, maar nu is er geclusterd, zodat de gele vakjes zoveel mogelijk langs een diagonale lijn van linksboven naar rechtsonder komen te liggen. De blauwe vakjes geven de uitzonderingen aan waarvoor besloten is de bewerking is meerdere cellen uit te voeren. De roze vakjes geven de uitzonderingen aan waarvoor besloten is een extra cel te openen. In Tabel H-1 zijn de productgroepen die zijn ontstaan weergegeven met bijbehorende producten. In Tabel H-2 zijn de productielijnen waar de productgroepen geproduceerd gaan worden weergegeven met bijbehorende bewerkingen.



Figuur H-1 Voorbeeld diagram bewerkingen inclusief volgreelaties, A230 bureau

Figuur H-2 Product-bewerkingen matrix voor clustering

Productgroep	Producten		
<i>Bureaustoelen</i>	A230 Bureau A220 Bureau A220 ESD A260 Bureau	A260 Tabouret A450 Kuipstoel A160 Stoel	A262 Bureau A240 Draai A250 Draai
<i>Bezoekerstoelen</i>	A262 Bezoeker A240 Bezoeker A330 Stoel A230 Bezoeker Revolt Stoel	A250 Bezoeker A450 Schoolstoel A452 Schoolstoel A350 Bezoeker A312 Stoel	A460 Basisstoel A320 Buisstoel A262 Kruk A350 Bureau A460-Traversebank
<i>Tafels</i>	A450 Klaptafel Facet Tafel A310/A312 Tafel A450 Schooltafel	A450 Apparatenwagen en lessenaar A450 HI Tafel A460 Bistro-Tafel	Move-it Tafel A452 Schooltafel A452 4-poot Tafel
<i>Schermen</i>	S18/S20 Fence Panel S32 Schermen	Backpanels	ING Schermen
<i>Lounge overig</i>	A750 Vaste stoel	A750 Verstelbare stoel	A750 Tafel
<i>Stoel overig</i>	A180 Draai		

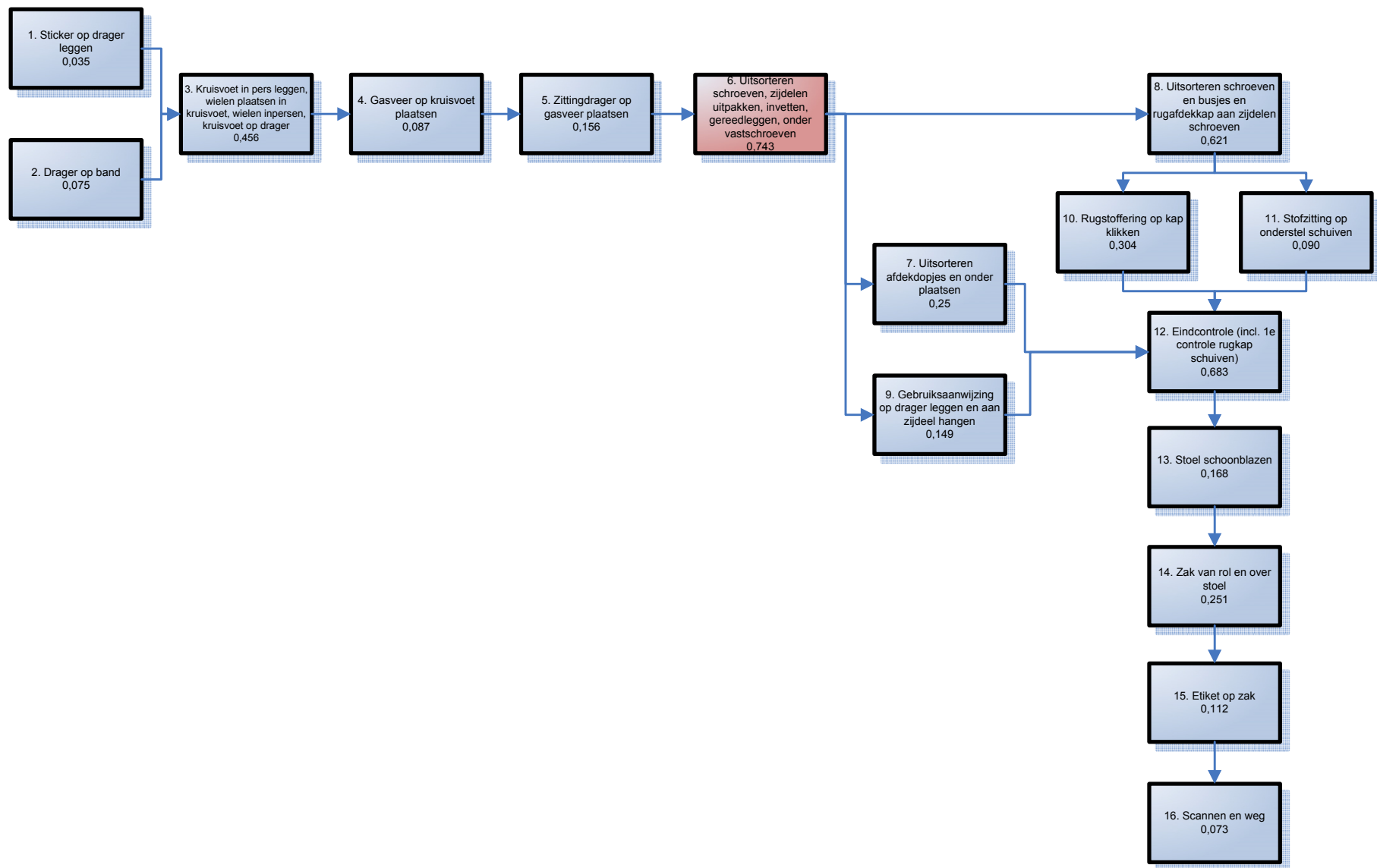
Tabel H-1 Productgroepen ontstaan uit clustering

Productielijn	Bewerkingen	
<i>Bureaustoelenlijn</i>	- Kruisvoet voormonteren - Gasveer in kruisvoet - Zittingdrager (met/zonder stof) op gasveer - Zijdelen aan zittingdrager - Rugkap aan zijdelen - Stof op rugkap klikken - Stof op zittingdrager - Persen zitting op gasveer - Lendesteungeleider en lendesteun monteren - Armleggers aan zittingbak - Ruggesteun en stof op rugbeugel - Hoofdsteen monteren - Eindcontrole - Verpakken	
<i>Bezoekerstoelenlijn</i>	- Doppen, wielen of glijders in frame - Zittingdrager en ruggesteun aan frame - Zitting en/of armleggers aan zittingdrager - Armleggers op frame - Zitting aan frame - Rugkap met stof op rugbeugel - Rug aan frame - Blad op frame Synchroonveer monteren - Rug persen op montagebok - Frames in elkaar laten vallen bij HI VM kruisvoet type A350 - Gasveer op zittingdrager met stof - Eindcontrole - Verpakken	
<i>Tafellijn</i>	- Poten, wielen, dopjes, koppel, kantelmechanisme in frame - Klapframe op frame - Frame op tafelblad schroeven - Lades en strips in blad - Blad op lades - Frames in elkaar laten vallen bij HI - Buizen frame in elkaar - Eindcontrole - Verpakken	
<i>Schermenlijn</i>	- Scherm, houders, regels, afdekkap - AM magneetstrip plakken op scherm - Eindcontrole - Verpakken	
<i>Lounge overig-lijn</i>	- Klemmetjes in omkasting schroeven - Glijders in onderkant slaan - Rug erin schuiven en schroeven - Zitting in klem hangen - Hefzuil op tafelvoet - Zijplaten en afdekplaten tegen hefzuil - Afdekplaat tafelvoet om hefzuil - "Zuil boven" om hefzuil - Drager voor tafel op zuil schroeven - "Zuil boven" vastschroeven aan tafeldrager - Tafelframe op tafeldrager - Blad op tafelframe - Hefzuil op grondplaat - Beplating zijkant op grondplaat - Power en besturingskast monteren - Drager aan hefzuil - Steunbeugel armleggers & zithelling aan dragers - Motoren en aansluiten - Omkasting over voorgemonteerd mechanisme - Armleggerbuis afmonteren - Armleggers omkasting (incl. afdekhuls en stoffering) - Kabels aansluiten en anti-verklempaat schroeven - Rug (incl. hoofdsteen en AM motor) - Zitting (en motor) - Display (aansluiten, resetten, testen) - Eindcontrole - Verpakken	
<i>Stoel overig-lijn</i>	- Zitting aan zittingbak - Rug op montagebok aan rugbeugels - Kruisvoet op gasveer - Hoofdsteen aan rug op de grond - Eindcontrole - Verpakken	

Tabel H-2 Bewerkingen per productielijn

Bijlage I Uitwerking lijnbalancering

In deze bijlage wordt de uitwerking van de lijnbalancering getoond. In Figuur I-1 wordt een voorbeeld getoond van een volgdiagram met normtijden. Het rode vakje duidt een handeling aan waarvan de normtijd oorspronkelijk groter was dan de takttijd (1,714 minuut). Door voorbereidingshandelingen naar de voormontage te verplaatsen past ook deze taak nu binnen de normtijd. Tabel I-1 geeft het aantal theoretisch minimaal aantal stations weer per model bureaustoel. In Tabel I-2 is een voorbeeld weergegeven van de input voor de SALBP: hierin zijn de taken met normtijd weergegeven en is weergegeven wat directe voorgangers zijn. Om te beoordelen welke taak als eerste ingedeeld mag worden, is het aantal opvolgers ook weergegeven. Tabel I-3 geeft de uitkomst van een SALBP voor een enkel model. Hierin zijn de taken toebedeeld aan een werkstation. Te zien is dat de totale tijd minder is dan de takttijd.



Figuur I-1 Voorbeeld volgdiagram met normtijden, A230 bureau, model kunststof zijdelen en HBD of HBDD armleggers

Model	normtijd	Theoretisch minimaal aantal stations (TM)
A230-1	4,253	4
A230-2	4,509	4
A230-3	4,509	4
A230-4	4,294	4
A230-5	5,438	4
A230-6	4,551	4
A230-7	4,551	4
A230-8	5,479	5
A220-1	4,99	4
A220-2	5,277	4
A160-1	4,852	4
A160-2	3,449	3
A160-3	6,037	5
A450-1	2,352	2
A250-1	8,924	7
A250-2	8,228	7
A262-1	3,238	3
A262-2	3,262	3
A240-1	4,308	4
A240-2	4,07	3
A240-3	4,247	4
A240-4	4,009	3

Tabel I-1 Model bureaustoel met normtijd en theoretisch minimaal aantal stations (TM)

Taak-nummer	Taak	Norm-tijd (min)	Directe voor-gangers	Aantal op-volgers
1	Sticker op drager leggen	0,035	-	14
2	Drager op band	0,075	-	14
3	Kruisvoet in pers leggen, persen en kruisvoet op drager	0,456	1,2	13
4	Gasveer op kruisvoet plaatsen	0,087	3	12
5	Zittingdrager op gasveer plaatsen	0,156	4	11
6	Uitsorteren schroeven, zijdelen onder vastschroeven	0,743	5	10
7	Uitsorteren afdekdopjes en onder plaatsen	0,25	6	5
8	Uitsorteren schroeven en busjes en rugafdekkap aan zijdelen schroeven	0,621	6	7
9	Gebruiksaanwijzing op drager leggen en aan zijdeel hangen	0,149	6	5
10	Rugstoffering op kap klikken	0,304	8	5
11	Stofzitting op onderstel schuiven	0,09	8	5
12	Eindcontrole (incl. 1e controle rugkap schuiven)	0,683	7,9,10,11	4
13	Stoel schoonblazen	0,168	12	3
14	Zak van rol en over stoel	0,251	13	2
15	Etiket op zak	0,112	14	1
16	Scannen en weg	0,073	15	0

Tabel I-2 Voorbeeld input SALBP: taken, normtijd, voorgangers en aantal opvolgers; A230 bureau model kunststof zijdelen en HBD of HBDD armleggers

Werkstation nr.	Taken	Tijd bezet (min)
1	1,2,3,4,5	0,81
2	6,8	1,36
3	10,7,9,11	0,79
4	12,13,14,15,16	1,29

**Tabel I-3 Voorbeeld uitkomst SALBP: taken per werkstation;
A230 bureau model kunststof zijdelen en HBD of HBDD armleggers**

Product	Model	Aandeel model in verwachte vraag
A230	A230 kunststof zijdelen, HBD/HBDD armleggers	74,00%
	A230 aluminium zijdelen, HBD/HBDD armleggers	14,40%
	A230 aluminium gepolijste zijdelen, HBD/HBDD armleggers	9,80%
	A230 kunststof zijdelen, vaste armleggers	1,10%
	A230 kunststof zijdelen, HBD/HBDD armleggers, chromen teenkap	0,20%
	A230 aluminium zijdelen, vaste armleggers	0,20%
	A230 aluminium gepolijste zijdelen, vaste armleggers	0,10%
	A230 kunststof zijdelen, vaste armleggers, chromen teenkap	0,00%
A220	A220 verstelbare en zonder armleggers	100,00%
	A220 vaste armleggers	0,00%
A160	A160 basisstoel	95,95%
	A160 met netbespanning	0,00%
	A160 met verchromde teenkappen	0,05%
A450	A450 kuipstoel (alle modellen)	100,00%
A250	A250 Velum	81,20%
	A250 anders dan velum	18,80%
A262	A262 basis	91,22%
	A262 met chromen teenkap	8,78%
A240	A240 model 24.. 15,16,17,24,25,26,65,66,67,74,75,76)	90,96%
	A240 model 24.. 09,18,59,68	5,34%
	A240 model 24.. 06,07,08,56,57,58	3,38%
	A240 model 24.. 00,50	0,33%

Tabel I-4 Aandeel model in verwachte vraag van totaal verwachte vraag per product

Bijlage J Uitwerking voormontage

In deze bijlage worden de tabellen en figuren weergegeven die bij de uitwerking van de voormontage horen. In Tabel J-1 wordt het grootste deel van de modellen weergegeven die een voormontage behoeven bij een werkstation. Ook is de normtijd weergegeven en het aantal benodigde stations. Tot slot is het aandeel in de totale vraag weergegeven.

Werkstation 1

<i>Voormontage zitting</i>	Normtijd (min)	# stations	Aandeel vraag (%)	Aantal stoelen per dag
A230 permanent, HBD/HBDD armleggers	6,92	6	39%	120
A230 synchroon, HBD/HBDD armleggers	10,71	8	21%	67
A220 permanent	4,19	4	9%	27
A230 permanent met kantelbare zitting, HBD/HBDD armleggers	5,27	4	4%	13
A250 basisstoel	9,71	8	4%	12
A450 basisstoel	1,46	2	4%	11
A220 synchroon	5,74	5	2%	7
A240 basisstoel	10,10	8	2%	7
A230 permanent, vaste armleggers	5,84	5	2%	5
A262 met zitdiepte en armleggers	5,28	4	2%	5
A160 stof met extra zitdiepte en armleggers	5,61	5	2%	5
A160 netbespanning met extra zitdiepte en armleggers	5,67	5	2%	5
A160 stof met armleggers	4,98	4	1%	4
A160 netbespanning met armleggers	5,05	4	1%	4
A220 permanent zitting kantelbaar	7,11	6	1%	4
A230 synchroon, vaste armleggers	9,63	8	1%	3
A450 met zitting en rug opdek	5,18	4	1%	2
...	...	...	...	...
<i>Voormontage armleggers</i>				
A250 verstelbare armleggers	5,58	5	3,65%	11
A240 armleggers in breedte en hoogte verstelbaar	5,67	5	1,27%	4
...	...	...	...	...

Werkstation 2

<i>Voormontage rug</i>	Normtijd (min)	# stations	Aandeel vraag (%)	Aantal stoelen per dag
A230	1,78	2	67,01%	209
A262 met rugverhoger	3,77	3	2,20%	7
A262 basis	1,71	2	0,09%	0
<i>Voormontage zijdelen</i>				
A230 basis kunststof	0,97	1	49,76%	155
A230 basis aluminium	1,30	1	9,71%	30
A230 basis gepolijst	1,54	2	6,61%	21
...	...	...	...	...
<i>Voormontage lendesteun</i>				
A250	1,58	2	3,75%	12

<i>Voormontage vaste armleggers</i>				
A220 vaste armleggers	0,16	1	0,00%	0

Werkstation 3

<i>Voormontage zitting</i>	Normtijd (min)	# stations	Aandeel vraag (%)	Aantal stoelen per dag
A230 basisstoel	1,26	1	67,01%	209
A250 met opdek zitting	1,54	2	3,70%	12
A240 zitting stof	0,95	1	2,12%	7
A220 (model 1)	1,17	1	1,71%	5
...	...	...	...	...
<i>Voormontage rug</i>				
A220 basis	1,43	2	12,50%	39
A250 velumrug	1,76	2	3,04%	10
A240 rug stof	1,17	1	2,00%	6
...	...	...	...	...

Tabel J-1 Voormontage per model inclusief normtijd, aantal stations en aandeel in totale vraag

Bijlage K Uitwerking lay-out inrichting

In deze bijlage wordt de uitwerking van de lay-out inrichting weergegeven. De indeling van de voormontagelijnen is weergegeven in Tabel K-1. In Figuur K-1 is een voorstel weergegeven hoe de bureaustoelenlijn eruit komt te zien.

Werkstation 1

Werkcel	Welke machines	Aantal machines
<i>Voormontage zitting</i>		
1	A160/A262, A450, A230, A240/A250, A220	5
2	A160/A262, A450, A230, A240/A250, A220	5
3	A160/A262, A450, A230, A240/A250, A220	5
4	A160/A262, A450, A230, A240/A250, A220	5
5	A160/A262, A450, A230, A240/A250, A220	5
6	A450, A230, A240/A250, A220	4
7	A450, A230, A240/A250	3
8	A230, A240/A250	2
<i>Voormontage armleggers</i>		
1	A240/A250	1
2	A240/A250	1
3	A240/A250	1
4	A240/A250	1
5	A240/A250	1

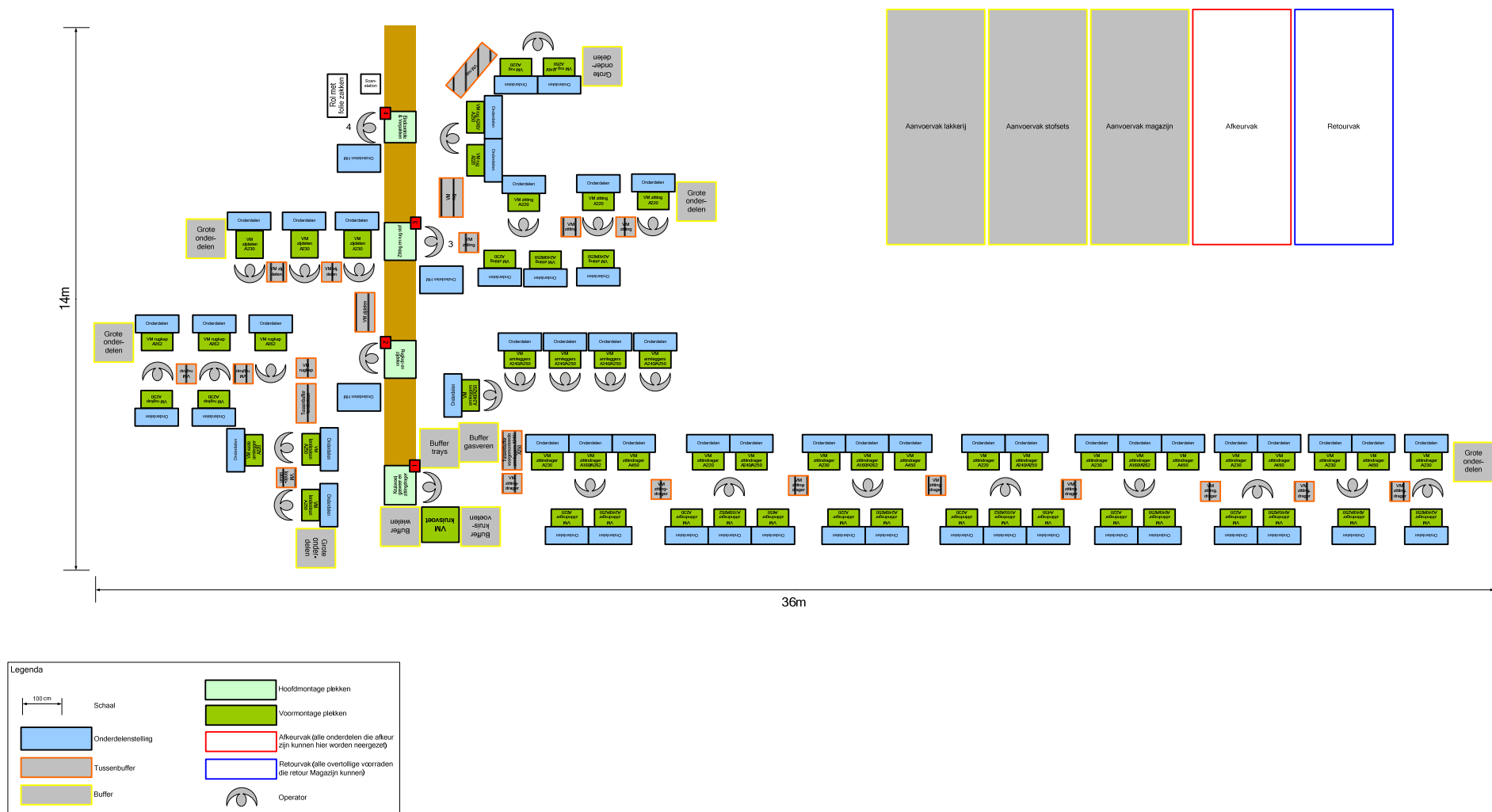
Werkstation 2

Werkcel	Welke machines	Aantal machines
<i>Voormontage rug</i>		
1	A262, A230	2
2	A262, A230	2
3	A262	1
<i>Voormontage zijdelen</i>		
1	A230	1
2	A230	1
3	A230	1
<i>Voormontage lendesteun en vaste armleggers A220</i>		
1	A250, A220	2
2	A250	1

Werkstation 3, voormontage zitting

Werkcel	Welke machines	Aantal machines
<i>Voormontage zitting</i>		
1	A230, A240/A250, A220	3
2	A240/A250, A220	2
3	A220	1
<i>Voormontage rug</i>		
1	A240/A250, A220	2
2	A240/A250, A220	2

Tabel K-1 Aantal cellen en machines per voormontagelijijn



Figuur K-1 Voorstel nieuwe lay-out bureaustoelenlijn

Bijlage L Checklist ter implementatie nieuwe productielijn

Deze checklist is opgesteld ter optimalisatie van productielijnen. Het doel van deze checklist is om tijdens elke optimalisatie van een productielijn te bekijken of met alle zaken/ punten rekening is gehouden gedurende het proces. Deze checklist kan dan ook gedurende elke optimalisatie van een productlijn gebruikt worden. De checklist is aangevuld met de resultaten uit dit onderzoek.

CHECK 1 - Opstarten		Uitgevoerd		Actienemer(s)
		JA	NEE	
1.1	Wat willen we bereiken (KPI's)			
1.2	Productgroepen vormen op basis van montagebewerkingen (clusteranalyse uit afstudeerrapport "Go with the Flow")			
1.3	Levenscyclus product(en) en taktijden (klantvraag)			
1.4	Aanwezige oppervlakte huidige productielijn			
1.5	Variaties in product(en)			
1.6	Huidige afvlakingsregels			
1.7	Transportstromen			
1.8	Overview tekening huidige situatie			
	1.8.1 Huidige productflow			
	1.8.2 Huidige locatie buffers			
	1.8.3 Huidige locatie tussenbuffers (halffabricaten/ grijpafstanden)			
	1.8.4 Huidige indeling werkstations			
	1.8.5 Huidige aan- en afvoer product(en)			
1.9	Brainstormsessie			
	1.9.1 Gecombineerde/ nieuwe productielijn			
	1.9.2 Afmonteren in batches of per stoel			
	1.9.3 Benodigde oppervlakte productielijn			
	1.9.4 Locatie			

CHECK 2 - TWO-BIN & 1 op 1 aanleveringen		Uitgevoerd		Actienemer(s)
		JA	NEE	
2.1	Lijst van TWO-BIN & 1 op 1 aanleveringen opstellen H:\Montage Assemblage\Optimalisatie - GROENE GEDEELTE			
2.2	Lijst optimaliseren H:\Montage Assemblage\Optimalisatie - GELE GEDEELTE			
2.3	Lijst met Magazijn bespreken H:\Montage Assemblage\Optimalisatie - ORANJE GEDEELTE			

CHECK 3 - Normtijden		Uitgevoerd		Actienemer(s)
		JA	NEE	
3.1	Normtijden op de productielijn			
3.2	Montagevolgorde/ mogelijkheden qua monteren			
3.3	Bottleneck identificeren			
3.4	Manbezetting per werkstation tegen taktijd afzetten (lijnbalancerings hoofdmontage en voormontage uit afstudeerrapport "Go with the Flow")			
3.5	Manbezetting toewijzen aan variant			
3.6	Komt variant vaak voor?			

CHECK 4 - Lay-out tekening (huidige situatie)			Uitgevoerd		Actienemer(s)
			JA	NEE	
4.1	Overview tekening huidige situatie				
4.1.1	Huidige productflow				
4.1.2	Huidige locatie buffers				
4.1.3	Huidige locatie tussenbuffers (halffabricaten/ grijpafstanden)				
4.1.4	Huidige locatie werkstations				
4.1.5	Huidige aan- en afvoerstromen product(en)				
4.1.6	Geluidsplattegrond				

CHECK 5 - Lay-out tekening (nieuwe situatie)			Uitgevoerd		Actienemer(s)
			JA	NEE	
5.1	Overview tekening nieuwe situatie (Lean gedachte incl. 5S)				
5.1.1	Flow operator maximaliseren (lopen/ handelingen minimaliseren, rekening houdend met de bewegingsruimte)				
5.1.2	Flow product maximaliseren (loopafstand/ handelingen minimaliseren)				
5.1.3	Locatie buffers				
5.1.4	Locatie tussenbuffers (halffabricaten/ op grijpafstanden)				
5.2	Aantal operators, meerdere uitwerken (rekening houdend met de MILKMAN)				
5.3	Vaste locaties				
5.3.1	Vandaag- en morgenvak (eventueel productspecifieke karren)				
5.3.1.1	Aanvoer bladen				
5.3.1.2	Aanvoer magazijn (1 op 1)				
5.3.1.3	Aanvoer magazijn (TWO-BIN)				
5.3.1.4	Aanvoer lakkerij				
5.3.1.5	Aanvoer stofferingen				
5.3.2	Manco- en afkeurvak				
5.3.3	Afvalbakken (groot)				
5.3.4	I - Infopunt				
5.4	Geluidsplattegrond				

CHECK 6 - Gereedschappen			Uitgevoerd		Actienemer(s)
			JA	NEE	
6.1	Lijst van gereedschappen en middelen (bv afvalbakken)				
6.2	Lijst optimaliseren				

CHECK 7 - Productielijn inrichting			Uitgevoerd		Actienemer(s)
			JA	NEE	
7.1	Arbo & Milieu				
	7.1.1	Begeleidingsformulier aanschaf nieuwe machines			
	7.1.2	Werkhoogtes			
	7.1.3	Maximale werkduur per werkstation			
	7.1.4	Geen gevaarlijke situaties			
7.2	Benodigde aanpassingen hardware				
	7.2.1	TWO-BIN rekken per werkstation			
	7.2.2	KANBAN bakken volgens lijst			
	7.2.2	Banen			
	7.2.3	Werkstations (acties TD?)			
	7.2.4	Tussenbuffers			
	7.2.5	Productspecifieke karren			
	7.2.6	I - Infopunt stelling (zie check 8 voor inhoud)			
	7.2.7	Klok			
	7.2.8	Plakband / krijt voor vaste plekken			
7.3	Aansluitingen (stroom, lucht, licht, etc.)				
7.5	Eventuele aanpassing nieuwe lay-out tekening				
7.6	Compliance checklist aanpassen (tbv productielijn)				

CHECK 8 - Infopunt specificaties			Uitgevoerd		Actienemer(s)
			JA	NEE	
8.1	Logboek				
8.2	Eindcontrole				
	8.2.1	Standaard format gebruiken (H:\Montage Assemblage\Normwerkgroepen)			
	8.2.2	Evaluatie (in normwerkgroep)			
8.3	Werkinstructie(s)				
	8.3.1	Standaard format gebruiken (H:\Montage Assemblage\Normwerkgroepen)			
	8.3.2	Evaluatie (in normwerkgroep)			
8.5	Infobladen				
	8.5.1	Toxische stoffen (ook op werkstation?)			
	8.5.2	Daglijsten			
	8.5.3	Magazijnuitgiftelijsten			
	8.5.4	Waarschuingsblad geluid (ook op werkstation?)			
	8.5.5	Waarschuingsblad maximale werkduur (ook op werkstation?)			
8.6	Stopwatch				
8.7	Emmer, bezem + doeken				
8.8	Optimalisatiebord				
	8.8.1	Kwaliteitsscore			
		8.8.1.1 Foto terugkoppeling			
		8.8.1.2 Week of maandscore			
	8.8.2	Leverbetrouwbaarheid			
	8.8.3	Efficiency			
		8.8.3.1 Staafdiagram per werkstation			
		8.8.3.2 % per dag			
	8.8.4	Compliancescore			

CHECK 9 - Implementatie			Uitgevoerd		Actienemer(s)
			JA	NEE	
9.1	Tijdslijn vaststellen				
	9.1.1	Opruimen			
	9.1.2	Vrijplannen productielijnen & inplannen TD			
	9.1.3	Verplaatsen TD			
	9.1.4	Productielijn en werkstations inruimen			
		9.1.4.1 KANBAN			
		9.1.4.2 Infopunt			
	9.1.5	Gereedschap check werking & afstelling			
9.2	Startcheck met afdelingen				
	9.2.1	Magazijn			
	9.2.2	Frameproductie			
	9.2.4	Stofsets			
	9.2.5	Bladen			
	9.2.6	KWD			
9.3	Skillmatrix operators maken (flex / vast)				
9.4	Afstemming & informeren assemblagemedewerkers				
9.5	Testdraaien				
9.6	START				

CHECK 10 - Evalueren			Uitgevoerd		Actienemer(s)
			JA	NEE	
10.1	Voortgang				
	10.1.1	Compliance rondes op de productielijn			
	10.1.2	Meting kwaliteit op de lijn			
	10.1.3	Meting leverbetrouwbaarheid op de lijn			
	10.1.4	Meting efficiency op de lijn			
10.2	Verbeterpunten				
	11.2.1	In kaart brengen van zwakke plekken en structurele oplossingen opzetten			
	11.2.2	Procedure verbeterpunten			
	11.2.3	Procedure afhandelen kwaliteitsproblemen			

Tabel L-1 Checklist ter implementatie nieuwe productielijn