

Doorlooptijdreductie in een MTO omgeving

Een onderzoek naar het verkorten van de doorlooptijd binnen Bedrijf X

BACHELOR SCRIPTIE TECHNISCHE BEDRIJFSKUNDE

Anouk Scholten

**UNIVERSITEIT
TWENTE.**

Begeleider Universiteit van Twente

1^e begeleider: Peter Schuur

2^e begeleider: Henk Kroon

Begeleider Bedrijf X:

Anoniem

Managementsamenvatting

In dit onderzoek wordt gekeken naar de mogelijkheden om de doorlooptijd binnen een productieproces van Bedrijf X te reduceren. Bedrijf X is een elektronicabedrijf. Bedrijf X houdt zich bezig met de productie van elektronica voor verschillende bedrijven.

Het aantal producten/orders op de werkvloer wordt te hoog geacht, ook wel work-in-progress (WIP) genoemd. Omdat de hoogte van de WIP onder anderen wordt veroorzaakt door de lengte van de doorlooptijd, was dit één van de redenen om een onderzoek te starten naar hoe de doorlooptijd verlaagd kan worden. De onderzoeksvraag is als volgt geformuleerd:

Hoe is het productieproces van Product X op dit moment georganiseerd en hoe kan de doorlooptijd worden verkort?

Bedrijf X wil een aanbeveling krijgen over welke methode ze kunnen gebruiken om de doorlooptijd te verlagen. Hiervoor is literatuuronderzoek gedaan naar de factoren die invloed uitoefenen op de doorlooptijd. De directe factoren zijn:

- Bewerkingstijd
- Omsteltijd
- Transporttijd
- Wachtijd

Er is globaal onderzoek gedaan naar verschillende methodes. Waarna de keuze is gemaakt te focussen op de methodes die naast het verkorten van de doorlooptijd ook de WIP laag konden houden. Uiteindelijk zijn er vier mogelijke methodes uitgekomen, er is gedetailleerd onderzoek gedaan naar deze vier methodes. De vier methodes zijn:

- **Kanban:** de WIP wordt bepaald door middel van het aantal kanban-kaarten in een cel. Deze kaarten zijn product-specifiek, wat betekent dat de kaarten een bepaald product representeren. De kaarten zijn een voorraad-signaal, ofwel ze geven een signaal af dat de voorraad bijgevuld kan worden. Het aantal kanban-kaarten binnen een cel bepaald de maximale hoogte van de WIP in die cel.
- **Polca:** de WIP wordt bepaald door middel van het aantal polca-kaarten tussen lussen (loops tussen cellen). Een polca kaart is een capaciteit-signaal, ofwel ze geven een signaal af dat er (binnenkort) capaciteit vrij is. Het aantal Polca-kaarten binnen een lus (loop) bepaald de maximale hoogte van de WIP in die loop.
- **CONWIP:** de WIP wordt bepaald door middel van het aantal kaarten in het productieproces. Het totale aantal kaarten bepaald de maximale hoogte van de WIP in het gehele productieproces.
- **Workload Control (WLC):** de WIP wordt bepaald door middel van de belasting van werkstations. Ieder werkstation krijgt een WIP limiet. Als deze wordt overschreden, worden de orders waarvan de route langs dat werkstation gaan niet vrijgegeven.

Om te weten te komen hoe het proces er uitziet, zijn observaties gedaan, gepraat met personeel en is data geanalyseerd. Er is bijvoorbeeld gekeken naar de wijze waarop wordt gepland en wanneer/hoe de orders worden vrijgegeven. Verder is gekeken naar de huidige doorlooptijd. Deze doorlooptijd bestaat uit drie delen, omdat de processen sequentieel moeten verlopen:

- De doorlooptijd van de productie van deelproduct 1
- De doorlooptijd van de productie van deelproduct 2
- De doorlooptijd van de assemblage van het eindproduct

De doorlooptijd van de verschillende onderdelen is bepaald aan de hand van verschillende data. De doorlooptijd van de productie van deelproduct 1 is 11 dagen, de doorlooptijd van de productie van deelproduct 2 is 13 dagen en de doorlooptijd van de assemblage van het eindproduct is 12 dagen. Dit komt neer op een totale doorlooptijd van 36 dagen. Hiervan wordt er ongeveer 13,5 dag daadwerkelijk aan het product gewerkt, de andere dagen staan (deel)producten te wachten.

Om een keuze te maken tussen de vier methodes, is gebruik gemaakt van het Analytisch Hiërarchisch proces (AHP). Met behulp van opgedane kennis, ervaring van het personeel, het proces en een literatuurstudie zijn criteria bepaald:

- De hoogte van de WIP
- Variatie tussen producten
- Variatie in de route
- Variatie in de vraag
- Variatie in de bewerkingstijden
- Veroorzaken van blokkades
- Transparant, hoe snel opstoppen te zien zijn
- Eenvoudig, te implementeren

Voor elk criterium is het gewicht bepaald met behulp van AHP. Een medewerker vanuit productie, een Manufacturing Engineer en een planner hebben de criteria paarsgewijs vergeleken. Hieruit zijn de volgende gewichten gekomen:

	Productie medewerker	Manufacturing engineer	Planner	Gewogen gemiddelde
Hoogte WIP	0,081	0,133	0,142	0,119
Variatie producten	0,055	0,081	0,223	0,120
Variatie route	0,154	0,032	0,179	0,122
Variatie in de vraag	0,129	0,26	0,017	0,135
Veroorzaken blokkades	0,07	0,27	0,02	0,120

Variatie in bewerkingstijden	0,06	0,07	0,087	0,072
Transparantie	0,25	0,07	0,251	0,190
Eenvoudig	0,21	0,26	0,08	0,183

TABEL 1: GEWICHTEN PER CRITERIUM

Van deze gewichten is het gewogen gemiddelde genomen. Dit gewogen gemiddelde is terug te zien in tabel 1 in de kolom. Hoe hoger het gewicht, hoe belangrijker het criterium.

Vervolgens zijn, met behulp van literatuurstudie, de scores van de vier alternatieven op de criteria bepaald. Waarna deze zijn getoetst bij een Manufacturing Engineer. Deze scores zijn terug te vinden in de laatste vier kolommen van tabel 1. Hoe hoger de score, hoe beter de methode het criterium toepast.

Uiteindelijk zijn de prioriteiten per alternatief berekend, welke te vinden zijn in de laatste kolom van tabel 1. Deze prioriteiten zijn tot stand gekomen door middel van de volgende formule:

$$Pk = \sum_{c=1}^8 Skc * Gc$$

Pk = prioriteit Kanban

Skc = score kanban per criterium

Gc = gewicht per criterium

c = criterium

	Gewicht	Kanban	Polca	CONWIP	WLC
Hoogte WIP	0,119	0,057	0,264	0,122	0,558
Variatie producten	0,120	0,049	0,394	0,165	0,394
Variatie route	0,122	0,057	0,264	0,122	0,558
Variatie in de vraag	0,135	0,057	0,264	0,122	0,558
Veroorzaken blokkades	0,120	0,122	0,057	0,558	0,264
Variatie in bewerkingstijden	0,072	0,057	0,264	0,122	0,558
Transparantie	0,190	0,264	0,558	0,057	0,122
Eenvoudig	0,183	0,194	0,078	0,647	0,078
Prioriteit		0,132	0,293	0,271	0,366

Zoals te zien is in tabel 1 scoort Workload Control (WLC) het hoogst en is daarom de best toepasbare methode om de doorlooptijd binnen Bedrijf X te verkorten. Het advies uit dit onderzoek is daarom om Workload Control te implementeren gezien de huidige situatie bij Bedrijf X. De keuze is uiteindelijk aan Bedrijf X welke methode wordt geïmplementeerd. Voordat hiertoe kan worden overgegaan, zal eerst aan een aantal randvoorwaarden moeten worden voldaan.

De randvoorwaarden zijn omwille van geheimhouding weggelaten

Voorwoord

Ter afronding van mijn bacheloropleiding Technische Bedrijfskunde aan de Universiteit van Twente is onderzoek gedaan bij Bedrijf X naar het productieproces en de doorlooptijd van Product X.

Graag wil ik iedereen bedanken die me tijdens dit onderzoek heeft geholpen. In het speciaal wil ik mijn afstudeerbegeleider vanuit bedrijf X bedanken, hij heeft me tijdens het onderzoek begeleid en heeft me altijd goede kennis en advies gegeven. Ondanks zijn drukke agenda maakte hij altijd tijd voor me vrij. Daarnaast wil ik Peter Schuur bedanken als eerste begeleider vanuit de UT en mijn tweede begeleider. Tot slot wil ik mijn familie en vrienden bedanken die me hebben geholpen tijdens het traject.

Anouk Scholten

Juli 2018

Inhoud

Managementsamenvatting	ii
Voorwoord	vi
Lijst met begrippen.....	x
Lijst met afkortingen	xii
1. Introductie	1
1.1. Het bedrijf	1
1.2. Aanleiding	1
1.3. Afbakening onderzoek	2
1.4. Probleemidentificatie	2
1.5. Deelvragen	3
1.6. Oplevering	3
1.7. Verslag opbouw	3
2. Literatuur studie.....	5
2.1. Factoren die invloed hebben op de doorlooptijd.....	5
2.1.1. Bewerkingstijd	5
2.1.2. Omsteltijd	6
2.1.3. Transporttijd.....	6
2.1.4. Wachtijd	6
2.2. Methodes verkorten doorlooptijd.....	7
2.2.1. Methodes	7
2.2.2. Eliminatie van methodes.....	9
2.2.3. Kanban, Polca, CONWIP en Workload Control	10
2.3. Analytisch Hiërarchisch Proces (AHP).....	18
2.4. Samenvatting.....	19
3. Huidige situatie	21
4. Beste methode binnen Bedrijf X	23
4.1. Criteria	23
4.2. Gewichten criteria	24
4.3. Scores.....	24
4.3.1. Paarsgewijs vergelijken	25
4.3.2. Prioriteiten methodes	28
4.4. De methode	29

4.5 Samenvatting hoofdstuk 4.....	31
5. Conclusie, aanbevelingen & discussie	32
5.2. Aanbeveling	33
5.3. Discussie	33
Bibliografie	35
Appendices	38

Lijst met begrippen

Load-balancing

Versnelt of vertraagd de vrijgave of doorvoer van orders met als doel het voorkomen van onderbrekingen in de materiaalstroom (versnelt) of een opbouw van WIP (vertragingen).

Autorisatietijd

Wanneer een bepaalde productiecel met de order mag beginnen.

Whiteroom

Productiehal waar de productie van de deelproducten plaatsvindt. Hier worden ook de meeste deelproducten getest.

Cleanroom

Productiehal waar de productie van het eindproduct plaatsvindt. Hier worden alle deelproducten, zowel deelproducten die binnen Bedrijf X zijn geproduceerd als inkooponderdelen, in het eindproduct gebouwd.

Lijst met afkortingen

MTO	= Make-To-Order
Polca	= Paired-cell Overlapping Loops of Cards with Authorization
CONWIP	= CONstant Work-In-Progress
WLC	= WorkLoad Control
TOC	= Theory Of Constraints
TQM	= Total Quality Management
SMED	= Single-Minute Exchange of Die
WIP	= Work-In-Progress
ERP	= Enterprise Resource Planning
VSM	= Value Stream Mapping
PFS	= Process Feedback System
AHP	= Analytisch Hiërarchisch Proces

1. Introductie

In het kader van de afronding van mijn studie Technische Bedrijfskunde aan de Universiteit van Twente, heb ik onderzoek verricht bij Bedrijf X naar de doorlooptijd van Product X en hoe deze gereduceerd kan worden. Dit hoofdstuk zal beginnen met een introductie van het bedrijf. Vervolgens wordt de aanleiding en afbakening van dit onderzoek gegeven. In paragraaf 4 wordt de probleemidentificatie besproken en is de hoofdvraag geformuleerd. Paragraaf 5 bevat de deel- en onderzoeksvragen. In paragraaf 6 zal besproken worden wat wordt opgeleverd aan het eind van dit onderzoek. In paragraaf 7 wordt de opzet van de rest van het verslag besproken.

1.1. Het bedrijf

Deze paragraaf is omwille geheimhouding weggelaten

1.2. Aanleiding

In de afgelopen jaren is de vraag naar productie binnen Bedrijf X sterk gestegen. Echter is er weinig veranderd aan de werkwijze waarop ze de producten produceren en plannen, waardoor de doorlooptijd niet veel korter is dan enkele jaren geleden. Met behulp van Little's Law kan gezegd worden dat de stijging van de vraag en de gelijkblijvende doorlooptijd ervoor hebben gezorgd dat de WIP in de afgelopen jaren ook sterk is toegenomen (Little & Graves, 2008):

$$L = \lambda * W$$

L = aantal onderdelen in het systeem (WIP)

λ = aantal orders per tijdseenheid (vraag)

W = doorlooptijd

Uit de bovenstaande formule volgt als de vraag/aantal orders per tijdseenheid (λ) stijgt en de doorlooptijd (W) gelijk blijft, de WIP (L) ook stijgt.

Bedrijf X wil om een aantal redenen de WIP omlaag proberen te krijgen namelijk:

- Ruimtegebrek
De vraag is groter geworden maar het gebouw waar Bedrijf X in zit kan niet zomaar uitbreiden. Op dit moment is de WIP zo hoog dat er ruimtegebrek is (zowel in de productie als in het magazijn).
- Picken
Alle orders gaan door de productie op karren. Aangezien de WIP hoger wordt, is er een tekort aan karren. Omdat er te weinig karren zijn voor het aantal orders proberen de werknemers zoveel mogelijk orders op één kar te plaatsen. Dit is echter niet de bedoeling want daar wordt het onoverzichtelijk van. Eén legger mag daarom maar één order bevatten.
- Ongeordend
Binnen het proces (en de productiehallen) zijn geen specifieke plekken voor (deel)producten. Hierdoor leggen de werknemers de (deel)producten maar ergens neer. Dit is heel ongeordend en kan ervoor zorgen dat producten zoekraken en/of

stuk gaan. Daarnaast gaan er met elke order enkele blaadjes mee ter informatie, deze blaadjes raken soms ook wel eens zoek.

1.3. Afbakening onderzoek

Bedrijf X heeft meerdere klanten en voor iedere klant een specifieke afdeling. Tijdens dit onderzoek zal bezig gehouden worden met de productie voor Bedrijf Y, met name de “Racks and Cabinets”, oftewel grote elektronica-kasten. De afdelingen die belangrijk zijn voor dit onderzoek zijn:

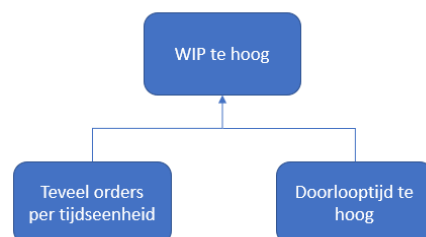
- Planning
Een goed productieproces start met een goede planning. De verschillende processtappen moeten goed op elkaar af worden gestemd en er moet regelmaat zijn in het aantal orders per dag. Hoe er wordt gepland is dan ook belangrijk voor dit onderzoek.
- Magazijn
Nadat een order is vrijgegeven, wordt in het magazijn de eerste productiestap uitgevoerd, namelijk het picken. Omdat dit bij het productieproces hoort, moet dit onderzocht worden tijdens het onderzoek.
- Whiteroom
In de whiteroom zal de meeste van de productie- en testprocessen plaatsvinden. Alle deelproducten worden hier namelijk schoongemaakt (cleaning), geassembleerd en getest (visueel of met behulp van een machine). Omdat de (deel)producten hier worden geproduceerd en de meeste tijd doorbrengen, is de whiteroom heel belangrijk voor dit onderzoek. Hier zal dan ook geregeld worden geobserveerd.
- Cleanroom
In de cleanroom vindt de assemblage van het eindproduct plaats. Daarna zal het eindproduct worden getest op verschillende machines en tot slot vindt er nog een laatste schoonmaakstap plaats. Dit is ook belangrijk voor het onderzoek, en hier zal dan ook geobserveerd worden.

Samen met de begeleider vanuit Bedrijf X is besloten om tijdens dit onderzoek de focus te leggen op één product. Dit product is Product X.

De reden voor de afbakening is dat het onderzoek in ongeveer tien weken moet worden uitgevoerd, en er geen tijd is om alle producten te analyseren. Er is gekozen voor Product X, omdat deze momenteel als pilot lijn wordt gezien voor operational excellence.

1.4. Probleemidentificatie

Zoals te zien is in sectie 1.2, moet het onder handen werk (WIP) verlaagd worden. Zoals te zien is in figuur 2, welke is opgebouwd door de formule van little's law, wordt de WIP door twee factoren beïnvloed: het aantal orders per tijdseenheid en de doorlooptijd. Om de WIP te verlagen, is het mogelijk om het aantal orders per tijdseenheid te verlagen, of de doorlooptijd te verlagen. Als groeiend bedrijf, wat Bedrijf X is, is het



FIGUUR 1: OORZAKEN HOGE WIP

niet ideaal om het aantal orders per tijdseenheid te verlagen. Daarom gaan we tijdens dit onderzoek kijken hoe we de doorlooptijd kunnen verlagen zodat de WIP ook omlaag gaat.

De hoofdvraag wordt als volgt geformuleerd:

Hoe is het productie proces van Product X op dit moment georganiseerd en hoe kan de doorlooptijd worden verkort?

1.5. Deelvragen

In sectie 1.4 is de hoofdvraag van dit onderzoek geformuleerd. Om de hoofdvraag te beantwoorden zijn deelvragen opgesteld.

Allereerst moet de huidige situatie in kaart worden gebracht, hiervoor wordt o.a. gebruik gemaakt van data-analyse en observaties. Daarna zal literatuurstudie gedaan worden naar de oorzaken van een hoge doorlooptijd en naar methodes om de doorlooptijd te verkorten. Ten slotte wordt de methode die het best past binnen Bedrijf X gekozen door middel van het Analytisch Hiërarchisch Proces.

De deelvragen zijn als volgt geformuleerd:

- 1) *Hoe ziet de huidige situatie eruit?*
 - a) *Hoe hoog is de huidige work-in-progress?*
 - b) *Hoe wordt er op dit moment gepland?*
 - c) *Wat is het kritieke pad?*
 - d) *Wat is de huidige doorlooptijd?*
 - e) *Hoeveel procent is de wachttijd van de doorlooptijd?*
- 2) *Wat zijn de oorzaken van een te hoge doorlooptijd?*
- 3) *Wat zijn de methodes om de doorlooptijd te verkorten?*
 - a) *Welke methodes bestaan om de doorlooptijd te verkorten?*
 - b) *Wat zijn de voordelen van elke methode?*
 - c) *Wat zijn de nadelen van elke methode?*
- 4) *Welke methode om de doorlooptijd te verkorten past het best binnen Bedrijf X?*

1.6. Oplevering

Aan het eind van dit onderzoek zullen de volgende aspecten opgeleverd worden:

- Prioriteiten hoe goed iedere methode binnen Bedrijf X past
- Eén uiteindelijke methode die het best toepasbaar is binnen Bedrijf X
- Aanbeveling om het productieproces overzichtelijker te maken
- Aanbeveling voor verder onderzoek

1.7. Verslag opbouw

Dit verslag is opgebouwd aan de hand van de deelvragen.

Hoofdstuk 2 is de literatuurstudie, hier wordt antwoord gegeven op de deelvraag “Wat zijn de oorzaken van een te hoge doorlooptijd?” en “wat zijn de methodes om de doorlooptijd te verkorten?”

Hoofdstuk 3 geeft de huidige situatie weer, hier wordt dan ook de deelvraag “Hoe ziet de huidige situatie eruit?”

In hoofdstuk 4 wordt aan de hand van het Analytisch Hiërarchisch Proces uit de verschillende

methodes de best toepasbare gekozen voor Bedrijf X. In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de vraag “Welke methode om de doorlooptijd te verkorten past het best binnen Bedrijf X?”

Tot slot zal in hoofdstuk 5 de conclusie van dit onderzoek gegeven worden, aanbevelingen worden gedaan en enkele limitaties van dit onderzoek besproken worden.

2. Literatuur studie

Dit hoofdstuk dient als theoretische basis voor de rest van het onderzoek. Allereerst zullen de factoren die invloed hebben op de doorlooptijd worden benoemd en uitgelegd. Dit is te vinden in paragraaf 1. In paragraaf 2 is een uitgebreide literatuur studie over de mogelijke methodes waarmee de doorlooptijd verlaagd kan worden. Tot slot wordt in paragraaf 3 een uitleg gegeven hoe AHP werkt. Door middel van AHP zal de methode die het best binnen Bedrijf X past systematisch gekozen worden.

2.1. Factoren die invloed hebben op de doorlooptijd

Om te factoren te bepalen die invloed uitoefenen op de doorlooptijd, maken we gebruik van de onderstaande formule:

$$\text{Doorlooptijd} = \text{Bewerkingstijd} + \text{omsteltijd} + \text{transporttijd} + \text{wachttijd}$$

(Hopp, Spearman, & Woodruff, Practical strategies for lead time reduction, 1990)

De tijden in de bovenstaande formule zijn de directe factoren. De tijden hebben dus direct invloed op de doorlooptijd. Wat wil zeggen dat als één van de tijden gereduceerd wordt (en de anderen blijven constant) dat de doorlooptijd ook gereduceerd wordt.

De directe factoren worden op zichzelf ook weer beïnvloed door factoren, deze factoren hebben indirect invloed op de doorlooptijd.

Hieronder worden alle directe factoren apart besproken en worden verschillende indirecte factoren benoemd. De indirecte factoren zijn geformuleerd met behulp van Appendix A (Johnson, 2003).

2.1.1. Bewerkingstijd

Eén van de factoren die invloed hebben op de doorlooptijd is de bewerkingstijd. De bewerkingstijd is de tijd die een machine en/of werknemer nodig heeft om een taak uit te voeren op een bepaald werkstation (Hopp, Spearman, & Woodruff, Practical strategies for lead time reduction, 1990). De totale bewerkingstijd is de som van alle bewerkingstijden op alle werkstations welke het (deel)product moet doorlopen.

Factoren die de bewerkingstijd beïnvloeden zijn:

- Herbewerking
Herbewerking is in principe niet nodig. Echter, als een product niet door een test komt is herbewerking wel nodig. Dit is één van de zeven verspillingen en herbewerking wil je daarom ook zo laag mogelijk houden.
- Aantal handelingen
Hoe meer handelingen, hoe langer het duurt voordat een product klaar is op een bepaald station.
- Tijd per handeling
Hoe langer een handeling duurt, hoe langer de bewerkingstijd. De tijd per handeling hangt samen met de vaardigheid van een werknemer. Als de werknemer een product voor de eerste keer in elkaar zet, zal de tijd per handeling groter zijn. Naar mate het vaker wordt gedaan, zal de tijd korter worden.

2.1.2. Omsteltijd

De omsteltijd is de tijd die nodig is om een machine klaar te maken zodat het volgende (deel)product bewerkt kan worden (Hopp, Spearman, & Woodruff, Practical strategies for lead time reduction, 1990). De totale omsteltijd is de som van alle omsteltijden bij de verschillende werkstations welke het (deel)product moet doorlopen.

Factoren die de omsteltijd beïnvloeden zijn:

- Tijd per setup
Hoe langer een setup duurt, hoe langer de totale setup tijd. De tijd per setup hangt onder andere af van het type machine en de procedures binnen een bedrijf.
- Aantal set-ups
Hoe vaker een product/productgroep een setup moet ondergaan, hoe langer de totale setup tijd. Het aantal set-ups per product hangt af van de batchgrootte en het aantal werkstations die een setup nodig hebben. Hoe groter de batchgrootte, hoe minder set-ups per product nodig. Hoe meer werkstations (die een set-up nodig hebben), hoe meer set-ups per product nodig zijn.

2.1.3. Transporttijd

De transporttijd is de tijd die nodig is om een (deel)product van het ene workstation naar het andere workstation te transportteren (Hopp, Spearman, & Woodruff, Practical strategies for lead time reduction, 1990). De totale transporttijd is de som van alle transporttijden tussen alle werkstations welke het (deel)product moet doorlopen.

Factoren die de transporttijd beïnvloeden zijn:

- Tijd die nodig is per verplaatsing
Hoe langer de tijd per verplaatsing, hoe langer de totale transporttijd. De tijd per verplaatsing kan gereduceerd worden door de snelheid te verhogen of door achtereenvolgende stations dicht bij elkaar te plaatsen.
- Aantal verplaatsingen
Hoe vaker een product verplaatst moet worden, hoe langer de transporttijd.

2.1.4. Wachtijd

De wachttijd is de tijd dat een product aan het wachten is voor een werkplek beschikbaar komt (Hopp, Spearman, & Woodruff, Practical strategies for lead time reduction, 1990). De totale wachttijd is de som van alle wachttijden bij alle werkstations welke het (deel)product moet doorlopen. De wachttijd heeft twee componenten:

1. Wait-for-parts time
Wachten voor andere subs, zodat een “montage” kan beginnen.
2. Wait-to-move time
Wachten totdat de rest van de batch klaar is met de processtap, zodat de hele batch naar de volgende processtap verplaatst kan worden.

Factoren die de wachttijd beïnvloeden zijn:

- Batchgrootte
Hoe groter de batch is, hoe langer de wait-to-move time, oftewel hoe langer de wachttijd.
In plaats van de batchgrootte kleiner te maken, kan de “transfer batch size” oftewel het aantal producten dat klaar moet zijn voordat ze naar het volgende station kunnen, ook kleiner gemaakt worden om de wachttijd te verkorten.
- Procesvariabiliteit
Hoe groter de variabiliteit in het proces is, hoe lastiger te plannen. Hierdoor zullen er wachtrijen ontstaan en zal de wachttijd verhoogd worden. Een oorzaak van procesvariabiliteit is rework.
- Aankomstvariabiliteit
Als het aankomst proces heel fluctuerend is, zal de wachttijd groter worden. De productie heeft op sommige dagen niks te doen, en op sommige dagen hebben ze zoveel orders dat er wachtrijen ontstaan doordat de capaciteit te laag is. De aankomstvariabiliteit kan geregeld worden door de planning, dat ze maar een bepaald aantal orders mogen vrijgeven per tijdseenheid. Daarnaast kan de aankomstvariabiliteit verlaagd worden door het de procesvariabiliteit te verlagen.
- Aantal wachtrijen
Hoe meer wachtrijen, hoe langer de wachttijd. Het aantal wachtrijen kan verlaagd worden door een aantal activiteiten direct achter elkaar uit te voeren.

2.2. Methodes verkorten doorlooptijd

In dit onderzoek wordt gekeken naar een methode om de doorlooptijd te verkorten. Door middel van literatuurstudie zijn enkele methodes onderzocht, deze methodes met een korte beschrijving zijn te vinden in 2.2.1. In 2.2.2. zullen enkele methodes afvallen, omdat deze simpelweg niet te gebruiken zijn in dit onderzoek. In 2.2.3. worden de overgebleven methodes verder onderzocht.

2.2.1. Methodes

Door (literatuur)onderzoek te doen naar methodes om de doorlooptijd te verlagen, zijn de onderstaande zeven methodes aan het licht gekomen. Deze worden hieronder kort besproken.

- Kanban
Kanban komt voort uit het Japans, “kan” staat voor visueel en “ban” staat voor kaart of bord. Kanban is dus een visuele methode door middel van kaarten of borden. Verder in dit onderzoek gaan we in op Kanban door middel van kaarten. Een voorbeeld van zo een Kanban-kaart is te zien in figuur 3. Op een Kanban-kaart moet in ieder geval de volgende informatie staan:

Kanban			
Part Description axle	Bin Type Pallet	Card Number 3	
Ident-No. 1223122	Places / Bin 10		
Production Area 2207 455		Consumption Area 1022 013	Delivery Time 2 Days
Raw Material No. 171655		Work Plan No. 231222	
Bar Code 			

FIGUUR 2: VOORBEELD VAN EEN KANBAN-KAART (LÖDDING, 2013)

- De productiecel waar de bewerking plaatsvindt.
- Het product dat bewerkt wordt.
- Grootte van de partij.
- Kaart nummer.

Kanban is een pull methode, omdat werkstations mogen gaan bewerken wanneer een klant een product vraagt en er dus een (eind)product uit de voorraad wordt verwijderd. Daarnaast is een kanban-kaart een signaal om de (tussen)voorraad aan te vullen. Hoe het precies in zijn werk gaat wordt beschreven in een voorbeeld in sectie 2.2.3.1. (Hopp & Spearman, 2011)

- Theory Of Constraints (TOC)

Het idee achter TOC is de aanname dat er in elk productieproces een bottleneck (constraint) zit, die de doorvoer (doorlooptijd) van de productie beperkt. De niet-bottlenecks bepalen niet de doorvoer en zijn dus niet kritisch voor succes. Het doel van TOC is dus het identificeren van de bottleneck en te verwijderen. (Lödding, 2013)

- Total quality management (TQM)

TQM is een effectief systeem voor het integreren van de kwaliteitsontwikkeling, kwaliteitsonderhoud en kwaliteitsverbetering van de verschillende groepen in een organisatie om productie en service mogelijk te maken op de meest economische niveaus die volledige klanttevredenheid mogelijk maken. Het doel van TQM is om producten in één keer “goed” te maken (first time right) (Slack, Chambers, & Johnston, 2010).

- Polca (Paired-cell Overlapping Loops of Cards with Authorization)

Polca is in 1990 ontwikkeld door Rajan Suri. Het is een methode met als doel de doorlooptijd te verlagen. Polca is een uitbreiding op Kanban en werkt net als Kanban met kaarten, de zogeheten Polca-kaarten.

Deze Polca-kaarten circuleren in Polca-loops en geven aan dat de afnemende cel capaciteit heeft. In figuur 4 is een voorbeeld van een Polca-kaart te zien. Op een Polca-kaart moet in ieder geval de onderstaande informatie staan:

- De naam van de leverende en de afnemende cel.
- De afkortingen van de twee cellen (in figuur 4 A1 en P1).
- De kleurkenmerken van de opeenvolgende cellen.
- Een kaart-gebonden serienummer.



FIGUUR 3: VOORBEELD VAN EEN POLCA-KAART. (PIEFFERS & RIEZEBOS, 2006)

Cel A1 en P1 zitten met elkaar in één loop, daarnaast zitten ze hoogstwaarschijnlijk ook nog in andere loops (behalve als ze de eerste of laatste cel zijn). De hoeveelheid polca-kaarten in een loop bepaald de hoogte van de WIP binnen die loop, aangezien een polca-kaart een order (zoals figuur 4) of een bepaalde hoeveelheid werk (staat dan ook op de kaart) representeert.

Binnen polca mag een cel pas gaan produceren als er zowel een pull signaal is, dit is

als er een kaart van de volgende cel aanwezig is, en als er een push signaal is, dit is als de autorisatietijd is overschreden en er een kaart van de vorige cel aanwezig is. (Lödding, 2013) (Suri, 2003) (Pieffers & Riezebos, 2006)

- CONWIP

CONWIP staat voor CONstant Work In Progress, oftewel constante werk in uitvoering. Ook bij deze methode wordt gebruik gemaakt van kaarten die de hoogte van de WIP bepalen. Echter, bij deze methode blijven de kaarten bij het product totdat het product klaar is en gaat dan weer naar het begin van de productiestroom. Een order wordt vrijgegeven wanneer de WIP onder het limiet komt, dit is wanneer er een CONWIP-kaart vrijkomt. Bij de vrijgave wordt gekeken naar de order met de hoogste prioriteit uit de vrijgavelijst. De vrijgavelijst bevatten alle orders die nog niet zijn vrijgegeven en waarvan de geplande startdatum binnen een bepaald venster valt. CONWIP is het simpelste pull systeem, echter kan het alleen de WIP van het hele productieproces bepalen en niet per cel/werkstation. (Hopp & Spearman, 2011) (Lödding, 2013)

- Workload Control (WLC)

WLC is een techniek voor het regelen van de productie. De methode zorgt ervoor dat de belasting van de werkstations in een productiesysteem in evenwicht is. Dit wordt gedaan door, voordat een order vrijgegeven wordt, te kijken naar de belasting van de desbetreffende werkstations. Als de belasting te hoog is, of zelfs overbelast is, wordt de order (nog) niet vrijgegeven. Soms worden orders zelfs geweigerd bij de klant. Hierbij wordt niet alleen de WIP van het desbetreffende werkstation bekeken, maar ook de werkinhoud van de orders die al zijn vrijgegeven en door het werkstation gaan. (Lödding, 2013)

- Single-minute exchange of die (SMED)

Het doel van SMED is om een snelle en efficiënte manier voor het omstellen van een productieproces te verkrijgen. Binnen SMED wordt onderscheid gemaakt tussen interne- en externe omsteltijden. De interne omsteltijden zijn de omsteltijden waarbij de machine stilstaat en de externe omsteltijden zijn de omsteltijden die kunnen worden gedaan als de machine bezig is met een bewerking van een product. Het doel is om zoveel mogelijk interne omsteltijden om te zetten naar externe omsteltijden, zodat de machine meer tijd heeft om producten te bewerken.

2.2.2. Eliminatie van methodes

Omdat het uiteindelijke doel is de WIP te verlagen, is besloten dat de methode die zal worden toegepast de randvoorwaarde heeft de WIP laag te houden. Dit zorgt ervoor dat de onderstaande methodes afvallen:

- SMED
- TQM
- TOC

De methodes die overblijven voor verdere onderzoek zijn:

- Kanban: de WIP wordt bepaald door middel van het aantal Kanban-kaarten in een cel. Het aantal Kanban-kaarten binnen een cel bepaald de maximale hoogte van de WIP in die cel.
- Polca: de WIP wordt bepaald door middel van het aantal Polca-kaarten tussen lussen (loops tussen cellen). Het aantal Polca-kaarten binnen een lus (loop) bepaalt de maximale hoogte van de WIP in die loop.
- CONWIP: de WIP wordt bepaald door middel van het aantal kaarten in het productieproces. Het totale aantal kaarten bepaald de maximale hoogte van de WIP in het gehele productieproces.
- WLC: de WIP wordt bepaald door middel van de belasting van cellen. Ieder werkstation krijgt een WIP limiet. Als deze overschreden wordt, word geen enkele order die langs dat werkstation moet vrijgegeven.

Er zal meer onderzoek worden gedaan naar de overgebleven methodes, dit onderzoek is terug te vinden in sectie 2.2.3.

2.2.3. Kanban, Polca, CONWIP en Workload Control

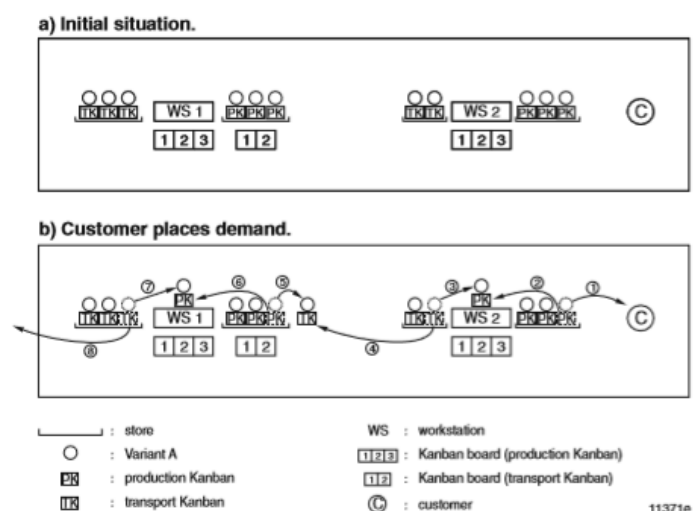
In deze sectie wordt verder onderzoek gedaan naar de methodes die in 2.2.2 zijn overgebleven. De methodes waar het om gaat zijn: Polca, Kanban, CONWIP en Workload Control. Van iedere methode wordt onder anderen een voorbeeldje gegeven en worden de voor- en nadelen genoemd.

2.2.3.1. Kanban

In 2.2.1 is een korte beschrijving van Kanban gegeven. Hier wordt dit verduidelijkt door middel van een voorbeeld. Daarna zullen de voor- en de nadelen beschreven worden.

Voorbeeld

In figuur 5 is een Kanban proces in kaart gebracht met twee productiecellen (WS1 en WS2). In de beginsituatie (A) is te zien dat alle voorraden vol zitten (met grondstoffen, tussenproducten en eindproducten). Op een bepaald moment plaatst de klant een order (B). Hierdoor wordt er een product uit de eindvoorraad gehaald en verzonden naar de klant ①. De Kanban-kaart die bij het product hoorde gaat terug naar cel WS2, de kaart is een pull signaal dat de eindvoorraad aangevuld moet worden en dat de cel kan beginnen met produceren ②. De werknemer van cel WS2 haalt het benodigde materiaal uit de voorraad ③ en begint met



FIGUUR 4: VOORBEELD VAN EEN KANBAN PROCES.
(LÖDDING, 2013)

produceren. De Kanban-kaart die bij het materiaal hoorde gaat terug naar cel WS1, de kaart geeft aan dat een eindproduct van cel WS1 naar de voorraad van cel WS2 getransporteerd kan worden ④⑤. De voorraad na cel WS1 moet aangevuld worden, waardoor er een Kanban-kaart terug gaat naar WS1 ⑥. Om te kunnen produceren moet de werknemer van cel WS1 de benodigde materialen uit de voorraad halen ⑦. Deze voorraad moet bijgevoerd worden door de leverancier ⑧.

Voordelen

Hieronder staan de voordelen, inclusief een korte omschrijving, van Kanban opgesomd.

- Limiteert de hoogte van de WIP. (Voss & Woodruff, 2003) (Spearman, Woodruff, & Hopp, 1990) (Lödding, 2013)
Zoals besproken in sectie 2.2.1, bepaalt het aantal Kanban-kaarten in een cel, de maximale hoogte van de WIP in die cel. Doordat de hoogte van de WIP bepaald wordt, blijft de (tussen)voorraad laag. De (tussen)voorraad kan namelijk niet groter worden dan de WIP.
Naast een lage WIP en (tussen)voorraad blijven de wachtrijen kort. Zoals te zien is in het voorbeeld hierboven en in figuur 5, heeft werkstation 2 (WS 2) maar twee plekken waar (tussen)producten kunnen wachten op een bewerking.
- Transparant. (Lödding, 2013) (Spearman, Woodruff, & Hopp, 1990)
Iedere Kanban-kaart heeft een nummer, hierdoor is in één oogopslag te zien hoeveel kaarten in omloop zijn. Het aantal kaarten in het proces geeft de hoogte van de WIP aan.
Daarnaast zorgt een lagere WIP voor meer transparantie. Hoe lager de WIP is, hoe meer overzicht en hoe beter/sneller problemen worden gezien en opgelost.
- Kanban houdt (indirect) rekening met achterstanden. (Lödding, 2013)
Kanban zelf houdt geen rekening met achterstanden. Echter kunnen tijdelijk het aantal kaarten, en dus tegelijkertijd ook het capaciteit, worden verhoogd om de achterstanden weg te werken.
- Elimineren van verspillingen (Naufal, Jaffar, Yusoff, & Hayati, 2012) (Bali, 2003) (Rohani & Zahraee, 2015)
Doordat Kanban gebruikmaakt van pull, wordt er alleen geproduceerd als er daadwerkelijk (klant)vraag is. Dit zorgt ervoor dat er geen overproductie is. Overproductie is één van de zeven verspillingen.

Nadelen

Hieronder staan de nadelen, inclusief een korte omschrijving, van Kanban opgesomd.

- Weinig variatie mogelijk tussen producten. (Junior & Filho, 2010) (Cheraghi, Dadashzadeh, & Soppin, 2008) (Spearman, Woodruff, & Hopp, 1990) (Lödding, 2013) (Kabadurmus, 2009)
Een kanban kaart gaat over een bepaald product. Hoe meer verschillende producten geproduceerd worden, hoe meer kanban kaarten nodig zijn (minstens 1 kaart per variant). Hoe meer kanban kaarten in omloop zijn, hoe hoger de WIP zal zijn.

Daarnaast kunnen veel varianten voor een geblokkeerde WIP zorgen. Er wordt gezegd dat het limiet tussen de 6 en 8 varianten zit.

- Houdt geen rekening met “load balancing”. (Thürer, Stevenson, & Protzman, Card-Based Production Control: A Review of the Control Mechanisms Underpinning Kanban, ConWIP, POLCA and COBACABANA Systems, 2018) (Lödding, 2013)
Kanban houdt bij de vrijgave van orders geen rekening met de belasting van de werkstations. Hierdoor is de methode lastig toe te passen wanneer variabiliteit in bewerkingstijd stijgt.
- Lastig toe te passen met veel fluctuaties in de vraag (Sundar, Balaji, & SatheeshKumar, 2014) (Junior & Filho, 2010) (Spearman, Woodruff, & Hopp, 1990) (Lödding, 2013) (Kabadurmus, 2009)
- Lastig toe te passen met veel variatie in bewerkingstijden (Junior & Filho, 2010) (Thürer, Stevenson, & Protzman, 2018)
- Lastig toe te passen met veel variatie in de routes (Thürer, Stevenson, & Protzman, 2018)
- Niet toe te passen bij lange setup tijden (Junior & Filho, 2010) (Cheraghi, Dadashzadeh, & Soppin, 2008) (Spearman, Woodruff, & Hopp, 1990) (Lödding, 2013)
- Alleen voor make-to-stock/herhalende productie (Kabadurmus, 2009) (Fernandes & Filho, 2011) (Jaegler, Burlat, & Lamouri, 2016) (Bali, 2003) (Germs & Riezebos) (Riezebos, 2009)

2.2.3.2. Polca

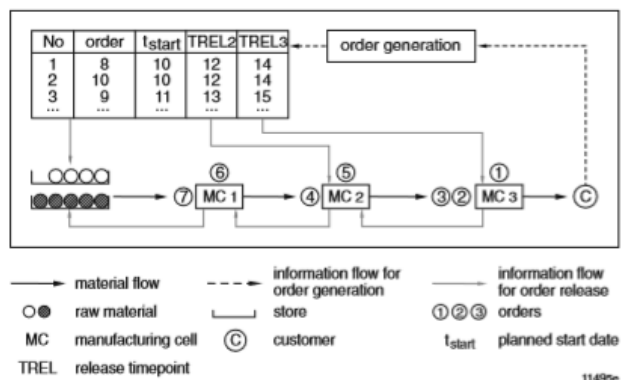
Allereerst worden 2 voorbeelden gegeven hoe Polca in z'n werk gaat. Daarna worden de voordelen, nadelen en restricties besproken.

Voorbeeld 1

In figuur 6 is een productieproces te zien met 3 (lineaire) productiecellen, MC1, MC2 en MC3. Wanneer de klant © een order plaatst zal deze in de vrijgavelijst komen te staan met andere orders. In de vrijgavelijst is te zien wat het ordernummer is (kolom: order), de geplande startdatum (kolom: T_{start}) en de autorisatietijd(en) (kolom: $TREL_2$ en $TREL_3$).

De loops in dit voorbeeld zijn loop MC1/MC2 en MC2/MC3. Wanneer cel

MC1 een MC1/MC2 Polca-kaart bezit en er een order is waarbij de startdatum is verstrekt, wordt de Polca-kaart aan de order vastgemaakt en mag cel MC1 beginnen met bewerken van die order. Wanneer de bewerking bij cel MC1 klaar is, gaat het product inclusief de polca kaart naar cel MC2. Hier wacht het totdat de bewerking (bij cel MC2) kan beginnen. Deze bewerking kan beginnen als de autorisatietijd is verstrekt, Polca-kaart MC1/MC2 aanwezig is (deze is aanwezig aangezien het product samen met de kaart al wacht bij cel MC2) en een



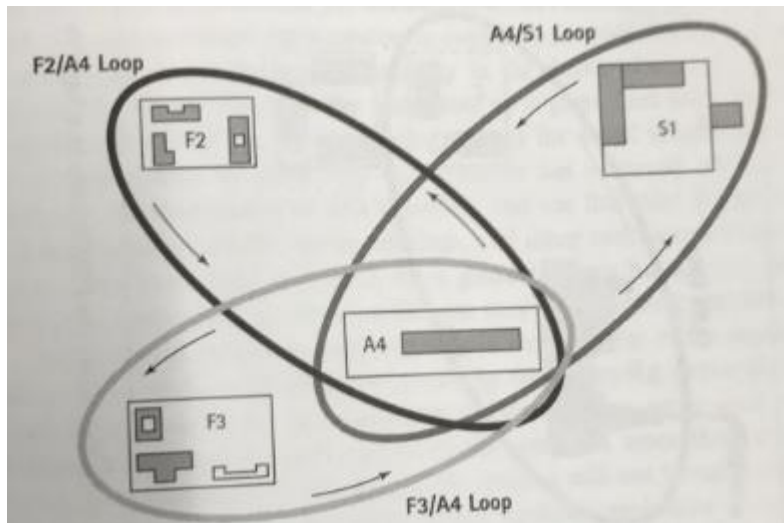
FIGUUR 5: VOORBEELD VAN EEN POLCA PROCES. (LÖDDING, 2013)

Polca-kaart MC2/MC3 aanwezig is. De MC2/MC3 kaart geeft aan dat er binnenkort capaciteit vrijkomt bij productiecel MC3. Wanneer alle drie de vereisten aanwezig zijn, kan de bewerking starten. Wanneer de bewerking klaar is bij cel MC2, gaat het product samen met de Polca-kaart MC2/MC3 naar cel MC3. De Polca-kaart MC1/MC2 gaat terug naar cel MC1 en geeft aan dat er binnen kort capaciteit vrij komt bij cel MC2. Wanneer de autorisatietijd voor cel M3 (TREL₃) is verstreken, kan de bewerking in cel 3 starten. Wanneer deze bewerking klaar is, kan het product verzonden worden en gaat de Polca-kaart MC2/MC3 weer terug naar cel MC2, waar weer een nieuwe bewerking kan worden gestart.

Voorbeeld 2

In voorbeeld 1 is een lineair productieproces weergegeven. Echter kan Polca ook gebruikt worden wanneer deelproducten in één product moeten komen. Dit voorbeeld is om uit te leggen hoe dat in zijn werk gaat.

In cel A4 zullen 2 producten worden samengevoegd. Het product van cel F2 en F3. Voordat cel A4 kan beginnen met bewerken, heeft het 3 Polca-kaarten nodig. Polca-kaart F2/A4, deze geeft aan dat het product van cel F2 aanwezig is. Polca-kaart F3/A4, deze geeft aan dat het product van cel F3 aanwezig is. Verder heeft het Polca-kaart A4/S1 nodig, deze geeft aan dat cel S1 binnenkort capaciteit over heeft. Naast de Polca-kaarten moet de autorisatietijd ook verstreken zijn. Als aan alle vier de eisen is voldaan, kan de bewerking bij cel A4 starten en wacht vervolgens bij cel S1 totdat die bewerking kan starten.



FIGUUR 6: VOORBEELD VAN 3 POLCA-LOOPS. (SURI, 1998)

Voordelen

Hieronder staan de voordelen, inclusief een korte omschrijving, van Polca opgesomd.

- Polca maakt gebruik van zowel pull (Polca-kaarten) als push (autorisatietijden). (Suri, 1998) (Lödding, 2013) (Thürer, Stevenson, & Protzman, 2018) (Suri, 2003)
Door de combinatie van pull en push, worden de voordelen van beide strategieën gecombineerd, terwijl de nadelen geëlimineerd worden. Een nadeel van pull is bijvoorbeeld dat tussenstadia worden gevuld met voorraad. Door gebruik te maken van autorisatietijden kan dit niet gebeuren.
- Limiteert de hoogte van de WIP. (Suri, 1998) (Lödding, 2013) (Germs & Riezebos)
Zoals besproken in sectie 2.2.1, bepaalt het aantal Polca-kaarten in een loop, de maximale hoogte van de WIP in die loop. Doordat de hoogte van de WIP bepaald wordt, blijft de (tussen)voorraad laag. De (tussen)voorraad kan namelijk niet groter worden dan de WIP.

- Veel variatie mogelijk tussen producten. (Suri, 2003) (Riezebos, 2009) (Kabadurmus, 2009) (Karrer, 2011)
Met behulp van de polca kaarten zijn flexibele routes mogelijk en is er geen tussenvoorraad nodig. Producten worden alleen gemaakt als er echt vraag naar is. Daarnaast is POLCA speciaal ontwikkeld voor Make-To-Order en Engineer-To-Order. De kaarten niet product-specifiek, zoals bij Kanban, maar route-specifiek. Soms geven ze een bepaalde hoeveelheid werk aan. Omdat de kaarten niet product-specifiek zijn hoeft het aantal kaarten niet te worden verhoogd naar mate de variatie tussen producten hoger wordt.
- Transparant. (Pieffers & Riezebos, 2006)
Door middel van het kaart gebonden serienummer (verplicht op een polca-kaart) zijn de kaarten traceerbaar. Hierdoor is het mogelijk om te zien welke kaart op dat moment bij welke cel is en hoe hoog de WIP bij een bepaalde cel is.
- Goed mogelijk als er deelproducten bij komen kijken. (Suri, 1998)
Zoals te zien is in voorbeeld 2, kan Polca gebruikt worden als er deelproducten voor een product nodig zijn.
- Polca ondersteunt “load-balance” tussen werkstations. (Lödding, 2013)
Dit kan door het gebruik van polca kaarten in loops (tussen werkstations). Als een productiecel geen order voor verwerking mag vrijgeven door gebrek aan een polca-kaart, probeert deze een andere order vooruit te halen (versnellen).
- Elimineren van verspillingen (Suri, 2003)
Net zoals bij Kanban, wordt er alleen geproduceerd als er daadwerkelijk vraag is. Hierdoor is er geen onnodige (tussen)voorraad en geen overproductie.

Nadelen

Hieronder staan de nadelen, inclusief een korte omschrijving, van Polca opgesomd.

- Polca blokkeert WIP. (Lödding, 2013) (Thürer, Stevenson, & Protzman, 2018)
Alsnog niet alle kaarten aanwezig zijn bij een bepaalde cel, kan de bewerking nog niet starten. Hierdoor kan het zijn dat een cel niks te doen heeft. Dit kan zelfs zo uit de hand lopen, dat geen één cel iets kan doen waardoor er ingegrepen moet worden. Een voorbeeld van zo’n uit de hand gelopen proces is te zien in Appendix C.
- Polca houdt geen rekening met achterstanden. (Lödding, 2013)
Een productiecontrole (zoals polca) heeft de verantwoordelijkheid om dreigende achterstanden te voorkomen en om achterstanden te verminderen die al zijn ontstaan. Dit wordt gedaan door tijdelijk de capaciteit te verhogen. Polca houdt geen rekening met achterstandscontrole en moet dus worden gecombineerd met zo’n controle om een hoge leverbetrouwbaarheid te kunnen garanderen, zelfs als er afwijkingen zijn van het productieplan.
- Route variabiliteit kan niet te hoog zijn (Thürer, Stevenson, & Protzman, 2018) (Lödding, 2013)
Voor elke stap is een POLCA loop nodig. Hoe meer variabiliteit tussen de routes zit, hoe meer (verschillende) stappen, dus hoe meer POLCA loops nodig zijn. In deze

loops moeten een aantal POLCA kaarten circuleren, wat weer kan zorgen voor een hogere WIP. Daarnaast kan veel variabiliteit in de routes zorgen voor blokkades.

2.2.3.3. CONWIP

Allereerst zal er een voorbeeld van een CONWIP proces gegeven worden met behulp van figuur 8. Hierin zal duidelijk worden hoe CONWIP in z'n werk gaat. Daarna zullen de voordelen, nadelen en restricties aan bod komen.

Voorbeeld

Een order (hierna vernoemd als: order C) volgt de route zoals te zien in figuur 8. Order C wacht voor de eerste processtap totdat er een CONWIP kaart vrijkomt. Wanneer een kaart vrijkomt wordt er gekeken welke order (laten we

aannemen dat dat order C is) de hoogste prioriteit heeft en die

wordt gekoppeld aan de kaart. Vervolgens doorloopt order C het proces. Wanneer order C het hele proces heeft doorlopen, gaat de kaart terug naar de eerste stap en, als er een order in de wachtrij staat, wordt gekoppeld aan een nieuwe order anders. Als er geen order in de wachtrij staat, wacht de kaart totdat er een nieuwe order komt.

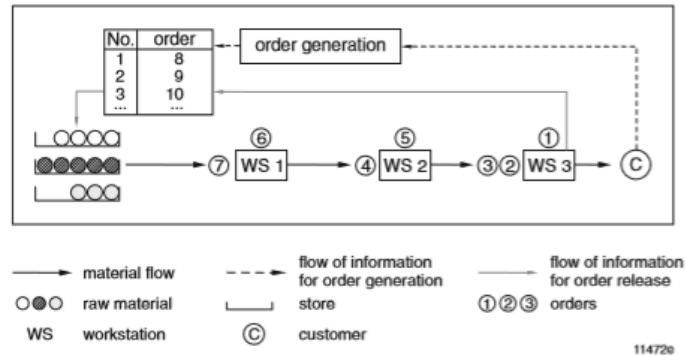


Fig. 18.1 Principle of the CONWIP control

FIGUUR 7: VOORBEELD VAN EEN CONWIP PROCES. (LÖDDING,

Voordelen

Hieronder staan de voordelen, inclusief een korte omschrijving, van CONWIP opgesomd.

- Limiteert de hoogte van de WIP. (Voss & Woodruff, 2003) (Karrer, 2011) (Lödding, 2013) (Trollsford, 2015)

Zoals besproken in sectie 2.2.1, bepaalt het aantal CONWIP-kaarten in een proces, de maximale hoogte van de WIP in dat proces. Doordat de hoogte van de WIP bepaald wordt, blijft de (tussen)voorraad laag. De (tussen)voorraad kan namelijk niet groter worden dan de WIP.

- Veel variatie mogelijk tussen producten. (Spearman, Woodruff, & Hopp, 1990) (Kabadurmus, 2009) (Cheraghi, Dadashzadeh, & Soppin, 2008) (Riezebos, 2009) (Thürer, Stevenson, & Protzman, 2018)

Omdat Kanban kaarten tussen stations heeft is het lastig te gebruiken bij veel variatie in de producten en variatie in de processtappen die producten moeten doorlopen. CONWIP daarentegen, heeft kaarten die het hele proces bij één product/productgroep blijven en is dus makkelijker te gebruiken bij meer variatie dan Kanban. Daarnaast zijn de CONWIP kaarten product-anoniem, net zoals bij POLCA. Wat ervoor zorgt dat er niet meer kaarten nodig zijn bij meer variatie tussen producten.

- Zorgt niet voor een geblokkeerde WIP. (Lödding, 2013)

Geblokkeerde WIP ontstaat doordat producten niet verder kunnen stromen naar een

ander workstation omdat de polca/kanban kaart niet aanwezig is. Hier is geen sprake van bij CONWIP aangezien de kaart het hele proces bij dezelfde order blijft. Zo gauw er plaats is in een cel/workstation mag het product bewerkt worden.

- CONWIP houdt rekening met “Load Balancing” in het algehele proces. (Lödding, 2013)
CONWIP ondersteunt load-balancing in het algehele proces door een aantal kaarten te hebben die aan een order worden gekoppeld.
- CONWIP is de eenvoudigste pull strategie. (Cheraghi, Dadashzadeh, & Soppin, 2008) (Lödding, 2013) (Trollsford, 2015) (Thürer, Stevenson, & Protzman, 2018)
CONWIP gebruikt een minimaal aantal parameters. De enige parameters zijn de release procedure en het aantal CONWIP kaarten.

Nadelen

Hieronder staan de nadelen, inclusief een korte omschrijving, van CONWIP opgesomd.

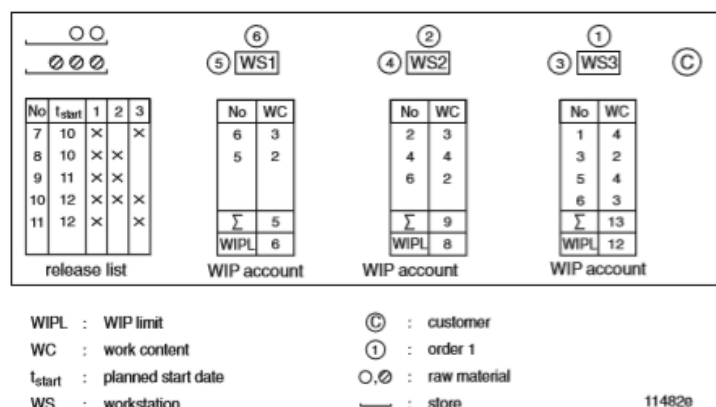
- Houdt geen rekening met achterstanden. (Lödding, 2013)
CONWIP bevat geen component voor het reguleren van achterstanden en moet daarom gecombineerd worden met zo een controle.
- Kan alleen de WIP in het gehele proces regelen, en niet per workstation. (Lödding, 2013)
CONWIP regelt de totale WIP. Als de totale WIP constant is, is het onvermijdelijk dat een hoge WIP op een bepaald workstation (de bottleneck) resulteert in een lagere WIP bij de rest.
- Kan niet gebruikt worden in “pure flow-shop” (Spearman, Woodruff, & Hopp, 1990)

2.2.3.4. Workload Control

Allereerst zal er een voorbeeld van een Workload Control proces gegeven worden met behulp van figuur 9. Hierin zal duidelijk worden hoe WLC in z'n werk gaat. Daarna zullen de voordelen, nadelen en restricties aan bod komen.

Voorbeeld

In figuur 9 is een productieproces te zien met 3 productiecellen (WS1, WS2 en WS3). Onder de productiecellen staat een tabel met de orders (eerste kolom) die al zijn vrijgegeven en die nog bij de desbetreffende cel bewerkt moeten worden. In de tweede kolom staat de hoeveelheid werk in een bepaalde tijdseenheid voor die order bij de desbetreffende cel. De één na laatste rij geeft de som van alle hoeveelheid werk in die cel aan (Σ). In de onderste rij is de limiet voor de WIP aangegeven. Wanneer de totale hoeveelheid werk onder het limiet zit, kan een order



FIGUUR 8: VOORBEELD VAN EEN WORKLOAD CONTROL PROCES. (LÖDDING, 2013)

worden vrijgegeven. Is dit niet het geval kan dit niet. Zoals in figuur 9 te zien is, zit de totale hoeveelheid werk van cel WS2 en WS3 boven het limiet. Orders die door deze één van deze cellen moeten, kunnen daarom niet worden vrijgegeven. In de vrijgave lijst is te zien dat alle openstaande orders of door WS2 of door WS3 moeten. Geen van deze orders kunnen daarom worden vrijgegeven. Als cel WS3 klaar is met de bewerking van order 1, zal de totale hoeveelheid verlagen naar 9 (13-4). Deze zit onder de WIP limiet en er zal dus een order kunnen worden vrijgegeven. De order die kan worden vrijgegeven mag niet door cel WS2 gaan, want deze zit nog boven het limiet. De order met de hoogste prioriteit (eerste startdatum) is order 7. Deze zal daarom wachten bij WS1 totdat deze bewerkt kan worden. Daarnaast wordt de order in de tabel gezet bij WS1 en WS3.

Voordelen

Hieronder staan de voordelen, inclusief een korte omschrijving, van WLC opgesomd.

- Limiteert de hoogte van de WIP. (Lödding, 2013) (Karrer, 2011)
Als de WIP op zijn limiet is, worden er geen orders meer vrijgegeven tot er capaciteit vrijkomt. Hierdoor kan bepaald worden hoe hoog de WIP mag komen.
- Veel variatie mogelijk tussen producten. (Stevenson, Huang, Hendry, & Soepenbergh, 2011)
- WLC houdt rekening met achterstanden. (Lödding, 2013)
WLC zelf houdt geen rekening met achterstanden. Echter kan de capaciteit tijdelijk verhoogd worden als dit ervoor zorgt dat de levertijden gehaald kunnen worden.
- De doorlooptijden per station, en dus de totale doorlooptijden zijn stabiel en voorspelbaar. (Haskose & Worthington, 2004)
Doordat de lengtes van de wachtrijen worden geregeld, zijn de wachttijden stabiel en voorspelbaar. De doorlooptijd bestaat uit de wachttijd en bewerkingstijd. Als de bewerkingstijd ook bekend is zijn de doorlooptijden dus ook stabiel en voorspelbaar.
- Houdt rekening met “load balancing” (Thürer, Stevenson, & Protzman, 2018)
Aangezien in één oogopslag te zien is waar nog capaciteit over is en welke orders vrijgegeven kunnen worden, worden soms orders vrijgegeven die een latere vrijgavedatum hebben dan andere orders.
- Veel verschillende routes mogelijk (Thürer, Stevenson, & Protzman, 2018)
Orders kunnen overal in het proces starten en eindigen. Verder maakt het ook niet uit welke route de orders volgen.
- Veel variabiliteit in bewerkingstijd mogelijk (Thürer, Stevenson, & Protzman, 2018)
Er wordt een werklast over de stations verdeeld, door te kijken naar hoeveel werklast iedere order heeft per station. Aan de hand hiervan worden orders vrijgegeven of niet. Dit principe vangt de variabiliteit in bewerkingstijd op.

Nadelen

Hieronder staan de nadelen, inclusief een korte omschrijving, van WLC opgesomd.

- WLC blokkeert de WIP (Lödding, 2013)
De orders worden geblokkeerd bij het vrijgeven.
- Lastig te implementeren (Land & Gaalman, 1995)

Er zijn veel parameters waar rekening mee gehouden moet worden, waardoor implementatie lastig is.

2.3. Analytisch Hiërarchisch Proces (AHP)

Het Analytisch Hiërarchisch Proces (hierna genoemd als AHP) is een methode die alternatieven vergelijkt. De kern van AHP is dat vergelijking plaatsvindt door middel van paren (paarsgewijze vergelijking).

De eerste stap in AHP is het bouwen van een hiërarchie. Hoe de hiërarchie eruit ziet is te zien in Appendix E. Het bestaat uit:

- Een doel: waarom AHP wordt toegepast
- Criteria: waar het doel aan moet voldoen
- Alternatieven: welke mogelijkheden er zijn om het doel te behalen

De tweede stap is gewichten geven aan de criteria. Dit moet gedaan worden aangezien niet alle criteria even zwaar meetellen. Dit kan worden gedaan door middel van een vergelijkmatrix. Een voorbeeld van zo een matrix is te vinden in Appendix F. De criteria worden één voor één met elkaar vergeleken. Per vergelijking moeten twee keuzes worden gemaakt: welk criterium is belangrijker en hoeveel belangrijker. Het criterium welke belangrijker is krijgt een score tussen de 1 en de 9, de score wordt bepaald aan de hand van hoeveel belangrijker. De betekenis van de scores is te zien in tabel 3. Stel dat criterium A veel belangrijker is dan criterium B, dan is de score A/B 7. Hieruit volgt dat de score B/A $1/7$ is, oftewel het inverse.

Score	Betekenis
9	Extreem veel belangrijker
8	
7	
6	Veel belangrijker
5	
4	Belangrijker
3	
2	Lichtelijk belangrijker
1	
1	Even belangrijk

TABEL 2: SAATY ZIJN PAARSGEWIJZE VERGELIJKINGSSCHAAL (MU & PEREYRA-ROJAS, 2017)

Als alle scores zijn bepaald, worden de prioriteiten berekend. Dit wordt gedaan door eerst de som van iedere kolom naar één te brengen (alle getallen uit de kolom bij elkaar op tellen, getal uit iedere cel delen door de som). Vervolgens wordt de som van iedere rij berekend en die gedeeld door het aantal criteria. Hieruit volgen de prioriteiten per criteria. Een voorbeeld wordt gegeven in Appendix H.

Vervolgens moet worden nagegaan of de gewichten consistent zijn. Dit wordt gedaan met behulp van een consistentie index (CI).

De derde stap is het vergelijken van de alternatieven per criterium. Ook hier wordt gebruik gemaakt van vergelijkingsmatrixen. Een voorbeeld van zo een matrix is gegeven in Appendix 7. Het aantal matrixen hangt af van het aantal criteria. Per criterium is er namelijk 1 matrix. Vervolgens wordt er op dezelfde manier (als in Appendix H) prioriteiten bepaald per alternatief per criterium.

Ook hier moet weer gekeken worden of de prioriteiten consistent zijn. Een klein beetje inconsistent is niet te voorkomen, aangezien de waardes voortkomen uit meningen. Echter mag de inconsistentie niet te hoog worden, anders is het niet meer betrouwbaar.

De vierde, en tevens laatste, stap is de uiteindelijke prioriteit, per alternatief, bepalen. Hier worden de prioriteiten van de criteria en van de alternatieven samengenomen.

De prioriteiten van de criteria worden vermenigvuldigd met de prioriteiten van de alternatieven per criteria. Een voorbeeld hiervan is gegeven in Appendix I.

2.4. Samenvatting

In dit hoofdstuk is onderzoek gedaan naar factoren die de doorlooptijd verkorten. Verder is in dit onderzoek gekeken naar een zevental methodes om de doorlooptijd te verkorten. Er vielen drie methodes af. Van de vier overgebleven methodes zijn voor- en nadelen besproken en voorbeelden gegeven, de belangrijkste voor- en nadelen zijn gegeven in tabel 4. Deze vier methodes worden later in dit onderzoek verder onderzocht door middel van het Analytisch Hiërarchisch Proces. Daarnaast is onderzoek gedaan het Analytisch Hiërarchisch Proces en hoe dit in zijn werk gaat.

Methode	Voordelen	Nadelen
Kanban	• Transparant	• Weinig variatie mogelijk • Blokkeert de productiestroom
Polca	• Maakt gebruik van zowel push als pull • Veel variatie mogelijk • Transparant	• Blokkeert de productiestroom • Lastig te implementeren
CONWIP	• Blokkeert de productiestroom niet • Eenvoudig te implementeren	• Kan de WIP alleen over het hele proces regelen
Workload Control	• Veel variatie mogelijk • Houdt rekening met “load balancing”	• Blokkeert de productiestroom bij de vrijgave • Lastig te implementeren

TABEL 3: BELANGRIJKSTE VOOR- EN NADELEN

3. Huidige situatie

Dit hoofdstuk is omwille geheimhouding weggelaten.

4. Beste methode binnen Bedrijf X

In dit hoofdstuk zal, door middel van AHP, de keuze gemaakt worden welke methode om de doorlooptijd te verlagen het best binnen Bedrijf X past. Allereerst zullen criteria worden opgesteld, aan de hand van deze criteria zullen de vier overgebleven methodes getoetst worden. Dit is terug te vinden in de eerste paragraaf. In paragraaf 2, worden de gewichten voor ieder criterium bepaald. De gewichten geven aan hoe belangrijk ieder criterium is. In paragraaf 3 zullen scores worden gegeven aan de methodes per criterium en in paragraaf 4 zijn de definitieve scores te vinden.

4.1. Criteria

Hieronder staan de gekozen criteria met een uitleg. De onderstaande criteria zijn gekozen door de onderzoeker met behulp van de literatuurstudie en kennis van het proces. Daarna zijn de criteria getoetst bij de begeleiders.

- Hoogte van de WIP
Het doel van dit onderzoek is dan ook onder anderen om de WIP te verlagen. Daarom moet de methode ervoor zorgen dat de WIP verlaagd wordt. Hoe lager de WIP (kan worden), hoe hoger de score.
- Variatie in producten
Zoals te zien is in sectie 3.3. bestaat Product X uit 12 deelproducten. Om de methode te implementeren, moet de methode dus wel een hoog aantal verschillende producten aankunnen. Hoe meer variaties de methode aan kan, hoe hoger de score.
- Variatie in route
Sommige deelproducten hebben dezelfde route door het proces, maar veel hebben een andere route. De route van ieder deelproduct is te zien in de VSM. Omdat er veel verschillende routes zijn, moet de methode kunnen werken met deze verschillende routes. Hoe meer routes mogelijk zijn bij een methode, hoe hoger de score.
- Variatie in de vraag (fluctuaties)
Bij Bedrijf X is de klant koning en gaat men flexibel om met de variaties in de vraag van de klant. Hierdoor kan het wel eens voorkomen dat er een order wordt veranderd of wordt geannuleerd. Dit zou moeten kunnen met de methode die wordt geïmplementeerd. Hoe beter de methode om kan gaan met variatie in de vraag, hoe hoger de score.
- Veroorzaken blokkades
Bij een pull strategie moet er een pull signaal komen om te kunnen starten met een bewerking, echter als dit pull signaal niet komt, kan een werkstation niks doen. Hierdoor kan het wel eens zijn dat ze niks kunnen doen. Dit kan soms zelfs zo ver gaan dat een proces vastloopt. Een voorbeeld van zo'n proces is te zien in appendix C. Hoe erger de blokkades zijn die veroorzaakt worden, hoe lager de score.
- Variabiliteit in bewerkingstijden
Zoals te lezen is in hoofdstuk 2, kunnen niet alle methodes evengoed overweg met variabiliteit in bewerkingstijden. Om deze reden is dit criterium toegevoegd. Hoe beter de methode om kan gaan met variabiliteit in bewerkingstijden, hoe hoger de score.

- Transparantie

Transparantie gaat over hoe makkelijk het proces te overzien is. Onder transparantie valt of het makkelijk te zien is hoe hoog de WIP op dat moment is, maar ook of er ergens in het proces een probleem is. Een probleem zou bijvoorbeeld kunnen zijn dat een machine stilstaat omdat het reparatie nodig heeft. Hoe hoger de transparantie, hoe hoger de score.

- Eenvoudig te implementeren

Hoe eenvoudiger de methode is om te implementeren, hoe lager de kosten voor de implementatie zijn. Als de kosten te hoog zijn, zal het eerder voorkomen dat Bedrijf X niet de urgentie ziet om de methode te implementeren.

4.2. Gewichten criteria

Hieronder wordt aan ieder criterium uit 5.2.1. een gewicht gegeven. Hoe hoger het gewicht, hoe belangrijker het criterium. De gewichten zijn opgebouwd door middel van AHP.

Medewerkers die veel verstand hebben van het proces van Product X hebben de criteria paarsgewijs met elkaar vergeleken, hieruit zijn de gewichten uit tabel 9 gekomen. Van de gewichten is het gewogen gemiddelde genomen.

	Productiemedewerker	Manufacturing engineer	Planner	Gewogen gemiddelde	
Hoogte WIP	0,081	0,133	0,142	0,119	
Variatie producten	0,055	0,081	0,223	0,120	
Variatie route	0,154	0,032	0,179	0,122	
Variatie in de vraag	0,129	0,26	0,017	0,135	
Veroorzaken blokkades	0,07	0,27	0,02	0,120	
Variatie in bewerkingstijden	0,06	0,07	0,087	0,072	
Transparantie	0,25	0,07	0,251	0,190	
Eenvoudig	0,21	0,26	0,08	0,183	

TABEL 4: GEWICHTEN

4.3. Scores

Om de scores van de methodes per criteria te bepalen, wat wordt gedaan met AHP, moet allereerst paarsgewijze vergelijkingen gemaakt worden. Dit wordt gedaan in 4.3.1. Nadat deze vergelijkingen zijn gemaakt, moeten de prioriteiten van de methodes bepaald worden. Dit is te vinden in 4.3.2.

4.3.1. Paarsgewijs vergelijken

Hieronder is per criteria een tabel waarin de verschillende methodes met elkaar worden vergeleken. De waardes zijn ontstaan door middel van de literatuur en overleg met het personeel van Bedrijf X. Onder iedere tabel staat een korte uitleg over hoe aan de scores is gekomen.

Hoogte van de WIP	Kanban	Polca	CONWIP	WLC
Kanban	1	1/5	1/3	1/7
Polca	5	1	3	1/3
CONWIP	3	1/3	1	1/5
WLC	7	3	5	1

Zoals te lezen is in de literatuurstudie (zie 2.3), kunnen alle methodes een limiet op de WIP zetten. Echter kan de een het beter dan de ander. Kanban bijvoorbeeld, kan een limiet op de WIP zetten door middel van het aantal Kanban-kaarten. Alleen naar mate het aantal varianten groter wordt, wordt het aantal kaarten ook groter, aangezien er minimaal één kaart nodig is per variant omdat de kaarten product-specifiek zijn. Als het aantal kaarten groter wordt, wordt het minimale limiet ook hoger.

Ter illustratie: in de bovenstaande tabel staat in de eerste rij en eerste kolom het criterium waar de tabel over gaat. Verder staat in de tweede rij (Kanban) en de tweede kolom (Kanban) het getal 1. Dit betekent dat de rij, in dit geval Kanban, even goed de hoogte van de WIP kan bepalen als de kolom, in dit geval ook Kanban. In de derde rij (Polca) en de tweede kolom (Kanban) staat het getal 5, dit betekent dat Polca beter de hoogte van de WIP kan bepalen dan Kanban. In de vierde rij (CONWIP) en tweede kolom (Kanban) staat het getal 3. Dit betekent dat CONWIP de hoogte van de WIP beter kan bepalen dan Kanban, maar minder goed dan Polca. De tweede conclusie volgt uit het feit dat Polca 5 keer zo goed is dan Kanban en CONWIP 'maar' 3 keer zo goed. In de vijfde rij (WLC) en de tweede kolom (Kanban) staat het getal 7, wat betekent dat WLC beter is dan Kanban in het bepalen van de WIP. Daarnaast is WLC ook beter dan Polca en CONWIP in het bepalen van de WIP. In de tweede rij (Kanban) en derde kolom (Polca) staat het getal 1/5. Dit volgt uit het getal 5 wat in de derde rij en tweede kolom stond, waar Polca met Kanban vergeleken werd. Aangezien nu Kanban met Polca verleden wordt, is deze waarde het inverse. Zo wordt de tabel verder ingevuld.

Kortom, als er in een cel een geheel getal staat (3,5,7) dan is de methode in bijbehorende rij beter met betrekking tot het criterium dan de methode in bijbehorende kolom. Als er in een cel een getal tussen de 0 en de 1 staat (1/3, 1/5, 1/7) dan is de methode in de bijbehorende rij minder goed dan de methode in bijbehorende kolom. Als er in een cel de waarde 1 staat, dan zijn de methodes in de bijbehorende rij en kolom even goed.

Variatie in Producten	Kanban	Polca	CONWIP	WLC
Kanban	1	1/7	1/5	1/7
Polca	7	1	3	1
CONWIP	5	1/3	1	1/3
WLC	7	1	3	1

Omdat de Kanban-kaarten product-specifiek zijn, kunnen er niet te veel producten geproduceerd worden binnen een Kanban systeem. Kanban is vooral voor make-to-stock productie. Een CONWIP-kaart is product-anonieme kaart, dit betekend dat de kaart niet gekoppeld is aan een specifiek product. Hierdoor kan CONWIP meer variatie in producten aan dan Kanban. Polca en WLC zijn beide geschikt voor make-to-order productie, waardoor deze methodes het best scoren.

Variatie in route	Kanban	Polca	CONWIP	WLC
Kanban	1	1/5	1/3	1/7
Polca	5	1	3	1/3
CONWIP	3	1/3	1	1/5
WLC	7	3	5	1

Kanban kan niet te veel variatie in de route hebben. Dit komt doordat iedere stap gerepresenteerd moet worden door een kaart (Kanban-kaart). Dit zorgt weer voor een hogere WIP limiet. Bij CONWIP moeten alle producten bij hetzelfde station beginnen en alle producten moeten bij hetzelfde station eindigen, dit komt doordat de CONWIP-kaart bij het eerste station aan het product vast wordt gemaakt en bij het laatste station van het product los wordt gemaakt. Bij CONWIP is dus meer variatie in route mogelijk dan Kanban. Polca is beter te beheersen met meer variatie in de route dan CONWIP, hierdoor scoort Polca hoger dan CONWIP. WLC kan oneindig veel verschillende routes hebben, hierdoor scoort deze het best op dit criterium.

Variatie in vraag	Kanban	Polca	CONWIP	WLC
Kanban	1	1/5	1/3	1/7
Polca	5	1	3	1/3
CONWIP	3	1/3	1	1/5
WLC	7	3	5	1

Kanban kan niet goed omgaan met variatie in de vraag. CONWIP en Polca kunnen beide redelijk goed overweg met variatie in de vraag, echter is CONWIP moeilijker te beheersen dan Polca. Bij WLC daarentegen maakt variatie weinig tot niets uit.

Variatie in bewerkingstijden	Kanban	Polca	CONWIP	WLC
Kanban	1	1/5	1/3	1/7
Polca	5	1	3	1/3
CONWIP	3	1/3	1	1/5
WLC	7	3	5	1

Doordat WLC gebruik maakt van load balancing, kan deze het best omgaan met variatie in bewerkingstijden. Kanban kan het slechtst met variatie (in bewerkingstijden) omgaan. En Polca is beter te beheersen met meer variatie in bewerkingstijden dan CONWIP.

Veroorzaken blokkades	Kanban	Polca	CONWIP	WLC
Kanban	1	3	1/5	1/3
Polca	1/3	1	1/7	1/5
CONWIP	5	7	1	3
WLC	3	5	1/3	1

Het nadeel van Polca is dat het blokkades in het proces kan veroorzaken. Dit komt doordat er zoveel eisen nodig zijn om te mogen starten met een bewerking. Kanban kan ook blokkades in een proces veroorzaken, maar minder snel. WLC blokkeert orders bij de vrijgave, nadat ze zijn vrijgegeven kunnen ze niet meer geblokkeerd worden. CONWIP blokkeert geen orders, vandaar dat deze het best scoort.

Transparantie	Kanban	Polca	CONWIP	WLC
Kanban	1	1/3	5	3
Polca	3	1	7	5
CONWIP	1/5	1/7	1	1/3
WLC	1/3	1/5	3	1

Bij CONWIP is alleen de WIP van het hele proces te zien. Daarnaast zijn problemen lastig (snel) te zien aangezien als een werkstation een probleem heeft, andere werkstations wel verder kunnen. Bij Kanban is in één oogopslag te zien hoe hoog de WIP is op ieder werkstation. Echter, doordat Kanban gebruik maakt van tussenvoorraad, is niet heel snel een probleem te zien. Polca-kaarten hebben een kaart-gebonden serienummer, waardoor de kaarten traceerbaar zijn. Hierdoor is het mogelijk om te zien welke kaart bij welke cel is en

dus hoe hoog de WIP bij iedere cel is. Bij Polca is een probleem snel zichtbaar, omdat als cellen wachten op kaart van een cel waar een probleem is, ze niet verder kunnen. Hierdoor kan het hele proces vastlopen, als dit gebeurt heeft het probleem oplossen de hoogste prioriteit, waardoor dit snel zal gebeuren.

Eenvoudig	Kanban	Polca	CONWIP	WLC
Kanban	1	3	1/5	3
Polca	1/3	1	1/7	1
CONWIP	5	7	1	7
WLC	1/3	1	1/7	1

CONWIP is de eenvoudigste methode, dit komt doordat er zo weinig parameters zijn. Polca en WLC daarentegen zijn de lastigste methodes om te implementeren, doordat zij juist veel parameters hebben. Kanban zit ertussen in, maar is vergeleken met CONWIP nog redelijk ingewikkeld.

4.3.2. Prioriteiten methodes

De eerste stap om de prioriteiten te bepalen is om paarsgewijs te vergelijken. Dit is gedaan in 4.3.1. De tweede stap is om de som van iedere kolom te bepalen en vervolgens deze som naar 1 te brengen. Hieronder is één voorbeeld te zien met de hoogte van de WIP. Daarna is de som van de kolom meteen naar 1 gehaald. Dit is hieronder te zien.

Som kolom bepalen:

Bijvoorbeeld de tweede kolom: $1 + 5 + 3 + 7 = 16$

Hoogte van de WIP	Kanban	Polca	CONWIP	WLC
Kanban	1	1/5	1/3	1/7
Polca	5	1	3	1/3
CONWIP	3	1/3	1	1/5
WLC	7	3	5	1
Som	16	4,53	9,33	1,68

Som kolom naar 1:

Bijvoorbeeld cel in de tweede rij, tweede kolom: $1/16 = 0,063$

Bijvoorbeeld cel in de tweede rij, derde kolom: $0,2/4,53 = 0,044$

Hoogte van de WIP	Kanban	Polca	CONWIP	WLC
Kanban	0,063	0,044	0,036	0,085

Polca	0,313	0,221	0,321	0,199
CONWIP	0,188	0,074	0,107	0,119
WLC	0,438	0,662	0,536	0,597

Score:

Bijvoorbeeld de tweede rij: $(0,063 + 0,044 + 0,036 + 0,085) / 4 = 0,057$

Hoogte van de WIP	Kanban	Polca	CONWIP	WLC	Score
Kanban	1	1/5	1/3	1/7	0,057
Polca	5	1	3	1/3	0,264
CONWIP	3	1/3	1	1/5	0,122
WLC	7	3	5	1	0,558

Scores per methode per criteria:

	Kanban	Polca	CONWIP	WLC
Hoogte WIP	0,057	0,264	0,122	0,558
Variatie producten	0,049	0,394	0,165	0,394
Variatie route	0,057	0,264	0,122	0,558
Variatie in de vraag	0,057	0,264	0,122	0,558
Veroorzaken blokkades	0,122	0,057	0,558	0,264
Variatie in bewerkingstijden	0,057	0,264	0,122	0,558
Transparantie	0,264	0,558	0,057	0,122
Eenvoudig	0,194	0,078	0,647	0,078

4.4. De methode

In de onderstaande tabel staan de prioriteiten per criteria, de scores voor iedere methode per criteria en de uiteindelijke prioriteiten per methode. De uiteindelijke prioriteiten zijn berekend door de score te vermenigvuldigen prioriteit, voor elk criterium, en die bij elkaar optellen.

	Gewicht	Kanban	Polca	CONWIP	WLC
Hoogte WIP	0,119	0,057	0,264	0,122	0,558
Variatie producten	0,120	0,049	0,394	0,165	0,394
Variatie route	0,122	0,057	0,264	0,122	0,558
Variatie in de vraag	0,135	0,057	0,264	0,122	0,558
Veroorzaken blokkades	0,120	0,122	0,057	0,558	0,264
Variatie in bewerkingstijden	0,072	0,057	0,264	0,122	0,558
Transparantie	0,190	0,264	0,558	0,057	0,122
Eenvoudig	0,183	0,194	0,078	0,647	0,078
Prioriteit		0,132	0,293	0,271	0,366

Uit de prioriteiten volgt dat WLC de beste methode is binnen Bedrijf X. Daarna Polca en CONWIP en als laatste Kanban. Dat Kanban als laatste zou eindigen was te verwachten, aangezien in het productieproces van Product X veel variatie zit. De Kanban methode is niet geschikt voor een proces met veel variatie. Dat WLC boven Polca en CONWIP is geëindigd, is te verklaren. Dit komt namelijk, omdat WLC beter om kan gaan met variatie. Workload Control is namelijk ontworpen voor processen met veel variatie.

In de bovenstaande tabel is het gewogen gemiddelde genomen van de gewichten die de werknemers gaven. Als we kijken per werknemer wat de prioriteiten per methode zijn dan komen we op het volgende:

Methode	Prioriteit productiemedewerker	Prioriteit Manufacturing engineer	Prioriteit planner
Kanban	0,142	0,122	0,120
Polca	0,296	0,279	0,348
CONWIP	0,246	0,309	0,166
WLC	0,327	0,467	0,367

Zoals te zien verschilt het niet erg van elkaar, Kanban is bij alle drie de slechtst toepasbare methode. Daarna Polca en CONWIP. Workload Control is bij alle drie de best toepasbare methode.

4.5 Samenvatting hoofdstuk 4

In dit hoofdstuk is door middel van het Analytisch Hiërarchisch Proces bepaald welke methode het best past bij Bedrijf X. Dit is gedaan door eerst criteria te bepalen waaraan de methode moet voldoen. De volgende criteria zijn bepaald:

- Hoogte van de wip
- Variatie in producten
- Variatie in route
- Variatie in de vraag
- Variatie in bewerkingstijden
- Veroorzaken blokkades
- Transparantie
- Eenvoudig (te implementeren)

Omdat de methode niet aan iedere methode kan voldoen, is met behulp van input van medewerkers bepaald welke gewichten de criteria kregen. De gewichten bepalen hoe belangrijk ieder criterium is. Hoe hoger het gewicht, hoe belangrijker. Daarna is door middel van paargewijze vergelijkingen scores gegeven aan de methodes met betrekking tot een criterium. Met behulp van de gewichten en scores zijn de prioriteiten bepaald. De gewichten, scores en prioriteiten zijn terug te vinden in de onderstaande tabel.

	Gewicht	Kanban	Polca	CONWIP	WLC
Hoogte WIP	0,119	0,057	0,264	0,122	0,558
Variatie producten	0,120	0,049	0,394	0,165	0,394
Variatie route	0,122	0,057	0,264	0,122	0,558
Variatie in de vraag	0,135	0,057	0,264	0,122	0,558
Veroorzaken blokkades	0,120	0,122	0,057	0,558	0,264
Variatie in bewerkingstijden	0,072	0,057	0,264	0,122	0,558
Transparantie	0,190	0,264	0,558	0,057	0,122
Eenvoudig	0,183	0,194	0,078	0,647	0,078
Prioriteit		0,132	0,293	0,271	0,366

Uit de tabel volgt dat Workload Control (WLC) de best toepasbare methode is, deze heeft namelijk de hoogste prioriteit (0,366).

5. Conclusie, aanbevelingen & discussie

In dit hoofdstuk wordt de conclusie van het onderzoek gegeven. Daarna worden aanbevelingen met betrekking tot doorlooptijdverkortening benoemd. Tot slot wordt in de discussie de beperkingen van dit onderzoek besproken.

5.1. Conclusie

Dit onderzoek legt de focus op doorlooptijdverlaging. Hieronder worden de belangrijkste vondsten per deelvraag behandeld. Tot slot zal antwoord worden gegeven op de hoofdvraag.

1. Hoe ziet de huidige situatie eruit?

weggelaten wegens privacy

2. Wat zijn de oorzaken van een te hoge doorlooptijd?

weggelaten wegens privacy

3. Wat zijn de methodes om de doorlooptijd te verkorten?

Door middel van literatuurstudie zijn methodes onderzocht. Met dank aan de literatuurstudie en het feit dat de WIP te hoog is, zijn de volgende vier methodes overgebleven:

- **Kanban:** Kanban is een methode welke berust op kaarten. Elk werkstation heeft een bepaald aantal kaarten welke de hoogte van de WIP weergeeft. De kaarten zijn voor een specifiek product. Dit is een nadeel van Kanban aangezien het ervoor zorgt dat Kanban niet goed werkt wanneer er veel variatie zit in de producten. Een bewerking binnen een Kanban systeem mag pas beginnen wanneer er een vrije kaart is.
- **Polca:** Polca berust ook op kaarten, echter niet per werkstation. De kaarten circuleren tussen twee werkstations, ook wel een loop genoemd. De hoogte van de WIP wordt dan ook per loop bepaald. De bewerking binnen een Polca systeem mag pas beginnen wanneer er een kaart is van de loop met het vorige werkstation, een kaart van de loop met het volgende werkstation en de autorisatietijd moet verstreken zijn.
- **CONWIP:** Ook CONWIP berust op kaarten, deze kaarten gaan het gehele proces met de order mee. De WIP wordt dan ook over het hele proces bepaald. Een bewerking binnen een CONWIP systeem mag beginnen wanneer er een kaart vrij is.
- **Workload Control (WLC):** Workload Control daarentegen is niet gebaseerd op kaarten maar zet een WIP limiet op ieder werkstation. Bij de vrijgave van een order, wordt er eerst gekeken naar de route die de order doorloopt. Als in deze route een werkstation zit waar de WIP al over het limiet is, wordt de order nog niet vrijgegeven. Pas als de WIP van dat werkstation onder het limiet zit, mag die order worden weergegeven.

4. Welke methode om de doorlooptijd te verkorten past het best binnen Bedrijf X?

In de onderstaande tabel zijn de prioriteiten te vinden van iedere methode. Deze prioriteiten zijn bepaald met behulp van het Analytisch Hiërarchisch Proces. Hierbij wordt gebruik gemaakt van criteria waaraan de methode moet voldoen.

Zoals te zien is heeft WLC de hoogste prioriteit, dit is dan ook de methode die het best past binnen Bedrijf X. Deze methode zorgt door middel van een limiet te zetten op de WIP per werkstation, dat de WIP niet te hoog wordt. Ook kan deze methode veel variabiliteit aan, zoals verschillende producten, bewerkingstijden en routes. Dit is nodig aangezien bij Bedrijf X veel verschillende producten geproduceerd worden, welke allemaal verschillende bewerkingstijden en routes hebben.

Hoe is het productie proces van Product X op dit moment georganiseerd en hoe kan de doorlooptijd worden verkort?

Het productieproces van Product X is nog lang niet perfect georganiseerd. De WIP is te hoog en de doorlooptijd is langer dan de werknemers denken. Daarnaast is het planproces niet optimaal waardoor producten lang moeten wachten. De indeling is daarentegen wel goed opgebouwd, aangezien de producten in een cirkel door het bedrijf gaan en dus niet onnodig ver verplaatst moeten worden.

De doorlooptijd kan worden verkort door gebruik te maken van een methode om het productieproces systematischer te plannen. De methode die het best scoort uit dit onderzoek is Workload Control.

	Gewicht	Kanban	Polca	CONWIP	WLC
Hoogte WIP	0,119	0,057	0,264	0,122	0,558
Variatie producten	0,120	0,049	0,394	0,165	0,394
Variatie route	0,122	0,057	0,264	0,122	0,558
Variatie in de vraag	0,135	0,057	0,264	0,122	0,558
Veroorzaken blokkades	0,120	0,122	0,057	0,558	0,264
Variatie in bewerkingstijden	0,072	0,057	0,264	0,122	0,558
Transparantie	0,190	0,264	0,558	0,057	0,122
Eenvoudig	0,183	0,194	0,078	0,647	0,078
Prioriteit		0,132	0,293	0,271	0,366

5.2. Aanbeveling

Deze paragraaf is omwille geheimhouding weggelaten

5.3. Discussie

Het onderzoek vond plaats in een periode van tien weken, in dit tijdsbestek was het niet mogelijk om bepaalde aspecten (uitvoerig) te onderzoeken.

- Tijdens dit onderzoek is gebruik gemaakt van data van scanacties. Deze scanacties hebben in principe na iedere bewerking plaatsgevonden, echter kwamen er soms wat rare resultaten uit. Dit zal betekenen dat de scanacties niet altijd op de goede momenten hebben plaatsgevonden. Daarnaast is de duur tussen het picken en de eerste scanactie bepaald aan de hand van data en de aanname dat tussen de vrijgave en picken altijd twee dagen zit.
- Tijdens het onderzoek is gebruik gemaakt van literatuurstudie om de methodes te onderzoeken. Het kan zijn dat goed bruikbare methodes over het hoofd zijn gezien en deze dus ook niet zijn meegenomen in het verdere onderzoek.
- Om een uiteindelijke keuze te maken is gebruik gemaakt van het Analytisch Hiërarchisch Proces, hierbij moesten gewichten aan criteria worden gegeven. Deze zijn aan de hand van een gewogen gemiddelde van enkele werknemers bepaald. Helaas hebben niet alle werknemers gewichten gegeven aan de criteria, waardoor de gewichten van maar twee werknemers zijn gebruikt.
- Het criterium “veroorzaken van blokkades” wordt in dit onderzoek gezien als een slechte eigenschap. Echter kan het veroorzaken van blokkades ervoor zorgen dat een probleem binnen een productieproces (bijvoorbeeld een defecte machine) snel(ler) zichtbaar is.

Bibliografie

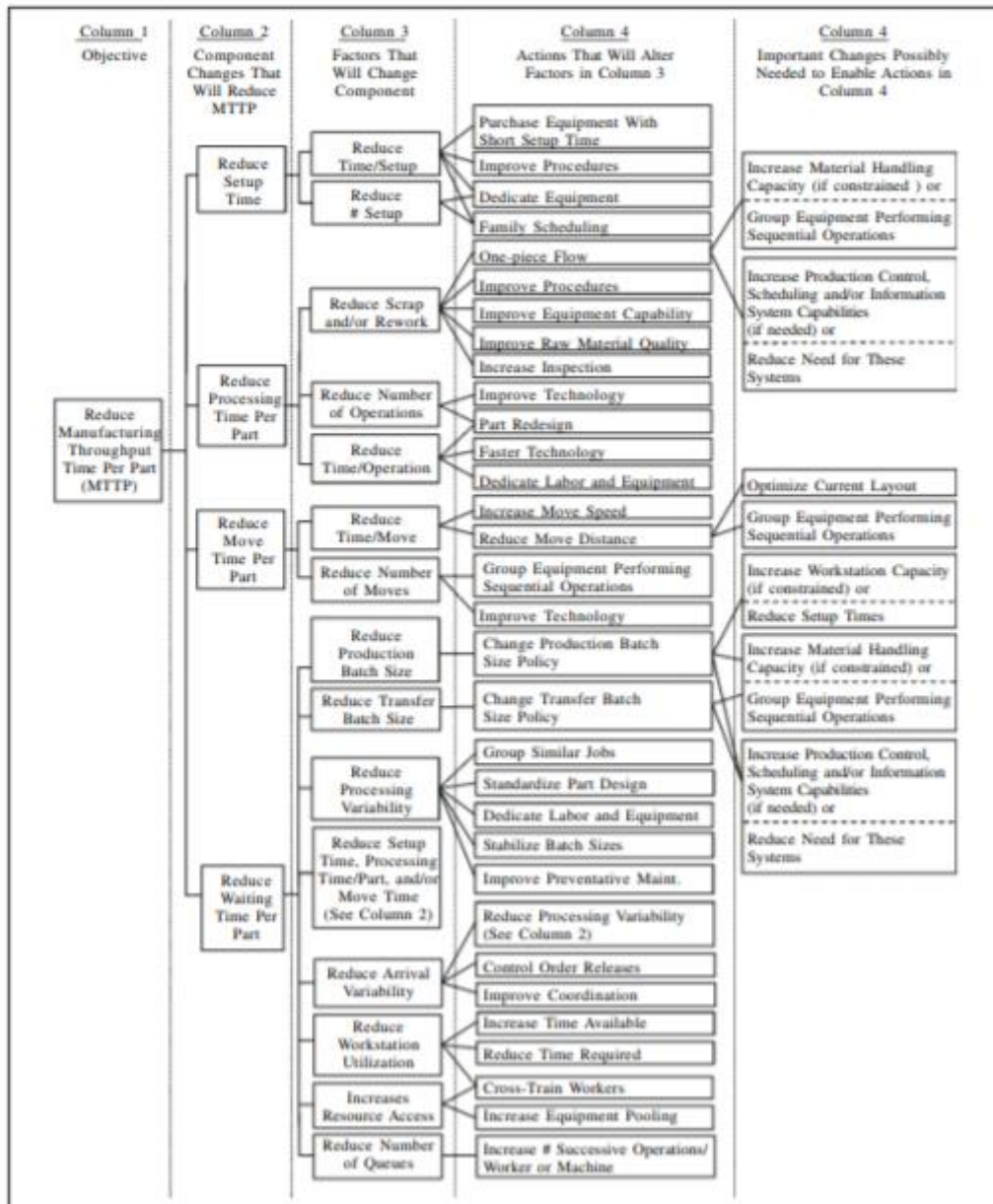
- Bali, B. (2003). *Kanban Systems: The Stirling Engine Manufacturing Cell*.
- Cheraghi, S., Dadashzadeh, M., & Soppin, M. (2008). Comparative Analysis Of Production Control Systems Through Simulation. *Journal of Business & Economics Research* , 87-104.
- Cooper, D., & Schindler, P. (2011). *Business Research Methods*. McGraw-Hill.
- Fernandes, F., & Filho, M. (2011). Production control systems: Literature review, classification, and insights regarding practical application. *African Journal of Business Management* , 5573-5582.
- Germes, R., & Riezebos, J. (n.d.). Workload Balancing Capability of Pull Systems in MTO Production.
- Goldratt, E. (2012). *De zwakste schakel*.
- Goldratt, E., & Cox, J. (2013). *Het doel*.
- Haskose, A. K., & Worthington, D. (2004). Performance analysis of make-to-order manufacturing systems under different workload control regimes. *International Journal of Production Economics*, 169-186.
- Hopp, W., & Spearman, M. (2011). *Factory Physics*. Waveland Press.
- Hopp, W., Spearman, M., & Woodruff, D. (1990). Practical strategies for lead time reduction.
- Jaegler, Y., Burlat, P., & Lamouri, S. (2016). The ConWip Production Control System: a Literature Review.
- Johnson, D. (2003). A framework for reducing manufacturing throughput time. *Journal of manufacturing systems*, 283-298.
- Johnson, D. (2003). A Framework for Reducing Manufacturing Throughput Time. *Journal of Manufacturing Systems*, 283-298.
- Junior, M., & Filho, M. (2010). Variations of the kanban system: Literature review and classification. *International Journal of Production Economics*, 13-21.
- Kabadurmus, O. (2009). A COMPARATIVE STUDY OF POLCA AND GENERIC CONWIP PRODUCTION CONTROL SYSTEMS IN ERRATIC DEMAND CONDITIONS . *IIE Lean Division - Lean Student Paper Competition*.
- Karrer, C. (2011). *ENGINEERING PRODUCTION CONTROL STRATEGIES FOR COMPLEX DISCRETE MANUFACTURING* –. Berlijn.
- Land, M., & Gaalman, G. (1995). Workload control concepts in job shops: a critical assessment.
- Little, J., & Graves, S. (2008). Little's Law. In D. Chhadjed, & T. Lowe, *Building Intuition* (pp. 81-100).
- Lödding, H. (2013). *Handbook of Manufacturing Control*. Springer.

- Lödding, H. (2013). *Handbook of Manufacturing Control: fundamentals, Description, Configuration*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Mu, E., & Pereyra-Rojas, M. (2017). Understanding the Analytic Hierarchy Process. In *Practical Decision Making* (pp. 7-22). Springer.
- Naufal, A., Jaffar, A., Yusoff, N., & Hayati, N. (2012). Development of Kanban System at Local Manufacturing Company in Malaysia—Case Study. *Procedia Engineering*, 1721-1726.
- Pieffers, J., & Riezebos, J. (2006). *Polca als innovatief materiaalbeheersingssysteem*. Groningen.
- Riezebos, J. (2009). Design of POLCA Material Control Systems. *International Journal of Production Research*, 1455-1477.
- Rohani, J., & Zahraee, S. (2015). Production line analysis via value stream mapping: a lean manufacturing process of color industr. *Procedia Manufacturing*, 6-10.
- Rohani, J., & Zahraee, S. (2015). Production line analysis via value stream mapping; a lean manufacturing process of color industry. *Procedia manufacturing*, 6-10.
- Saaty, T. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal Services Sciences*, 83-98.
- Slack, N., Chambers, S., & Johnston, R. (2010). *Operations management*. Pearson education limited.
- Slack, N., Chambers, S., & Johnston, R. (2010). *Operations management*. Harlow: Pearson education limited.
- Spearman, M., Woodruff, D., & Hopp, W. (1990). Conwip: A pull Alternative to Kanban. *International Journal of Production Research*, 879-894.
- Spearman, M., Woordruff, D., & Hopp, W. (1990). CONWIP: a pull alternative to kanban. *International journal of production research*, 879-894.
- Stevenson, M., Huang, Y., Hendry, L., & Soepenber, E. (2011). The theory of practice of workload control: A research agenda and implementation strategy. *Int. J. Production Economics*, 689-700.
- Sundar, R., Balaji, A., & SatheeshKumar, R. (2014). A Review on Lean Manufacturing Implementation Techniques. *Procedia Engineering*, 1875-1885.
- Suri, R. (1998). *Quick response manufacturing: a companywide approach to reducing lead times*. CRC Press.
- Suri, R. (2003). *QRM and POLCA: A Winning Combination for Manufacturing Enterprises in the 21st Century*. Madison.
- Suri, R. (2003). *QRM and POLCA: A Winning Combination for Manufacturing Enterprises in the 21st Century*. Madison.

- Thürer, M., Stevenson, M., & Protzman, C. (2018). Card-Based Production Control: A Review of the Control Mechanisms Underpinning Kanban, ConWIP, POLCA and COBACABANA Systems.
- Thürer, M., Stevenson, M., & Protzman, C. (2018). Card-Based Production Control: A Review of the Control Mechanisms Underpinning Kanban, ConWIP, POLCA and COBACABANA Systems.
- Toolshero*. (2018, Juli 2). Retrieved from <https://www.toolshero.com/wp-content/uploads/2017/07/analytic-hierarchy-process-model-ahp-toolshero.jpg>
- Trollsford, P. (2015). Just-in-time Production: A comparison of Kanban and CONWIP.
- Voss, S., & Woodruff, D. (2003). *Introduction to computational optimization models for production planning in a supply chain*. Berlin: Springer.

Appendices

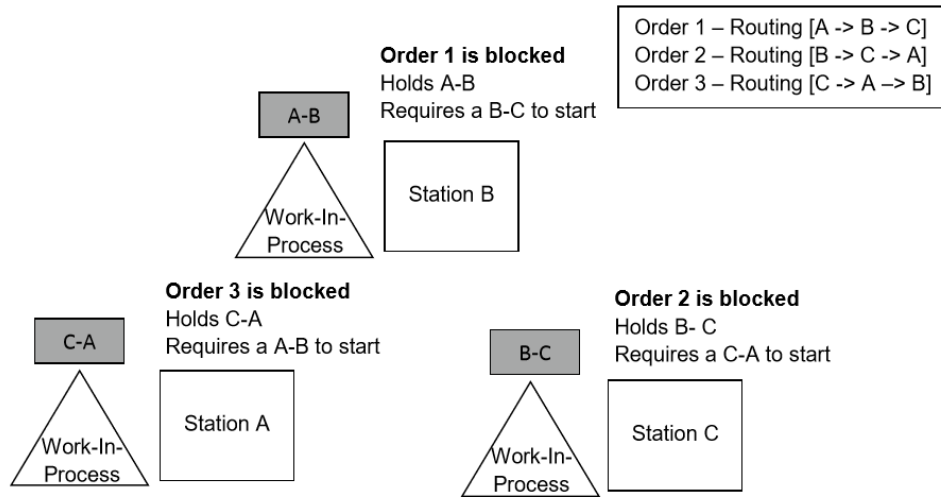
Appendix A



Doorlooptijd verlagingen geraamte (Johnson, 2003)

Appendix B
Wegens privacy weggelaten

Appendix C



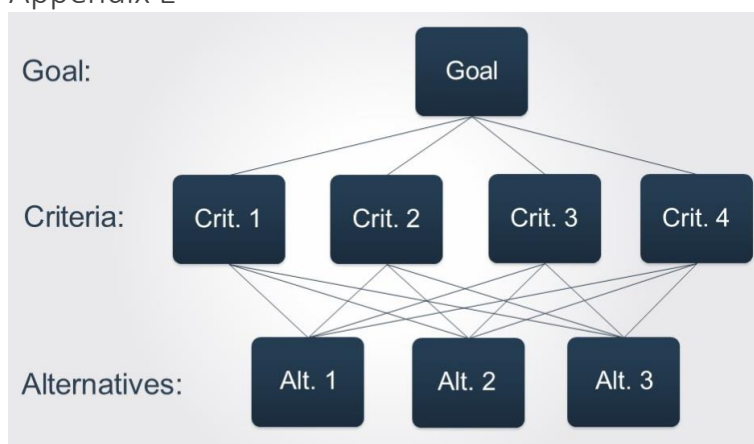
(Thürer, Stevenson, & Protzman, 2018)

Appendix D

	<i>Flexibility</i>	<i>Opportunities</i>	<i>Security</i>	<i>Reputation</i>	<i>Salary</i>	<i>Priorities</i>
Flexibility	1	1/4	1/6	1/4	1/8	0.036
Opportunities	4	1	1/3	3	1/7	0.122
Security	6	3	1	4	1/2	0.262
Reputation	4	1/3	1/4	1	1/7	0.075
Salary	8	7	2	7	1	0.506

(Saaty, 2008)

Appendix E



(Toolshero, 2018)

Appendix F

Doel	Criteria 1	Criteria 2	Criteria 3
Criteria 1			
Criteria 2			
Criteria 3			

Appendix G

Criteria	Alternatief 1	Alternatief 2	Alternatief 3
Alternatief 1			
Alternatief 2			
Alternatief 3			

Appendix H

Scores onderverdelen:

Doel	Criteria 1	Criteria 2	Criteria 3
Criteria 1	1	7	3
Criteria 2	1/7	1	1/3
Criteria 3	3	3	1

Som van iedere kolom bepalen:

Doel	Criteria 1	Criteria 2	Criteria 3
Criteria 1	1	7	3
Criteria 2	1/7	1	1/3
Criteria 3	3	3	1
Som	1,476	11	4,33

Som van iedere kolom naar 1:

Doel	Criteria 1	Criteria 2	Criteria 3
Criteria 1	0,677	0,636	0,692
Criteria 2	0,097	0,091	0,077
Criteria 3	0,226	0,273	0,231

Prioriteiten bepalen:

Doel	Criteria 1	Criteria 2	Criteria 3	Prioriteiten
------	------------	------------	------------	--------------

Criteria 1	0,677	0,636	0,692	0,669
Criteria 2	0,097	0,091	0,077	0,088
Criteria 3	0,226	0,273	0,231	0,243

Hoe de resultaten uiteindelijk gepresenteerd worden:

Doel	Criteria 1	Criteria 2	Criteria 3	Prioriteiten
Criteria 1	1	7	3	0,669
Criteria 2	1/7	1	1/3	0,088
Criteria 3	3	3	1	0,243

Appendix I

Stel dat de prioriteiten per alternatief per criteria als volgt zijn:

	Criteria 1	Criteria 2	Criteria 3
Alternatief 1	0,4	0,1	0,5
Alternatief 2	0,25	0,3	0,45
Alternatief 3	0,35	0,5	0,15

De prioriteiten per criteria worden in de tabel toegevoegd (de prioriteiten komen uit het voorbeeld uit Appendix 8):

	Criteria 1	Criteria 2	Criteria 3
Prioriteit	0,669	0,088	0,243
Alternatief 1	0,4	0,1	0,5
Alternatief 2	0,25	0,3	0,45
Alternatief 3	0,35	0,5	0,15

De prioriteiten van de criteria worden vermenigvuldigd met de criteria per alternatief per criteria. Hieruit volgt de definitieve prioriteit. Voor alternatief wordt de volgende formule gebruikt: $0,669 \cdot 0,4 + 0,088 \cdot 0,1 + 0,243 \cdot 0,5 = 0,3979$

	Criteria 1	Criteria 2	Criteria 3	Definitieve prioriteit
Prioriteit	0,669	0,088	0,243	
Alternatief 1	0,4	0,1	0,5	0,3937
Alternatief 2	0,25	0,3	0,45	0,303

Alternatief 3	0,35	0,5	0,15	0,3146
---------------	------	-----	------	---------------

Hier is te zien dat alternatief 1 de hoogste prioriteit heeft, alternatief 2 de laagste en alternatief 3 zit er tussenin.

Appendix J

Som kolom bepalen:

Hoogte van de WIP	Kanban	Polca	CONWIP	WLC
Kanban	1	1/5	1/3	1/7
Polca	5	1	3	1/3
CONWIP	3	1/3	1	1/5
WLC	7	3	5	1
Som	16	4,53	9,33	1,68

Variatie in Producten	Kanban	Polca	CONWIP	WLC
Kanban	1	1/7	1/5	0,143
Polca	7	1	3	1
CONWIP	5	1/3	1	1/3
WLC	7	1	3	1
Som	20	2,476	7,2	2,476

Variatie in route	Kanban	Polca	CONWIP	WLC
Kanban	1	1/5	1/3	1/7
Polca	5	1	3	1/3
CONWIP	3	1/3	1	1/5
WLC	7	3	5	1
Som	16,00	4,53	9,33	1,68

Variatie in vraag	Kanban	Polca	CONWIP	WLC
--------------------------	--------	-------	--------	-----

Kanban	1	1/5	1/3	1/7
Polca	5	1	3	1/3
CONWIP	3	1/3	1	1/5
WLC	7	3	5	1
Som	16,00	4,53	9,33	1,68

Variatie in bewerkingstijden	Kanban	Polca	CONWIP	WLC
Kanban	1	1/5	1/3	1/7
Polca	5	1	3	1/3
CONWIP	3	1/3	1	1/5
WLC	7	3	5	1
Som	16	4,53	9,33	1,68

Veroorzaken blokkades	Kanban	Polca	CONWIP	WLC
Kanban	1	3	1/5	1/3
Polca	1/3	1	1/7	1/5
CONWIP	5	7	1	3
WLC	3	5	1/3	1
Som	9,33	16	1,68	4,53

Transparantie	Kanban	Polca	CONWIP	WLC
Kanban	1	1/3	5	3
Polca	3	1	7	5
CONWIP	1/5	1/7	1	1/3
WLC	1/3	1/5	3	1
Som	4,53	1,68	16,00	9,33

Eenvoudig	Kanban	Polca	CONWIP	WLC
------------------	--------	-------	--------	-----

Kanban	1	3	1/5	3
Polca	1/3	1	1/7	1
CONWIP	5	7	1	7
WLC	1/3	1	1/7	1
Som	6,67	12,00	1,49	12,00

Som kolom naar 1:

Hoogte van de WIP	Kanban	Polca	CONWIP	WLC
Kanban	0,063	0,044	0,036	0,085
Polca	0,313	0,221	0,321	0,199
CONWIP	0,188	0,074	0,107	0,119
WLC	0,438	0,662	0,536	0,597

Variatie in Producten	Kanban	Polca	CONWIP	WLC
Kanban	0,050	0,058	0,028	0,058
Polca	0,350	0,404	0,417	0,404
CONWIP	0,250	0,135	0,139	0,135
WLC	0,350	0,404	0,417	0,404

Variatie in route	Kanban	Polca	CONWIP	WLC
Kanban	0,063	0,044	0,036	0,085
Polca	0,313	0,221	0,321	0,199
CONWIP	0,188	0,074	0,107	0,119
WLC	0,438	0,662	0,536	0,597

Variatie in vraag	Kanban	Polca	CONWIP	WLC
Kanban	0,063	0,044	0,036	0,085
Polca	0,313	0,221	0,321	0,199

CONWIP	0,188	0,074	0,107	0,119
WLC	0,438	0,662	0,536	0,597

Variatie in bewerkingstijden	Kanban	Polca	CONWIP	WLC
Kanban	0,063	0,044	0,036	0,085
Polca	0,313	0,221	0,321	0,199
CONWIP	0,188	0,074	0,107	0,119
WLC	0,438	0,662	0,536	0,597

Veroorzaken blokkades	Kanban	Polca	CONWIP	WLC
Kanban	0,107	0,188	0,119	0,074
Polca	0,036	0,063	0,085	0,044
CONWIP	0,536	0,438	0,597	0,662
WLC	0,321	0,313	0,199	0,221

Transparantie	Kanban	Polca	CONWIP	WLC
Kanban	0,221	0,199	0,313	0,321
Polca	0,662	0,597	0,438	0,536
CONWIP	0,044	0,085	0,063	0,036
WLC	0,074	0,119	0,188	0,107

Eenvoudig	Kanban	Polca	CONWIP	WLC
Kanban	0,150	0,250	0,135	0,250
Polca	0,050	0,083	0,096	0,083
CONWIP	0,750	0,583	0,673	0,583
WLC	0,050	0,083	0,096	0,083

Prioriteit

Hoogte van de WIP	Kanban	Polca	CONWIP	WLC	Prioriteit
Kanban	0,063	0,044	0,036	0,085	0,057
Polca	0,313	0,221	0,321	0,199	0,264
CONWIP	0,188	0,074	0,107	0,119	0,122
WLC	0,438	0,662	0,536	0,597	0,558

Variatie in Producten	Kanban	Polca	CONWIP	WLC	Prioriteit
Kanban	0,050	0,058	0,028	0,058	0,049
Polca	0,350	0,404	0,417	0,404	0,394
CONWIP	0,250	0,135	0,139	0,135	0,165
WLC	0,350	0,404	0,417	0,404	0,394

Variatie in route	Kanban	Polca	CONWIP	WLC	Prioriteit
Kanban	0,063	0,044	0,036	0,085	0,057
Polca	0,313	0,221	0,321	0,199	0,264
CONWIP	0,188	0,074	0,107	0,119	0,122
WLC	0,438	0,662	0,536	0,597	0,558

Variatie in vraag	Kanban	Polca	CONWIP	WLC	Prioriteit
Kanban	0,063	0,044	0,036	0,085	0,057
Polca	0,313	0,221	0,321	0,199	0,264
CONWIP	0,188	0,074	0,107	0,119	0,122
WLC	0,438	0,662	0,536	0,597	0,558

Variatie in bewerkingstijden	Kanban	Polca	CONWIP	WLC	Prioriteit
Kanban	0,063	0,044	0,036	0,085	0,057

Polca	0,313	0,221	0,321	0,199	0,264
CONWIP	0,188	0,074	0,107	0,119	0,122
WLC	0,438	0,662	0,536	0,597	0,558

Veroorzaken blokkades	Kanban	Polca	CONWIP	WLC	Prioriteit
Kanban	0,107	0,188	0,119	0,074	0,122
Polca	0,036	0,063	0,085	0,044	0,057
CONWIP	0,536	0,438	0,597	0,662	0,558
WLC	0,321	0,313	0,199	0,221	0,264

Transparantie	Kanban	Polca	CONWIP	WLC	Prioriteit
Kanban	0,221	0,199	0,313	0,321	0,264
Polca	0,662	0,597	0,438	0,536	0,558
CONWIP	0,044	0,085	0,063	0,036	0,057
WLC	0,074	0,119	0,188	0,107	0,122

Eenvoudig	Kanban	Polca	CONWIP	WLC	Prioriteit
Kanban	0,15	0,25	0,135	0,25	0,196
Polca	0,05	0,083	0,096	0,083	0,078
CONWIP	0,75	0,583	0,673	0,583	0,647
WLC	0,05	0,083	0,096	0,083	0,078