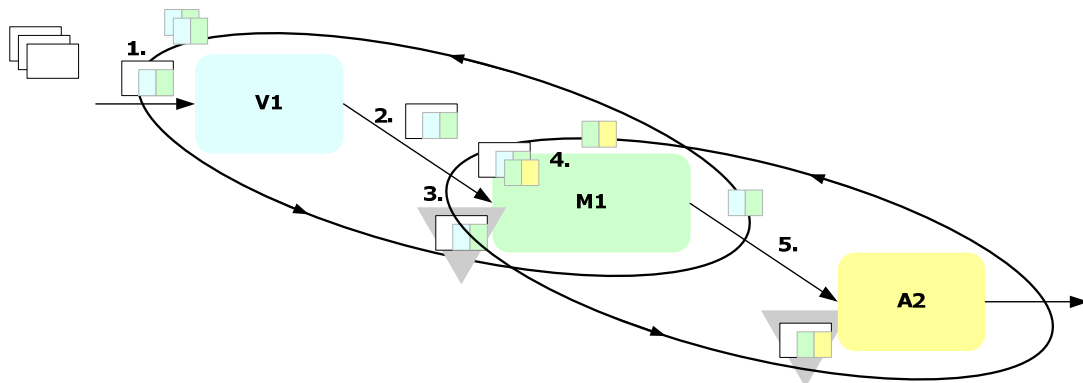


Polca: Toekomstmuziek?

Een casestudieonderzoek naar de mogelijkheden en beperkingen van polca als materiaalbeheersingssysteem in productiebedrijven.



Inge Kraaijenbrink

Polca: Toekomstmuziek?

Een casestudieonderzoek naar de mogelijkheden en beperkingen van polca als materiaalbeheersingssysteem in productiebedrijven.

Masterthesis Technische Bedrijfskunde
Specialisatie: Discrete technologie en productieautomatisering

Rijksuniversiteit Groningen
Faculteit der Wiskunde en Natuurwetenschappen
Faculteit Bedrijfskunde

Begeleiders:
Dr. J. Riezebos
Dr. H. Hasper

Januari 2007,

Inge Kraaijenbrink
s1272705

SAMENVATTING

Dit onderzoek richt zich op het verkrijgen van inzicht in de mogelijkheden en beperkingen van polca als materiaalbeheersingssysteem voor productiebedrijven. Polca is in 1998 ontwikkeld door de Amerikaanse wetenschapper Suri. De naam is afkomstig van de afkorting van *Paired-cell Overlapping Loops of Cards with Authorization*. Het systeem bestaat uit een combinatie van een ordervrijgavesysteem (push) en routegebonden productiecontrolekaarten (pull), de zogenoemde polca's. De polcakaarten vertegenwoordigen geen producten, maar een bepaalde hoeveelheid capaciteit in een loop met twee productiecellen. Hierdoor is polca goed in staat om variaties in capaciteit, vraag en productmix te managen. Hoewel polca in theorie een goed systeem lijkt, wordt het in West-Europese organisaties nog niet toegepast.

Om te bepalen of polca toepasbaar is binnen een bepaalde productieorganisatie, is in voorgaand onderzoek een scanningtool ontwikkeld, welke ondermeer de voorwaarden voor polca aan de organisatiekenmerken spiegelt. Hierbij wordt echter te weinig gekeken naar specifieke product- en proceskenmerken welke bepalend kunnen zijn of een organisatie zelf geschikt is voor polca.

In dit onderzoek wordt gekeken naar de invloeden van product- en proceskenmerken op de mogelijkheden tot toepassing van polca. Hiertoe is allereerst een studie verricht naar de werking van het polcasysteem en de mogelijke invloed van een aantal product- en proceskenmerken hierop. De kenmerken die nader bekeken worden zijn: kwaliteitseisen, machinekenmerken en layout. Om de praktische beperkingen, als gevolg van bovenstaande kenmerken, te achterhalen is een tweetal casestudies uitgevoerd bij Bombardier Transportation en Neopost Technologies. Deze casestudiebedrijven zijn geselecteerd op basis van een aantal vooraf opgestelde criteria. Om betrouwbaarheid en validiteit te garanderen is vooraf de bestaande scanningtool aangepast door vragen over de geselecteerde product- en proceskenmerken toe te voegen. De vernieuwde scanningtool heeft als leidraad gediend voor het uitvoeren van de casestudies.

Bombardier Transportation is producent van treinen, trams en metro's. Het onderzoek is uitgevoerd in de centrale werkplaats van de vestiging te Brugge, alwaar verschillende metalen onderdelen geproduceerd worden. De productie is in eerste instantie opgedeeld in twee delen die voor polca geschikt werden geacht: profielen en plaatbewerkingen. Aan de hand hiervan zijn verschillende polcastructuren uitgewerkt. Polca kan positief bijdragen aan het behalen van de door Bombardier gestelde doelstellingen, maar de beschikbaarheid van informatie over de afdeling zal eerst verbeterd moeten worden. Theoretische beperkingen lijken de parallel tegengestelde productstromen en het voorkomen van ongelijke productiemomenten tussen cellen.

Neopost Technologies is producent van machines voor de postverwerkingsmarkt. Binnen de afdeling onderdelenfabricage worden plaat- en stafonderdelen geproduceerd. Alleen de materiaalstroom plaatbewerkingen blijkt te voldoen aan de voorwaarden voor polca. Voor deze stroom zijn een aantal polcastructuren uitgewerkt. Het blijkt dat polca positief kan bijdragen aan het behalen van de door Neopost gestelde doelstellingen. Problemen zijn echter de grote hoeveelheid afwijkende orderstromen, gedeeltelijke onbemande productie en de aanwezigheid van bewerkingen die deels extern worden uitgevoerd.

In de casestudies zijn een aantal product- en proceskenmerken gezien waaraan in de huidige literatuur over polca geen aandacht wordt besteed, te weten: parallel tegengestelde productstromen, ongelijke productiemomenten, onbemande productie en externe productie. De theorie over polca is op een aantal punten uitgebreid zodanig dat met bovengenoemde situaties kan worden omgegaan.

De casestudies tonen aan dat het type machines dat zich het productieproces bevindt, veel invloed heeft op de toepassingsmogelijkheden van polca. In de casestudies blijken kwaliteitseisen met betrekking tot het product en het productieproces minder invloed te hebben op de toepassing van polca. Daar waar kwaliteitscontroles voorkomen, levert dit geen beperkingen op. Ook de layout van de afdelingen geeft in de cases geen beperkingen voor de invoering van polca. Er zijn in beide cases voldoende mogelijkheden tot het vormen van buffers.

Geconcludeerd kan worden dat vooral machinekenmerken hun invloed hebben op de toepasbaarheid van polca. Hieruit volgt dat een goede inventarisatie van de eigenschappen van de machines die zich binnen de organisatie bevinden erg belangrijk is. Met name op dit onderdeel is de scanningtool dan ook succesvol verbeterd. In de theoretische uitbreiding (hoofdstuk 8) blijkt tevens dat ongelijke productiemomenten beperkend kunnen werken op de mogelijkheden om polca toe te passen. In dit geval kan de continuïteit van de polcaloops niet gegarandeerd worden en moeten variaties in het systeem worden aangebracht om polca functioneel te houden.

De toepassingsmogelijkheden van polca als materiaalbeheersingssysteem zijn dus afhankelijk van verschillende product- en proceskenmerken. Voor elke organisatie zal het daardoor verschillend zijn in hoeverre het principe van polca in zijn huidige vorm kan worden toegepast. In dit onderzoek zijn een aantal varianten aangedragen voor afwijkende situaties. Wanneer situaties echter te veel van de in de literatuur gebruikte standaardsituatie gaan afwijken, zal toepassing van polca dusdanig veel aanpassingen vragen dat het geheel complex wordt en wellicht niet meer op polca lijkt. Iedere onderneming zal, afhankelijk van zijn eigen bedrijfskarakteristieken, moeten bepalen welk beheersingssysteem voor haar het meest optimaal is, en kan daarbij wellicht (onderdelen van) polca voor gebruiken.

Suggesties voor verder onderzoek bestaan uit een verdieping in de gevolgen van productstromen die afwijken van de in het polcasysteem gebruikte productstromen, onderzoek naar de mogelijkheden tot het koppelen van informatiedragers aan de polca-kaarten en het ontwikkelen van een generiek model voor het vormen van polcacellen.

1.	ONDERZOEKSONTWERP	- 3 -
1.1.	INLEIDING	- 3 -
1.2.	ACHTERGROND.....	- 3 -
1.3.	PROBLEEMSTELLING	- 3 -
1.4.	DOELSTELLING.....	- 5 -
1.5.	HOOFDVRAAG	- 5 -
1.6.	DEELVRAGEN.....	- 5 -
1.7.	ONDERZOEKSONTWERP	- 6 -
1.8.	BEPERKINGEN VAN HET ONDERZOEK.....	- 7 -
1.9.	INDICATIE VAN DE RESULTATEN	- 7 -
2.	LITERAATUURSTUDIE POLCA	- 9 -
2.1.	INLEIDING	- 9 -
2.2.	OORSPRONG	- 9 -
2.3.	PRINCIPES EN VOORWAARDEN	- 11 -
2.4.	AANSTURING	- 12 -
2.5.	VISUALISATIE	- 15 -
2.6.	POLCALOOPS	- 17 -
2.7.	SAMENVATTING EN VERVOLG	- 22 -
3.	PRODUCT- EN PROCESKENMERKEN	- 23 -
3.1.	INLEIDING.....	- 23 -
3.2.	PRODUCTKENMERKEN	- 23 -
3.3.	PROCESKENMERKEN	- 25 -
3.4.	SAMENVATTING EN VERVOLG	- 30 -
4.	RELATIE POLCA VS. PRODUCT- EN PROCESKENMERKEN	- 31 -
4.1.	INLEIDING.....	- 31 -
4.2.	OPSTELLEN VAN DE VRAAGSTELLINGEN.....	- 31 -
4.3.	SAMENVATTING EN VERVOLG	- 32 -
5.	NIEUWE POLCA SCANNINGTOOL & VOORBEREIDING CASESTUDIES.....	- 33 -
5.1.	INLEIDING.....	- 33 -
5.2.	AANPASSEN SCANNINGTOOL.....	- 33 -
5.3.	VOORBEREIDING CASESTUDIES	- 34 -
5.4.	SAMENVATTING EN VERVOLG	- 39 -
6.	CASESTUDIE BOMBARDIER TRANSPORTATION	- 40 -
6.1.	CASESTUDIE VERSLAG	- 40 -
6.2.	CASESTUDIE ANALYSE.....	- 46 -
7.	CASESTUDIE NEOPOST TECHNOLOGIES	- 62 -
7.1.	CASESTUDIEVERSLAG	- 62 -
7.2.	CASESTUDIE ANALYSE.....	- 69 -
8.	ANALYSE POLCA NAAR AANLEIDING VAN DE CASESTUDIES	- 87 -
8.1.	INLEIDING.....	- 87 -
8.2.	PARALLEL TEGENGESTELDE PRODUCTSTROMEN	- 88 -
8.3.	ONGELIJKE PRODUCTIEMOMENTEN.....	- 90 -
8.4.	ONBEMANDE PRODUCTIE.....	- 93 -
8.5.	EXTERNE PRODUCTIE	- 95 -

8.6.	CONCLUSIE.....	- 98 -
9.	CONCLUSIES & AANBEVELINGEN	- 100 -
9.1.	BEANTWOORDING VAN DE ONDERZOEKSVRAAG	- 100 -
9.2.	SUGGESTIES VOOR VERDER ONDERZOEK.....	- 103 -
	LITERATUUR.....	- 104 -
	BIJLAGE.....	- 106 -
	BIJLAGE 1: VERNIEUWDE POLCA SCANNINGTOOL	- 107 -
	BIJLAGE 2: BEZETTINGSGRADEN BOMBARDIER TRANSPORTATION.....	- 112 -
	BIJLAGE 3: FROM-TO TABELLEN NEOPOST TECHNOLOGIES	- 113 -
	BIJLAGE 4: BEZETTINGSGRADEN MACHINES NEOPOST	- 114 -
	LIJST VAN FIGUREN	- 115 -

1. ONDERZOEKSONWERP

1.1. Inleiding

In markten waar de concurrentie sterk is, proberen organisaties overeind te blijven door zich te onderscheiden van de concurrent. Hierbij staat het voldoen aan de wensen van de klant centraal. Om aan deze wensen te kunnen voldoen is het noodzakelijk een uitgebreid productassortiment te bezitten. Het produceren van een grotere verscheidenheid aan producten betekent dat de productie in kleinere batchgroottes georganiseerd moet worden. Om de klant daarnaast ook snel van dienst te kunnen zijn, is het een optie om alle producten op voorraad te maken. Wanneer het echter om een grote variëteit aan producten gaat, zorgt dit voor enorme voorraden welke niet wenselijk zijn. Om toch een snelle levering van producten te kunnen realiseren zonder grote voorraden op te bouwen, is een optimaal materiaalbeheersingssysteem van urgent belang. Een systeem dat gericht is op het behouden van de flexibiliteit van de productieomgeving en zich richt op het verkorten van doorlooptijden is polca (afkorting van *Paired-cell Overlapping Loops of Cards with Autorization*).

1.2. Achtergrond

Polca is een materiaalbeheersingssysteem dat geschikt is om om te gaan met custom engineered orders en met grote variëteit in vraag en productmix. Het systeem is in 1998 ontwikkeld door de Amerikaanse wetenschapper Suri. Het systeem is hybride en bestaat zodoende uit een push en een pull onderdeel. Het push gedeelte ontstaat door de ordervrijgave door middel van een *High Level Material Resource Planning* systeem (HL/MRP). Het pull gedeelte wordt aangestuurd door productiecontrolekaarten, welke zich op de werkvloer bevinden. Voordeel van zo een hybride structuur is dat er alleen geproduceerd wordt, wanneer er zowel interne als externe vraag is. Interne vraag bestaat uit vrijgekomen capaciteit: men is in staat om te produceren. Externe vraag ontstaat door de vraag van de klant naar een bepaald product. Deze combinatie zorgt voor een lage hoeveelheid onderhanden werk, een minimale voorraad en korte doorlooptijden.

Omdat polca nog een vrij nieuw systeem is, is er nog niet veel in de literatuur over geschreven. Het is slechts bij enkele Amerikaanse en Canadese bedrijven toegepast, alwaar het wel zeer succesvol bleek. In Nederland is het echter nog een onbekend systeem en wordt het nog niet toegepast. Er is vanuit het bedrijfsleven wel enige interesse getoond, maar er lijkt ondermeer een gebrek aan informatie over polca te zijn.

1.3. Probleemstelling

Om de toepassingsmogelijkheden van polca voor Nederlandse productiebedrijven te kunnen bepalen zal er meer onderzoek moeten worden gedaan naar hoe de theorie in de praktijk gebracht kan worden. Het cluster Ontwerp van Productiesystemen van de Rijksuniversiteit Groningen is hier mee gestart. In seminars wordt aandacht aan het onderwerp besteed en er is een polcagame ontwikkeld welke de spelers ervan vertrouwd maakt met de principes van polca. Dit onderzoek vindt plaats als onderdeel van dit grotere geheel en richt zich zowel op de theorie als de praktijk.

Om meer bekendheid te genereren is het noodzakelijk om Nederlandse organisaties er op attent te maken dat er een nieuw materiaalbeheersingssysteem bestaat. Er is in februari 2006 een eerste Nederlandstalige brochure geschreven waarin de mogelijkheden van polca worden besproken. Deze wordt verspreid onder organisaties die al enige interesse

getoond hebben of waarvoor het systeem interessant kan zijn. Om vervolgens te kunnen bepalen welke toegevoegde waarde Polca voor deze bedrijven kan hebben, zullen verschillende productiebedrijven geanalyseerd moeten worden. Hiervoor is reeds een eerste polca scanningtool ontwikkeld, waarmee op korte termijn kan worden onderzocht of een productiebedrijf geschikt is voor implementatie van polca.¹

De huidige polca scanningtool bestaat uit vijf fasen en ziet er, samengevat, als volgt uit:

Fase 1: Vaststellen doelstelling polca

- Voor welke problemen ten aanzien van het productieproces biedt polca duidelijk een oplossing?
- Wat is de achtergrond van deze problemen?
- Wat zijn de belangrijkste doelstellingen voor implementatie van polca?
- Hoe kunnen de prestaties van polca meetbaar worden gemaakt?

Fase 2: Identificatie van polca-cellen

- Welke polca-productiecellen kunnen worden geïdentificeerd?

Fase 3: Checken van de basisvoorwaarden

- Zijn de gemiddelde doorlooptijden van de polca-cellen betrouwbaar genoeg voor het realiseren van een HL/MRP systeem?
- Zijn de huidige productielijsten geschikt voor polca?
- Check de betrouwbaarheid van het capaciteitsplan, door gegevens te verzamelen over gemiddelde bezettingsgraden van de productiecellen.
- Kunnen capaciteitsmaatregelen worden genomen?
- Elke polca-cel dient gerelateerd te zijn aan één of meerdere andere cellen.

Fase 4: Ontwikkeling van het polca-raamwerk

- In kaart brengen van de relevante polca-cellen en de bijbehorende from-to-relaties.
- In kaart brengen van de belangrijkste productroutings.
- Zijn er storende productroutings aanwezig?
- Creëren van functionele polca loops.

Fase 5: Beoordeling effectiviteit van polca

- Biedt het polca-raamwerk mogelijkheden voor het creëren van productieflexibiliteit?
- Doen zich binnen het polca-raamwerk convergente productietrajecten voor?
- Is het mogelijk om productspecifieke celdoorlooptijden te berekenen?
- Is het mogelijk om productspecifieke interceldoorlooptijden te berekenen?
- Zijn de (inter)celdoorlooptijden betrouwbaar?
- Zijn de voorspellingen van het verwachte aantal orders binnen de geïdentificeerde productroutings betrouwbaar?
- Zijn de voorspellingen van het verwachte aantal orders binnen de storende productroutings betrouwbaar?

Duidelijk is dat fase twee uit de scanningtool niet is opgedeeld in verschillende vragen. Dit terwijl de identificatie van de te vormen polcacellen niet altijd even duidelijk is. Er wordt in de overige fasen gekeken in hoeverre polca bij een organisatie past. Maar met name in fase twee is het wellicht ook belangrijk om te kijken of een organisatie ook bij polca past. Er zullen verschillende specifieke organisatiekenmerken (productassortiment, productie-

¹ Pieffers, J. *Let's Polca?* Afstudeerverslag TBW, Rijksuniversiteit Groningen. Augustus 2005.

kenmerken, uit te voeren processen) zijn, die van invloed zijn op de wijze waarop polca binnen die organisatie toegepast kan worden. Polca wordt geïmplementeerd in het productieproces en aangezien het productieproces van iedere onderneming anders uitziet, moet er bij het ontwerpen van het beheersingssysteem rekening worden gehouden met de karakteristieken ervan.

Om een beter beeld te krijgen van de toepasbaarheid van polca in productiebedrijven, zal de scanningtool moeten worden uitgebreid. Hiermee kan vervolgens gezocht worden naar bedrijfssituaties waarin de toepasbaarheid van polca beperkt is.

In de huidige scanningtool wordt gekeken of polca binnen een bepaalde organisatie toepasbaar is. Dit wordt gedaan door te bepalen in hoeverre een organisatie voldoet aan de voorwaarden voor polca. Wanneer de scanningtool wordt aangepast, zal het eveneens mogelijk zijn te onderzoeken welke product- en proceskenmerken de toepasbaarheid van polca beperken, en in de theorie over polca niet benoemd worden. Kenmerken van producten en processen zullen daartoe moeten worden opgenomen in de scanningtool.

1.4. Doelstelling

De doelstelling van dit onderzoek is:

Het uitbreiden van de polca scanningtool (en daarmee de polcatheorie) door toevoeging van (de invloeden van) product- en proceskenmerken, en vervolgens hiermee door middel van casestudies de grenzen van toepasbaarheid van polca bij productiebedrijven te onderzoeken.

Hierbij worden *productiebedrijven* bedoeld die zich kenmerken door danwel een grote variëteit aan producten en een veranderlijke vraag, danwel een custom engineered productieproces. Onder *grenzen van toepasbaarheid* wordt verstaan: de mogelijkheden en beperkingen van polca ten opzichte van de product- en proceskenmerken van de in de casestudies behandelde organisaties en in productiebedrijven in het algemeen.

1.5. Hoofdvraag

De volgende hoofdvraag wordt hierbij gesteld:

Hoe kan de huidige polca scanningtool zodanig worden uitgebreid, dat ook product- en processpecifieke eigenschappen worden meegenomen in de beoordeling van de grenzen van toepasbaarheid van polca bij productiebedrijven, en wat zijn deze grenzen van toepasbaarheid?

Hiermee wordt de scanningtool uitgebreid, zodanig dat specifieke kenmerken van een productiebedrijf ook meegenomen worden bij de beoordeling over de toepasbaarheid van polca binnen die bedrijven.

1.6. Deelvragen

Om gestructureerd tot een beantwoording van de hoofdvraag te komen, wordt het onderzoek opgedeeld in verschillende fasen. In deze fasen worden een aantal deelvragen beantwoord welke tezamen de input leveren om de bovenstaande hoofdvraag te beantwoorden. De deelvragen zijn als volgt gedefinieerd en worden verder toegelicht in de volgende paragraaf:

- 1) Hoe werkt polca als materiaalbeheersingssysteem?

- 2) Welke productkenmerken beïnvloeden de coördinatie van producten?
- 3) Met welke producteigenschappen moet rekening worden gehouden bij invoering van polca en welke vraagstellingen levert dat op?
- 4) Welke proceskenmerken beïnvloeden de coördinatie van producten?
- 5) Met welke proceseigenschappen moet rekening worden gehouden bij invoering van polca en welke vraagstellingen levert dat op?
- 6) Hoe moet de huidige scanningtool worden aangepast om product- en proceskenmerken mee te nemen in de beoordeling, zodanig dat de vraagstellingen worden beantwoord?
- 7) In hoeverre is polca een oplossing voor de geselecteerde casestudie-bedrijven?
- 8) Voor welke praktijksituaties biedt het huidige polcasysteem nog geen oplossing?
- 9) Welke antwoorden op de vraagstellingen volgen er uit de casestudies?
- 10) Welke kenmerken maken de invoering van polca (vooralsnog) lastig?

1.7. Onderzoeksontwerp

Het onderzoek zal worden opgedeeld in vier fasen, te weten:

- 1) Theorie
- 2) Ontwerp
- 3) Praktijk
- 4) Analyse

De methoden die in de verschillende fasen gebruikt worden en de resultaten hiervan, worden in de volgende paragrafen uitgelegd. Het conceptueel model van dit onderzoek geeft vervolgens een visuele weergave van deze fasen.

1.7.1. Fase 1: Theorie

Het onderzoek zal starten met een literatuuronderzoek naar polca als materiaal-beheersingssysteem. Tijdens het literatuuronderzoek wordt relevante literatuur verzameld en zal de werking van het systeem worden doorgrond. Het resultaat hiervan is een duidelijke uiteenzetting van de werking van het systeem. Dit geeft een antwoord op de eerste deelvraag.

Product- en proceskenmerken die invloed kunnen hebben op het coördinatieproces, worden gevonden door het lezen van literatuur en het analyseren van een aantal reeds uitgevoerde casestudies. Eerder uitgevoerde casestudies worden gebruikt, omdat daarin praktijksituaties naar voren komen die in de literatuur niet altijd benoemd worden. Hiermee wordt vervolgens een aantal kenmerken opgesteld, die van invloed op de inrichting van het beheersingssysteem kunnen zijn. Dit resultaat is de beantwoording van deelvragen 2 en 4.

De gevonden kenmerken worden vervolgens vergeleken met de eigenschappen van polca zoals deze bij de eerste deelvraag uiteengezet zijn. Hieruit volgt dan een uiteenzetting van product- en proceseigenschappen waarmee rekening moet worden gehouden bij invoering van polca. Dit resultaat is de beantwoording van deelvragen 3 en 5.

Er worden vraagstellingen opgesteld over hoe deze kenmerken de inrichting van het polcasysteem zouden kunnen beïnvloeden. Naar aanleiding hiervan wordt de scanningtool aangepast, zodat de vraagstellingen in de casestudies kunnen worden beantwoord.

1.7.2. Fase 2: Ontwerp

Aan de hand van de uitkomsten van deelvragen 2 tot en met 5 zal de huidige scanningtool worden uitgebreid, zodanig dat product- en proceskenmerken meegenomen worden in de beoordeling van geschiktheid van een organisatie voor polca. Dit leidt tot een vernieuwde scanningtool (antwoord deelvraag 6). Tevens wordt een conceptueel model van de casestudies gepresenteerd, waarin de verwachte relatie tussen product- en proceskenmerken en polca zal worden weergegeven. Verder zal de opzet en verantwoording van de casestudies nader toegelicht worden.

1.7.3. Fase 3: Praktijk

Met deze vernieuwde scanningtool wordt bij een aantal bedrijven een casestudie uitgevoerd, waarmee de geschiktheid van polca voor hen met behulp van de scanningtool wordt bepaald.

Hieruit zal een aantal rapporten volgen die voor ieder bedrijf de mogelijkheden en beperkingen van polca uiteenzetten. Dit is de beantwoording van deelvraag 7.

1.7.4. Fase 4: Analyse

Uit een analyse van de uitgevoerde casestudies zal wellicht een aantal praktische kenmerken volgen die nog niet binnen de beschikbare literatuur over polca uiteengezet zijn. Deze kenmerken zullen worden behandeld en hun relatie met polca wordt besproken. (antwoord deelvraag 8). Daarnaast zullen de vraagstellingen zoals deze in fase 1 geformuleerd zijn, aan de hand van de casestudies worden beantwoord (antwoord deelvraag 9). Tot slot volgen er kenmerken die de invoering van polca lastig maken en die wellicht de reden zijn dat polca nog weinig wordt toegepast. Hiermee kunnen de grenzen van toepasbaarheid van polca worden aangegeven en wordt deelvraag 10 beantwoord.

1.7.5. Conceptueel model

De fasering van het onderzoek is schematisch weergegeven in het conceptueel model van het onderzoek in figuur 1. De opbouw van het rapport is volgens de hoofdstukken zoals die in onderstaand conceptueel model van het onderzoek weergegeven zijn.

1.8. Beperkingen van het onderzoek

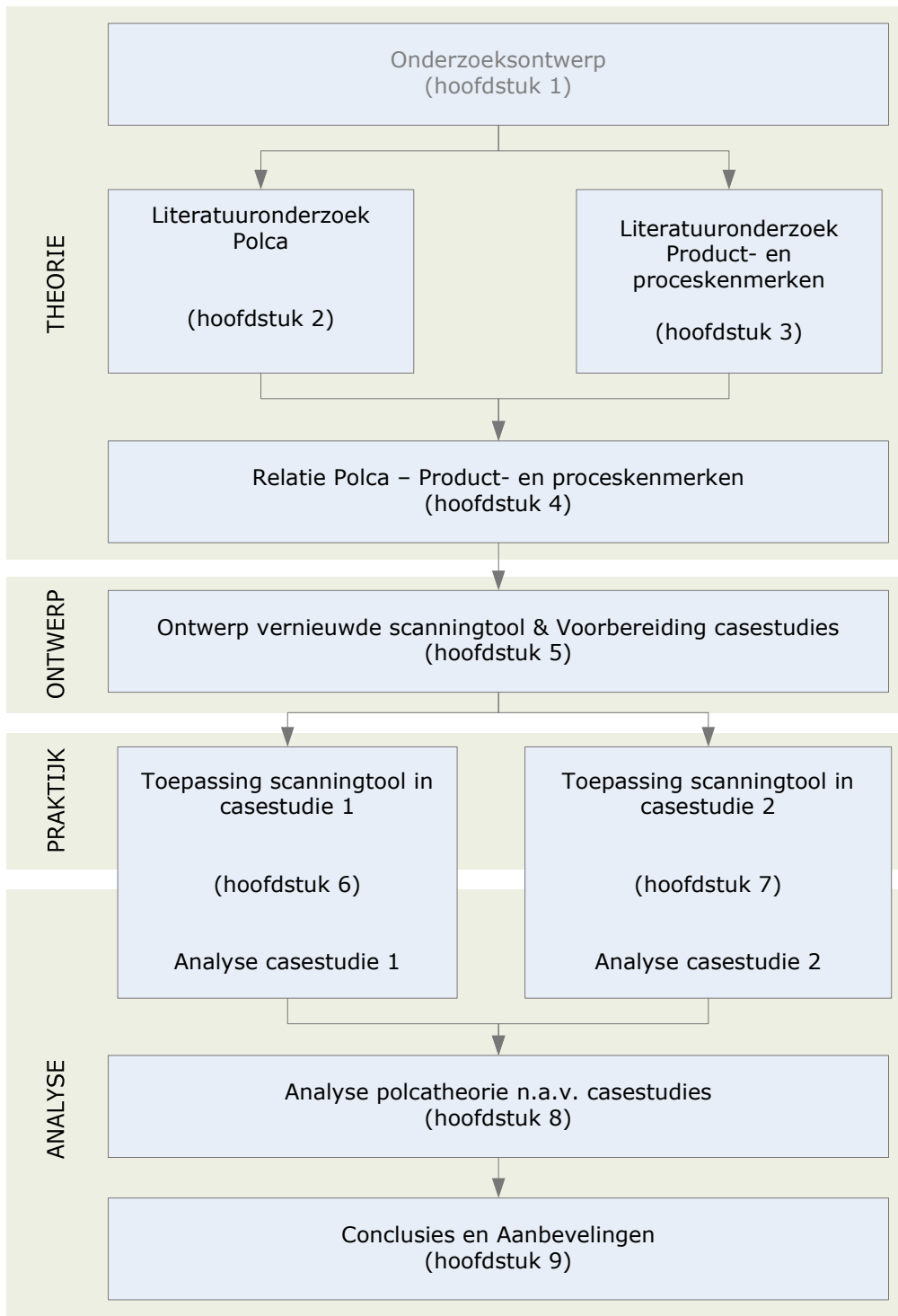
Het onderzoek wordt beperkt door de volgende factoren:

- Er worden 2 à 3 casestudiebedrijven geselecteerd
- De tijd per case studie is beperkt tot maximaal 8 weken
- De belasting voor het uitvoeren van het onderzoek is 35 EC
- Bedrijven worden alleen beoordeeld op geschiktheid voor polca, overige beheersingssystemen kunnen worden genoemd, maar worden niet geheel uitgewerkt.

1.9. Indicatie van de resultaten

Het onderzoek moet leiden tot de volgende resultaten:

- Een helder rapport waarin de onderzoeksvraag (middels de deelvragen) beantwoord zal worden.
- Een aantal casestudie verslagen met de resultaten van de uitgevoerde casestudies.



figuur 1 Conceptueel model van het onderzoek

2. LITERATUURSTUDIE POLCA

2.1. Inleiding

Doordat polca nog relatief onbekend is, wordt er in de literatuur nog niet veel over geschreven. Dit zorgt enerzijds voor een beperking voor het uitvoeren van een literatuuronderzoek doordat de aanwezige kennis beperkt is, anderzijds geeft het ook een mate van overzichtelijkheid waardoor geen relevante literatuur vergeten kan worden. In dit hoofdstuk zal allereerst de oorsprong van het polcasysteem behandeld worden. Vervolgens wordt de werking van het systeem uitgelegd aan de hand van de theorie en een praktisch voorbeeld.

2.2. Oorsprong

Polca is de afkorting van *Paired-cell Overlapping Loops of Cards with Autorization*. Het is een materiaalbeheersingssysteem ontwikkeld door de Amerikaanse wetenschapper Suri. Polca vindt zijn oorsprong in de Quick Response Manufacturing (QRM). QRM is een onderdeel van Time Based Competition (TBC), het richt zich daarbinnen specifiek op productiebedrijven. Suri ziet QRM als tegenhanger van Lean Manufacturing.^I Aangezien Lean Manufacturing een in Nederlandse bedrijven veelgehanteerde filosofie is, zullen kort de overeenkomsten en verschillen tussen LM en QRM genoemd worden, met daarbij een beschouwing over hoe polca in dit geheel past.

2.2.1. Quick Response Manufacturing

QRM is een strategie die speciaal ontwikkeld is voor twee soorten organisaties:^{II}

- Organisaties die gekenmerkt worden door een grote variëteit aan producten en een veranderlijke vraag.
- Organisaties die MTO of ETO produceren en produceren in kleine batches. MTO = Make To Order, producten worden alleen op order geproduceerd. ETO = Engineer To Order, producten worden klantspecifiek ontworpen en geproduceerd.

Het doel van QRM is het zowel extern als intern reduceren van doorlooptijden. Vanuit de klant gezien betekent dit dat de wens van de klant snel wordt omgezet in een product (extern). Binnen een organisatie streeft QRM daarnaast naar doorlooptijdreductie voor alle activiteiten, wat kan resulteren in kwaliteitsverbetering en/of kostenreductie (intern).^{III} QRM bereikt deze doorlooptijdreductie door toepassing van verschillende methodes en technieken waarvan polca er één is.

2.2.2. Lean Manufacturing

Lean Manufacturing is een breed toegepaste productiefilosofie. Het is gebaseerd op drie concepten:^{IV}

- Eliminatie van waste (verspilling) in elke mogelijke vorm binnen de organisatie.
- Implementatie van flow door middel van kleine batches in een continue stroom.

^I Suri, R. 1998. *Quick Response Manufacturing: A Companywide Approach to Reducing Lead Times*. Portland, Oregon: Productivity Press Inc.

^{II} Suri, R. 2005. *A Lean Strategy for Job Shops*. Gear Technology. Nov-Dec 2005. p. 26

^{III} Suri, R. 2003. *QRM and Polca: A Winning Combination for Manufacturing Enterprises in the 21st Century*. Technical Report, Center for Quick Response Manufacturing. May 2003. p. 3

^{IV} Suri, R. 2003. *QRM and Polca: A Winning Combination for Manufacturing Enterprises in the 21st Century*. Technical Report, Center for Quick Response Manufacturing. May 2003. p. 17

- Implementatie van pull.

Maar voor organisaties die gekenmerkt worden door een grote variëteit aan producten en een veranderlijke vraag of organisaties die MTO/ETO produceren, zijn de concepten in deze vorm moeilijk toepasbaar.^I

Flow wordt binnen de Leanfilosofie gecreëerd door het invoeren van taktijden. Bij de bovengenoemde bedrijven is dit door de variatie in de vraag echter bijna onmogelijk toepasbaar. De doorlooptijden zijn namelijk dusdanig verschillend, dat het vaststellen van een taktijd niet zinvol is.

Lean creëert pull door bijvoorbeeld de invoering van kanban, een op kaarten gebaseerd materiaalbeheersingssysteem waarbij een kaart een bepaalde hoeveelheid product vertegenwoordigt. Dit heeft tot gevolg dat voor ieder product in elke buffer een voorraad moet worden aangehouden. Voor bovenbeschreven organisaties betekent dit, als gevolg van de grote variëteit aan producten, een enorme voorraad van producten waar (nog) geen vraag voor is. Dit wordt vanuit QRM oogpunt als verspilling gezien.

2.2.3. QRM versus Lean Manufacturing

QRM heeft als primaire doel het verkorten van de doorlooptijden, waardoor verspillingen gereduceerd moeten worden. Lean heeft als primaire doel reductie van verspilling, waardoor de doorlooptijden zullen verkorten.

Volgens Suri zijn de principes van Lean Manufacturing in een omgeving die gekenmerkt wordt door een grote variëteit aan producten niet altijd even goed toepasbaar. Voor organisaties die klantspecifiek produceren of te maken hebben met lage volumes en grote productvariëteit, is QRM volgens hem een beter alternatief.^{II}

Volgens Pieffers en Riezebos kan polca echter ook als een methode binnen de Lean Manufacturing gezien worden.^{III} Het is net als kanban een op kaarten gebaseerd systeem dat deels door pull gedreven wordt. Polca creëert een mate van flow door de bepaling van de ordervolgorde af te laten hangen van de huidige situatie op de werkvloer. Er kan vanuit deze redenering gesteld worden, dat er dus enige overlap zit tussen de filosofie achter QRM en Lean Manufacturing. Als gevolg hiervan moet de keuze voor polca niet gezien worden als het volgen van één van de filosofieën en het uitsluiten van de andere, maar als één van de mogelijke methoden om een specifiek productieproces beter te beheersen. In het vervolg van dit hoofdstuk zal de theorie achter polca nader uitgelegd worden, te beginnen met de basisprincipes.

^I Mulder, Mark. *The effect of new production concepts on the adoption of practices: an empirical review*. Masterthesis TM, Rijksuniversiteit Groningen. 2006. p. 23-25

^{II} Suri, R. 2003. *QRM and Polca: A Winning Combination for Manufacturing Enterprises in the 21st Century*. Technical Report, Center for Quick Response Manufacturing. May 2003. p. 17-22

^{III} Pieffers, J. & Riezebos, J. 2006. *Polca als innovatief materiaalbeheersingssysteem*. Brochure Polca, Rijksuniversiteit Groningen. Februari 2006. p. 5.

2.3. Principes en voorwaarden

2.3.1. Principe

Polca is een op kaarten gebaseerd materiaalbeheersingssysteem dat bestaat uit een combinatie van een ordervrijgavesysteem (push) en routegebonden productiecontrolekaarten (pull), de zogenoemde polcakaarten ofwel polca's.

Het polcasysteem kan worden toegepast in een organisatie die is opgedeeld in onafhankelijke cellen. De materiaalstroom tussen deze cellen wordt door de polcakaarten gecoördineerd. Coördinatie tussen twee opeenvolgende cellen vindt plaats, doordat een cel pas mag produceren als de volgende (ontvangende) cel aangeeft binnenkort capaciteit vrij te krijgen. Dit voorkomt opstoppingen die kunnen ontstaan wanneer alleen een push aansturing gebruikt wordt. Voor de interne aansturing is iedere cel zelf verantwoordelijk.

Het belangrijkste uitgangspunt van polca is: het verkorten van de doorlooptijden door de doorstroom tussen verschillende cellen te verbeteren.

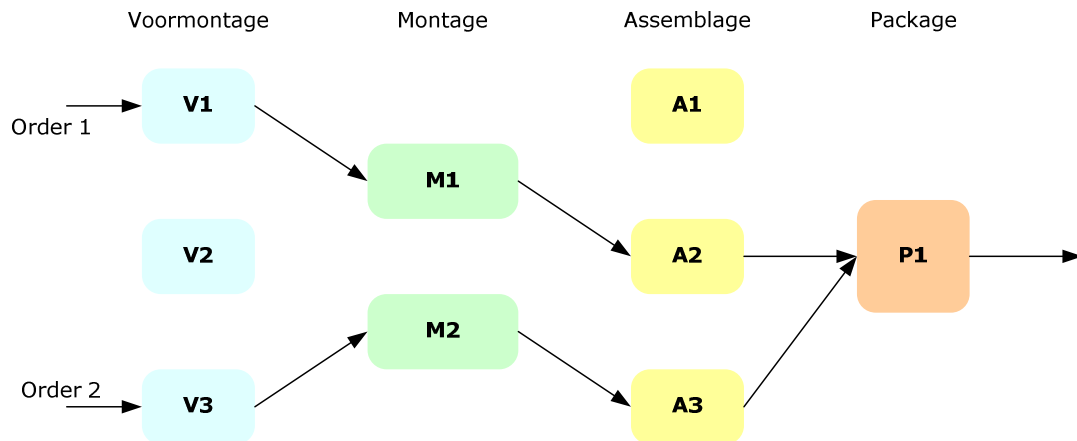
2.3.2. Voorwaarden

Er zijn drie basisvoorwaarden waaraan voldaan moet worden voor implementatie van polca, te weten:^I

- **Aanwezigheid cellulair productiesysteem**
Polca beheerst de materiaalstromen tussen een aantal productiecellen. De aanwezigheid van deze cellen is hierom een basisvoorwaarde voor implementatie van polca. Een polcacel bestaat uit één of meerdere machines en/of mensen welke een productfamilie of onderdelenfamilie afronden, en welke zelfstandig de coördinatie binnen de cel kunnen verzorgen.^{II} Daarnaast moet een cel altijd gekoppeld zijn aan minimaal één andere polcacel. Binnen een cel kunnen orders verschillende bewerkingen ondergaan. Ook kan de route van orders binnen een cel verschillen. Een voorbeeld van een cellulaire omgeving is gegeven in figuur 2. Hierin zijn vier soorten cellen zichtbaar: voormontage, montage, assemblage en package. Van een aantal zijn er meerdere aanwezig. Van twee orders is aangegeven hoe ze door het productieproces stromen. Het voorbeeld van figuur 2 zal in het verloop van dit hoofdstuk vaker ter sprake komen.
- **Aanwezigheid van een HL/MRP systeem**
De aanwezigheid van een HL/MRP-planningssysteem (High Level Material Requirements Planning), of de mogelijkheid deze te vormen, is noodzakelijk voor implementatie van polca. Dit planningssysteem werkt op een hoger niveau dan een standaard MRP-systeem, het beschouwt iedere productiecel als een blackbox. In paragraaf 2.4.1 zal dit verder worden toegelicht.

^I Suri, R. & Krishnamurthy, A. 2003. *How to Plan and implement POLCA: A Material Control System for High-Variety or Custom-Engineered Products*. Technical Report, Center for Quick Response Manufacturing. May 2003. p. 6

^{II} Pieffers, J. & Riezebos, J. 2006. *Polca als innovatief materiaalbeheersingssysteem*. Brochure Polca, Rijksuniversiteit Groningen. Februari 2006. p. 16.



figuur 2 Productiecellen

- Betrouwbaar capaciteitsplan en kennis van doorlooptijden
 Voor iedere productiecel moet globaal de capaciteitsbenutting en de doorlooptijd bepaald kunnen worden. Een uitgangspunt van polca is het inplannen van strategische overcapaciteit om de doorlooptijden zo minimaal mogelijk te houden. Gewenst zijn bezettingsgraden van 30%-80%.^I Kennis van doorlooptijden is noodzakelijk voor het bepalen van de benodigde hoeveelheid polcakaarten (paragraaf 2.6) en de planning met behulp van HL/MRP (paragraaf 2.4.1).

De genoemde voorwaarden zullen in de komende paragrafen verder aan de orde komen. Hierin wordt de werking van het polcasysteem nader toegelicht.

2.4. Aansturing

Een belangrijk kenmerk van QRM is dat productiestromen op een hybride wijze gecoördineerd worden. Dit houdt in dat het zowel push als pull georiënteerd is. Men probeert van beide systemen de positieve punten te combineren. In deze paragraaf zullen eerst push en pull apart van elkaar worden beschreven. Daarbij wordt ook vermeld op welke wijze polca van deze wijzen van aansturing gebruik maakt. Vervolgens zullen de voordelen van het hybride push-pull systeem, zoals dat door polca gebruikt wordt, behandeld worden.

2.4.1. Push

De traditionele manier van aansturen van een productieproces is push. Een push productiesysteem wordt gedefinieerd als: een systeem zonder limiet aan de hoeveelheid onderhanden werk (Work In Process)^{II}, of ook wel: een systeem waarin producten na een bewerking naar de volgende bewerking worden gestuurd, waar orders niet worden vrijgegeven op basis van de huidige vraag maar op basis van planning.^{III} Dit laatste betekent dat een bewerking mag worden uitgevoerd indien het productieplan aangeeft dat men mag beginnen en er bovendien voldoende grondstoffen aanwezig zijn. Het productieplan is gebaseerd op de huidige vraag of de verwachte vraag vanuit de markt. Na

^I Suri, R. 1998. *Quick Response Manufacturing: A Companywide Approach to Reducing Lead Times*. Portland, Oregon: Productivity Press Inc. p. 164-165

^{II} Hopp, W.J. & Spearman, M.L. 2004. *To Pull or Not to Pull: What Is the Question?* Manufacturing & service operations management. Vol. 6 (2), spring 2004. p. 142

^{III} Hyer, N. & Wemmerlöv, U. 2002. *Reorganizing the Factory; Competing through Cellular Manufacturing*. Portland, Oregon: Productivity Press Inc. p. 330

een bewerking wordt een batch naar de buffer van de volgende bewerking gestuurd (gepushed), alwaar het wacht op verdere bewerking. Het klassieke push-systeem is MRP.

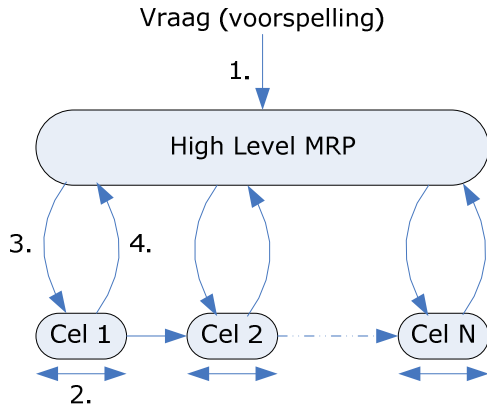
De definities die voor push gehanteerd worden verschillen per auteur. De definitie van Hopp & Spearman is nogal breed en kan daardoor ook de definitie van Hyer & Wemmerlöv omvatten, waar ook niet specifiek een beperking aan de hoeveelheid onderhanden werk wordt gesteld. Een overeenkomstig nadeel van deze manier van aansturen is dat de hoeveelheid onderhanden werk vrij hoog is, omdat er bij de aansturing bijvoorbeeld geen rekening wordt gehouden met de huidige situatie op de werkvloer.¹

Push in Polca: HL/MRP

High Level Material Requirements Planning (HL/MRP) wordt gebruikt als pushmechanisme in het polcasysteem. Met het systeem kunnen de orders en materialen gepland worden, dit houdt in:

- Het voorspellen van de vraag en het bestellen van goederen bij externe leveranciers.
- Het plannen van materialen tussen de productiecellen en er voor zorgdragen dat de juiste materialen bij de juiste cellen aanwezig zijn.

HL/MRP is vergelijkbaar met het standaard MRP met het verschil dat de planning op een hoger niveau plaatsvindt, en daardoor minder gedetailleerd is. De planning vindt plaats op celniveau en niet voor iedere bewerking. Voordeel van HL/MRP boven MRP is dat het aantal processen dat gemanaged moet worden kleiner is (door het hogere niveau), en daardoor overzichtelijker. Omdat de productie in dit geval gebaseerd wordt op de planning valt deze vorm van aansturen onder de definitie van push van Hyer & Wemmerlöv.



figuur 3 High Level MRP

Het HL/MRP-systeem is weergegeven in figuur 3. Het HL/MRP wordt gedreven door de vraag, gebaseerd op een voorspelling of op klantorder [1.]. Op basis van deze vraag en de gemiddelde celdoorlooptijden [2.] wordt voor iedere productiecel een planning gemaakt. In deze planning wordt het tijdstip vastgesteld waarop iedere cel mag beginnen met een bepaalde order (autorisatiedatum). De planning wordt aan de cellen doorgegeven [3.], zij kunnen hiermee ieder zelf bepalen hoe zij binnen de cel deze planning gaan behalen. Mocht uit een eerste check blijken dat een cel de planning niet kan halen, of dat de door het HL/MRP systeem gebruikte celdoorlooptijden af zullen afwijken van de werkelijke

¹ Suri, R. & Krishnamurthy, A. 2003. *How to Plan and implement POLCA: A Material Control System for High-Variety or Custom-Engineered Products*. Technical Report, Center for Quick Response Manufacturing. May 2003. p. 1

celdoorlooptijden, dan moet de cel dit aan het systeem doorgeven [4.]. Het HL/MRP systeem kan dan de planning aanpassen.

Doordat de planning op celniveau plaatsvindt, is het niet nodig om van iedere bewerking de exacte doorlooptijd te weten, de doorlooptijden per gehele cel zijn voldoende. Daarnaast is het door het hogere niveau niet noodzakelijk om de beschikking over uitgebreide BOMs (Bill Of Materials) te hebben. De stuklijsten kunnen op celniveau worden samengesteld en zijn daardoor 'platter' dan de stuklijsten bij het normale MRP-systeem op welke alle onderdelen zichtbaar zijn.

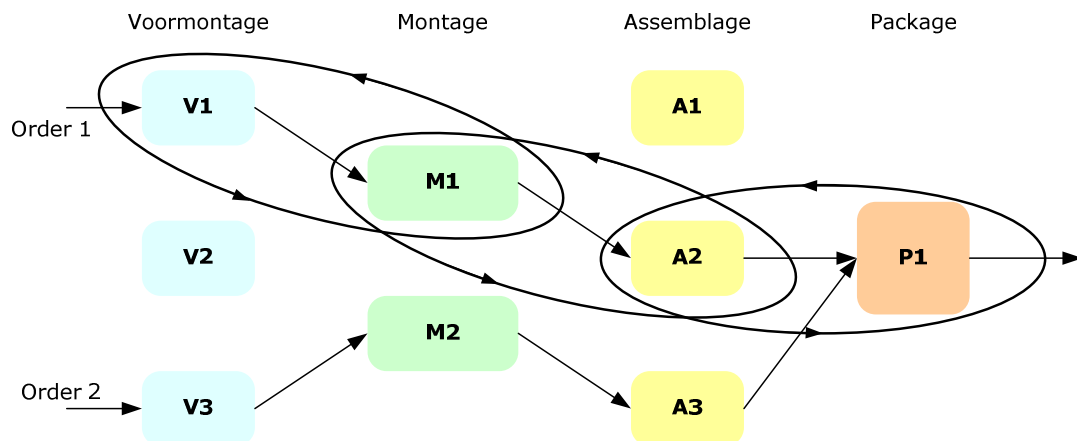
2.4.2. Pull

Een andere manier van aansturen is een pull-productiesysteem. Het wordt gedefinieerd als: een productiesysteem dat een duidelijke limiet stelt aan de maximale hoeveelheid onderhanden werk,^I of ook wel: een productiesysteem waarin productie en materiaalverplaatsingen worden geïnitieerd door een vermindering van de voorraad.^{II} Dit laatste betekent dat een order wordt vrijgegeven, wanneer de voorraad van de stroomafwaartse buffer beneden een bepaald peil komt. Nadeel van deze methode is dat er een voorraad van producten wordt opgebouwd, zonder dat hier vanuit de klant specifiek vraag naar is.

De definities die voor pull gehanteerd worden verschillen eveneens per auteur. De definitie van Hopp & Spearman is hier wederom nogal breed en omvat daardoor ook de definitie van Hyer & Wemmerlöv, waar ook een bepaalde beperking aan de hoeveelheid onderhanden werk wordt gesteld.

Pull in Polca: Polcakaarten

In het polcasysteem wordt een maximum gesteld aan de hoeveelheid onderhanden werk door een beperkt aantal polcakaarten in het productieproces te laten circuleren (de eigenschappen van een polcakaart worden verder behandeld in paragraaf 2.5.2.).



figuur 4 Polcaloops

^I Hopp, W.J. & Spearman, M.L. 2004. *To Pull or Not to Pull: What Is the Question?* Manufacturing & service operations management. Vol. 6 (2), spring 2004. p. 142

^{II} Hyer, N. & Wemmerlöv, U. 2002. *Reorganizing the Factory; Competing through Cellular Manufacturing*. Portland, Oregon: Productivity Press Inc. p. 330

De circulatie van polcakaarten vindt plaats in zogenaamde polcaloops. Binnen iedere loop bevinden zich twee opeenvolgende cellen, zoals zichtbaar in figuur 4.

In iedere loop circuleren loopspecifieke polcakaarten, welke de materiaalstromen tussen deze twee cellen coördineren. Iedere kaart vertegenwoordigt een bepaalde hoeveelheid werk. Dit is tegenstelling tot het kanbansysteem, waar iedere kaart een bepaalde hoeveelheid van een specifiek product representeert. Door een limiet aan het aantal polcakaarten te stellen, wordt aan de totale hoeveelheid onderhanden werk per loop een maximum gesteld. Een cel mag pas produceren als de volgende (ontvangende) cel aangeeft binnenkort capaciteit vrij te krijgen. Een gedetailleerde uitleg over hoe de polcakaarten circuleren, zal in paragraaf 2.5.1 gegeven worden.

Het gebruik van polcakaarten is alleen een vorm van pull wanneer de definitie van Hopp & Spearman gehanteerd wordt. Er wordt door het beperkte aantal polcakaarten een maximum aan de hoeveelheid onderhanden werk gesteld. De definitie van Hyer & Wemmerlöv is te krap, aangezien een materiaalverplaatsing niet wordt geïnitieerd door een vermindering van de voorraad, maar door het beschikbaar komen van capaciteit.

2.4.3. Hybride structuur

Polca maakt, zoals boven beschreven, gebruik van zowel push als pull. Het push-element komt naar voren door een overkoepelend planningssysteem (HL/MRP), dat de productiecellen aanstuurt. Pull is zichtbaar in de vorm van productiecontrolekaarten, de zogenaamde polcakaarten, ofwel polca's, welke de materiaalstromen tussen de cellen coördineren. Belangrijk voordeel hiervan is dat er alleen geproduceerd wordt wanneer twee soorten vraag aanwezig zijn:

- Externe vraag; er is vraag van de consument die door middel van het HL/MRP systeem wordt ingepland. Er wordt niet van ieder product een voorraad opgebouwd.
- Interne vraag; het productieproces geeft door middel van polcakaarten aan capaciteit vrij te krijgen. Er wordt niet geproduceerd wanneer er binnenkort geen capaciteit vrijkomt, dit veroorzaakt immers alleen maar hoge voorraden.

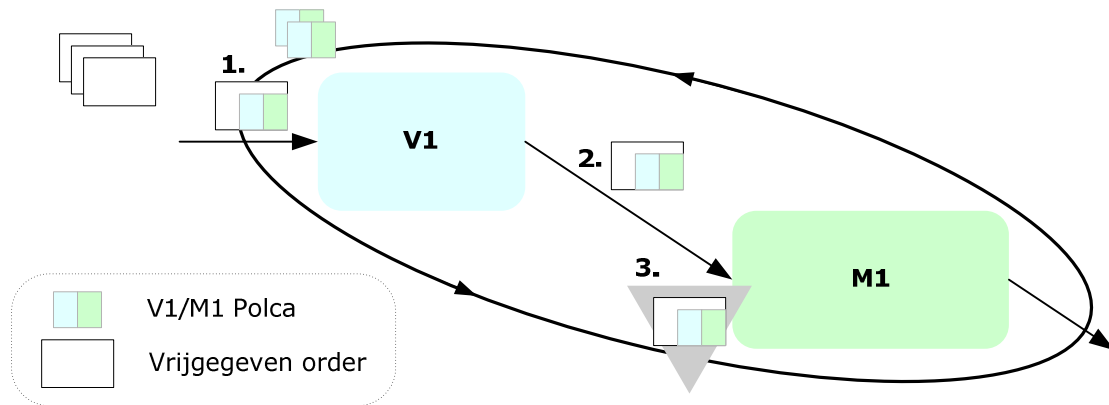
Een cel mag met productie starten wanneer:

1. De order is vrijgegeven door het HL/MRP, en
2. Er een juiste polcakaart aanwezig is.

2.5. Visualisatie

2.5.1. Polca-circulatie

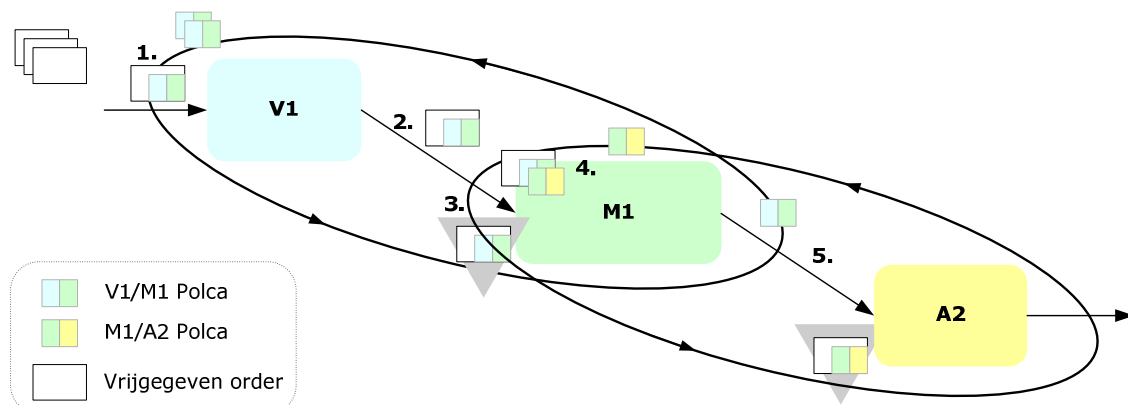
De wijze waarop de polcakaarten in een loop circuleren is schematisch weergegeven in figuur 5. Als voorbeeld wordt gewerkt met order 1 zoals deze in figuur 2 (en ook in figuur 4) weergegeven wordt. Deze order moet achtereenvolgens de volgende cellen aandoen: V1, M1, A2 en P1. In het voorbeeld wordt er van uitgegaan dat één polcakaart toestemming geeft om een gehele order te produceren.



figuur 5 Polcaloop V1/M1

De volgende stappen zijn zichtbaar:

1. De order mag in productie genomen worden als het kan (de order is vrijgegeven) en als het mag (er is een polca van de loop V1/M1 beschikbaar). Indien aan beide voorwaarden voldaan wordt, worden de order en de polca aan elkaar gekoppeld en wordt de order in productie genomen in cel V1.
2. Wanneer de bewerkingen in cel V1 zijn afgerond, worden de gekoppelde order en polca naar de volgende cel (M1) getransporteerd.
3. Bij cel M1 komt de order in de voorraad terecht en wacht weer tot hij verder kan (vrijgave) en mag (polca). De opvolgende cel is A2, dus er moet gewacht worden op een Polca M1/A2.
4. In figuur 6 is hieraan voldaan. De order en polca V1/M1 worden gekoppeld aan polca M1/A2 en kan door cel M1 bewerkt worden. Let op: de order bevat nu dus twee verschillende polca's.
5. Na bewerking in cel M1 wordt de polca van de loop V1/M1 losgekoppeld en teruggestuurd naar de buffer van cel V1. De order met polca M1/A2 wordt getransporteerd naar cel A2. Daar moet het wachten op autorisatie en een polca A2/P1 (de opvolgende cel is namelijk P1, zie figuur 4).



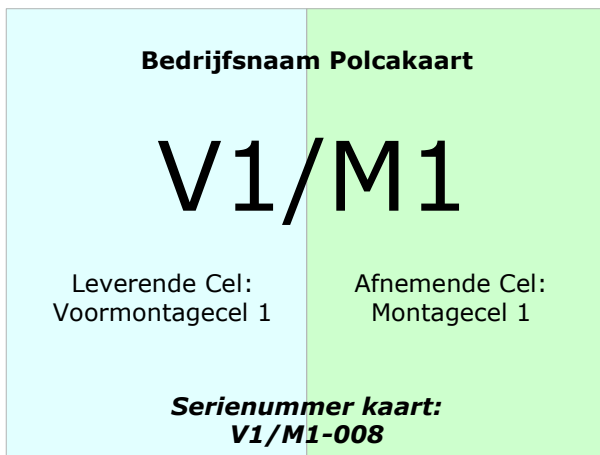
figuur 6 Polcaloops V1/M1 en M1/A2

2.5.2. Polcakaart

Een polcakaart (of kortweg: polca) is een fysieke kaart en is altijd verbonden aan een loop die over twee productiecellen loopt. De kaart krijgt de naam en kleurkenmerken van beide cellen, bijvoorbeeld V1/M1 (zoals in figuur 5), deze is weergegeven in figuur 7. Een polcakaart vertegenwoordigt geen producten maar alleen capaciteit, hij kan dus 'anoniem' genoemd worden. Wanneer een operator van cel V1 een polcakaart V1/M1 bezit, heeft hij daarmee toestemming een order met de vervolgbestemming M1 te produceren (mits deze natuurlijk ook vrijgegeven is). Het maakt niet uit om welk product het gaat, als de bewerkings-volgorde maar V1-M1 is.

Een uitbreiding van het standaard polcasysteem, zoals dat door Suri ontwikkeld is, kan gemaakt worden door een polcakaart een maximale werklast te geven. Dit is zinvol wanneer de variatie in werklast per order tussen de verschillende orders groot is. Met één polcakaart mag dan een order van maximaal de vastgestelde werklast geproduceerd worden. Overschrijdt een order de maximale werklast, dan zal deze moeten wachten tot er meerdere polcakaarten beschikbaar zijn. Het aantal polcakaarten dat in deze situatie benodigd is, is gelijk aan de benodigde werklast gedeeld door de werklast die door één polcakaart vertegenwoordigd wordt. Wordt de maximale werklast per polca bijvoorbeeld vastgesteld op 1 uur, dan zal een order welke 2 uur bewerkingstijd vraagt geproduceerd mogen worden indien hij 2 polcakaarten bezit.

De belangrijkste eigenschappen moeten op elke polcakaart zichtbaar zijn, zodat iedere werknemer snel kan zien tot welke loop een bepaalde kaart behoort.



figuur 7 Polcakaart

2.6. Polcaloops

2.6.1. Aantal polcakaarten per loop

Het aantal polca's in een bepaalde loop is afhankelijk van verschillende kenmerken van de productiecellen die zich in die loop bevinden. De berekening van het aantal polca's per loop zoals deze door Suri wordt gegeven, is:¹

$$N_{ab} = (DLPT_a + DLPT_b) * D_{a-b} \quad (2-1)$$

¹ Suri, R. 1998. *Quick Response Manufacturing: A Companywide Approach to Reducing Lead Times*. Portland, Oregon: Productivity Press Inc. p. 256

Waarbij:

- N_{ab} = Aantal polcakaarten in loop AB
- $DLPT_a$ = Gemiddelde doorlooptijd (in werkdagen) van een polca in cel A gedurende een bepaalde periode Q
- D_{a-b} = Het gemiddeld aantal orders dat per tijdseenheid van cel A naar cel B wordt verplaatst gedurende een bepaalde periode Q

Hierbij wordt er vanuit gegaan dat elke order aan 1 polca gekoppeld wordt, er wordt dus niet met een maximum werklast per polca gewerkt.

De som van de doorlooptijden van cel A en cel B wordt door Suri gebruikt als de cyclustijd van één polca. Deze berekening is niet helemaal juist, daarom wordt door Pieffers en Riezebos een veiligheidsfactor $(1+\alpha)$ aan formule (2-1) toegevoegd om bijvoorbeeld de lengte van transporttijden van een polca tussen de cellen te ondervangen: ¹

$$N_{ab} = (DLPT_a + DLPT_b) * D_{a-b} * (1 + \alpha) \quad [\alpha > 0] \quad (2-2)$$

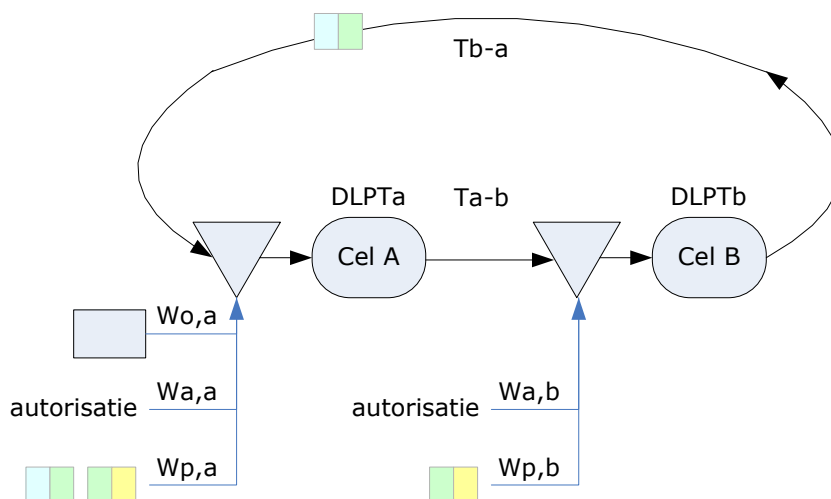
De gemiddelde doorlooptijd van een polca in een cel bevat de volgende elementen:

$$DLPT_a = O_a + B_a + W_a + T_a \quad (2-3)$$

Waarbij:

- O_a = Gemiddelde omsteltijd in cel a
- B_a = Gemiddelde bewerkingstijd in cel a
- W_a = Gemiddelde wachttijd in cel a
- T_a = Gemiddelde transporttijd binnen cel a

Om de totale cyclustijd van een polca nauwkeuriger te bepalen, zijn er echter nog meer tijden te onderscheiden (deze worden in formule 2-2 ruwweg afgeschat door toevoeging van de veiligheidsfactor). In sommige loops kunnen deze extra tijden een belangrijk aandeel vormen voor de berekening van de benodigde hoeveelheid polcakaarten, bijvoorbeeld wanneer de twee cellen fysiek ver uit elkaar liggen. De cyclus die door een polca wordt afgelegd, is schematisch weergegeven in figuur 8.



figuur 8 Cyclustijd polca

¹ Pieffers, J. & Riezebos, J. 2006. *Polca als innovatief materiaalbeheersingssysteem*. Brochure Polca, Rijksuniversiteit Groningen. Februari 2006. p. 28

De volgende wacht- en transporttijden doen zich buiten de cellen nog voor:

- T_{a-b} = Transporttijd van een polca tussen cel A en cel B
 (gezamenlijk met de order)
 T_{b-a} = Transporttijd van een polca tussen cel B en cel A
 (losgekoppeld van de order)
 $W_{o,x}$ = Wachtijd van een polca op een order voor cel X
 $W_{a,x}$ = Wachtijd van een polca op autorisatie voor cel X
 $W_{p,x}$ = Wachtijd van een polca op een polca voor cel X,
 hiervoor kunnen drie redenen zijn:
- Omdat er in verband met de maximale werklast van één polca meerdere polca's voor een order nodig zijn.
 - Omdat er een convergerende structuur is (zie paragraaf 2.6.3).
 - Omdat er nog een volgende loop is die overlapt (en er dus twee verschillende polca's voor één order nodig zijn).

De totale formule ziet er nu als volgt uit:

$$N_{ab} = \left[(O_a + B_a + W_a + T_a) + (W_{o,a} + W_{a,a} + W_{p,a}) + (O_b + B_b + W_b + T_b) + (W_{a,b} + W_{p,b}) + T_{a-b} + T_{b-a} \right] * D_{a-b} \quad (2-4)$$

Omdat de term $(1+\alpha)$ bedoeld is om de overige transporten af te dekken, is deze in bovenstaande formule weggelaten. In de nieuwe formule zijn namelijk alle transporten opgenomen, wat deze term dus overbodig maakt.

2.6.2. Lengte van loops

Het polcasysteem maakt gebruik van overlappende loops, doordat een tussenliggende cel onderdeel uitmaakt van twee polcaloops. Er zijn ook andere materiaalbeheersingsvormen die gebruik maken van loops, zoals kanban en CONWIP (CONstant Work In Process). Wat de verschillen zijn tussen de verschillende soorten loops en wat de voor- en nadelen hiervan zijn zal in de huidige paragraaf kort behandeld worden.

Korte loops

Kanban maakt gebruik van korte loops doordat een kanbankaart na één bewerking weer terugkeert naar het begin van deze bewerking. Voordeel van zo een korte loop is dat een eventuele storing in het productieproces snel opgemerkt kan worden, doordat een bepaalde buffer leegloopt zonder dat deze wordt bijgevuld. Nadeel is echter dat bij variaties in de vraag snel *blocking* en *starving* optreedt.

Lange loops

CONWIP streeft naar een constante hoeveelheid werk in het totale productieproces en maakt daarom gebruik van één lange loop over het gehele proces heen. Pas wanneer er een order geheel is afgerond, mag er met een nieuwe order gestart worden. Een voordeel van lange loops is dat een lange loop als buffer kan dienen. Hierdoor is het proces beter in staat om met variaties in de productmix en bewerkingstijden om te gaan. Nadeel van het gebruik van lange loops is dat het lang duurt voordat stagnaties in het proces worden opgemerkt. Wanneer een machine buiten werking is, worden voor deze machine enorme buffers opgebouwd doordat producten aangevoerd blijven. De stagnatie wordt pas

opgemerkt wanneer er, na verloop van tijd, geen CONWIP kaarten meer terugkeren.^I Daarnaast heeft de positie waar de orders zich in het proces bevinden geen invloed op de vrijgave van nieuwe orders.

Overlappende loops

Doordat polca gebruik maakt van overlappende loops, worden de voordelen van lange en korte loops met elkaar gecombineerd. Als gevolg van het plaatsen van twee cellen in één loop, is de koppeling tussen processen minder sterk dan bij kanban. Dit zorgt ervoor dat orders in een loop als een soort van buffer werken, waardoor die loop beter in staat is om variaties in vraag en productmix te absorberen.^{II}

Door de overlappende loops is iedere cel gekoppeld aan zijn leverancier en aan zijn afnemer. Dit zorgt ervoor dat een cel zijn productie kan aanpassen aan de informatie die hij van zowel zijn afnemer als zijn leverancier ontvangt, waardoor de prestaties van het gehele systeem positief beïnvloed kunnen worden.^{III} Productie van een order wordt namelijk alleen gestart, indien die cel de informatie heeft (in de vorm van de bijbehorende polca) dat de volgende cel aangeeft binnenkort capaciteit vrij te krijgen om de order te kunnen verwerken. Dit zorgt ervoor dat eventuele storingen in het productieproces snel opgemerkt worden in voorgaande schakels doordat er geen polcakaarten terugkomen.

Daarnaast zorgt de overlap van loops ervoor dat cellen gepushed worden om eenmaal gestarte orders af te ronden. Wanneer een probleemorder opzij wordt gelegd, wordt hierdoor een polca vastgehouden. Dit veroorzaakt een daling van de toestroom van orders omdat er minder polca's in de loop circuleren. Om toch aan meer orders te komen zal eerst de probleemorder moeten worden afgehandeld. Wanneer het aantal polca's in die loop niet krap was, betekent dit dat andere polca's in die loop alleen sneller gaan circuleren.

2.6.3. Complexe structuren

Wanneer het productieproces uit een lineaire structuur bestaat, is de invulling van de polcaloops eenvoudig te bepalen. De meeste processen zijn echter niet zo eenvoudig. Regelmatig komen er convergente structuren voor, bijvoorbeeld bij assemblage, en in andere situaties tevens divergente structuren, bijvoorbeeld wanneer een onderdeel voor meerdere producten gebruikt wordt. Voor deze twee structuren wordt de mogelijkheid tot het gebruik van polca verder toegelicht.

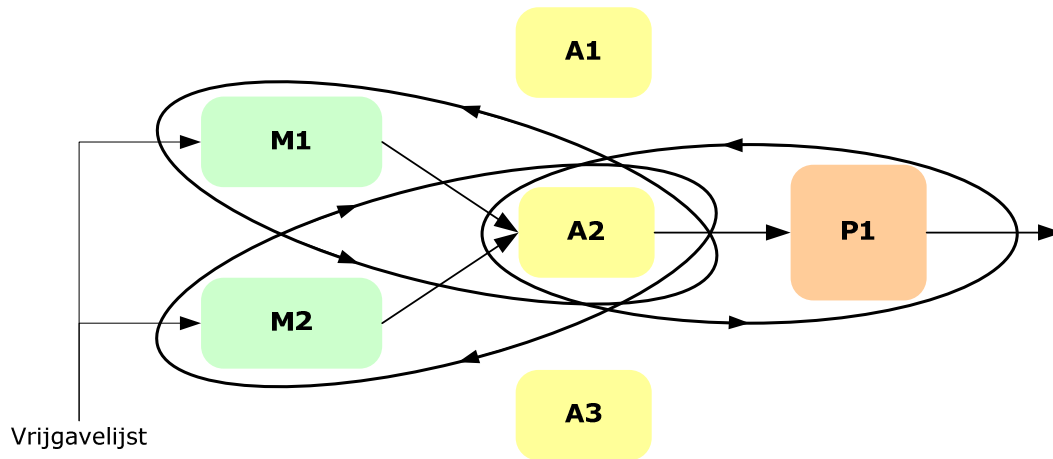
Convergente structuren

Bij convergerende structuren zoals in figuur 9 heeft een ontvangende cel (A2) meerdere leverende cellen (M1 en M2). De assemblage kan pas starten wanneer beide cellen geleverd hebben, wat betekent dat zowel orders met een polca M1/A2 als M2/A2 aanwezig moeten zijn. Daarnaast moet de polca A2/P1 aanwezig zijn om te mogen starten met de assemblage. Tijdens de assemblage is deze order dus verbonden aan drie polca's. Na de bewerkingen in cel A2 worden de eerste twee weer teruggezonden, en weten beide cellen tegelijk dat ze weer nieuwe halffabrikaten mogen produceren.

^I Hyer, N. & Wemmerlöv, U. 2002. *Reorganizing the Factory; Competing through Cellular Manufacturing*. Portland, Oregon: Productivity Press Inc. p. 342-344

^{II} Suri, R. 2003. *QRM and Polca: A Winning Combination for Manufacturing Enterprises in the 21st Century*. Technical Report, Center for Quick Response Manufacturing. May 2003. p. 26

^{III} Suri, R. & Krishnamurthy, A. 2003. *How to Plan and implement POLCA: A Material Control System for High-Variety or Custom-Engineered Products*. Technical Report, Center for Quick Response Manufacturing. May 2003. p. 6

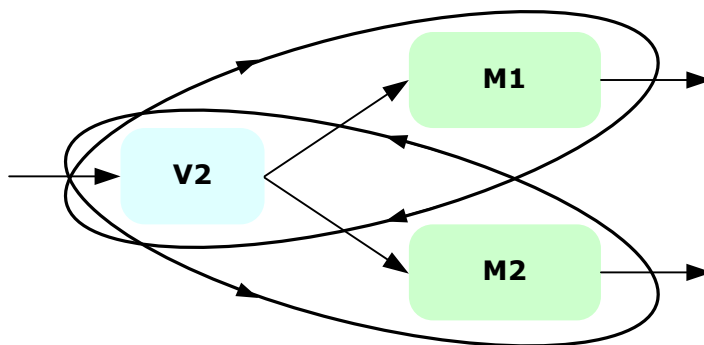


figuur 9 Convergente structuur

Het is van belang dat beide cellen (M1 en M2) wel met onderdelen voor dezelfde order aan de slag gaan. Hiervoor moeten vrijgavelijsten op elkaar worden aangepast. Het polcasysteem bepaalt telkens voor welke bestemmingscel geproduceerd mag worden. De planner bepaalt per cel de volgorde waarin orders voor een bepaalde bestemmingscel (in dit geval met name A2) afwerken moeten worden.

Divergente structuren

Bij divergerende structuren zoals in figuur 10 levert een cel (V2) aan meerdere cellen (M1 en M2). Om te voorkomen dat de ene cel te weinig toestroom van orders krijgt en de andere juist te veel, moet cel V2 de juiste ordervolgorde kunnen bepalen. Wanneer het aantal polca's per loop juist bepaald is, draagt het polcasysteem hier uit zichzelf zorg voor. Aan het aantal beschikbare polca's (V2/M1 en V2/M2) kan cel V2 namelijk zien welke opvolgende cel binnenkort capaciteit vrij krijgt. Op basis van het aantal beschikbare polcakaarten per loop kan cel V2 vervolgens de beslissing nemen welke order eerst te bewerken.



figuur 10 Divergente structuur

Problemen kunnen ontstaan wanneer cel V2 alleen producten ontvangt die voor één van de cellen M1 of M2 bestemd zijn. De loop van de voorliggende cel van V2 met V2 ontvangt namelijk geen informatie over de beschikbare capaciteit van de montagecellen M1 en M2. De planner moet dit probleem voorkomen door voor de voorgaande cel van V2 een vrijgavelijst op te stellen die hier rekening mee houdt.

2.7. Samenvatting en vervolg

In dit hoofdstuk zijn de oorsprong en de werking van polca als materiaalbeheersings-systeem aan de orde gekomen. Een voorbeeld is uitgewerkt en een aantal alternatieve structuren zijn behandeld. In hoofdstuk 3 worden product- en proceskenmerken genoemd met daarbij de relatie die zij met het polcasysteem kunnen hebben.

3. PRODUCT- EN PROCESKENMERKEN

3.1. Inleiding

In dit hoofdstuk zal bekeken worden welke product- en proceskenmerken zoal invloed hebben op de manier waarop orders gecoördineerd worden. Hieruit zullen uiteindelijk een aantal vraagstellingen worden opgesteld (hoofdstuk 4) waar middels casestudies een antwoord op gevonden zal worden. In hoofdstuk 5 wordt naar aanleiding van de vraagstellingen bepaald in hoeverre de scanningtool moet worden aangepast.

Dit hoofdstuk is opgedeeld in twee overzichten met daarin verschillende product- en proceskenmerken. Allereerst zullen in beide overzichten een aantal karakteristieken genoemd worden, zoals die in de literatuur gevonden worden. Deze karakteristieken dienen om een overzichtelijke indeling te kunnen maken van concrete kenmerken die van invloed kunnen zijn op het coördinatieproces. Per onderwerp zal uiteengezet worden hoe deze kenmerken het coördinatieproces beïnvloeden en wat daarvan de gevolgen voor polca kunnen zijn.

De karakteristieken die genoemd worden zijn niet alles omvattend, maar dienen als houvast om een aantal kenmerken overzichtelijk te kunnen indelen. Het is een globale indeling zoals die door Hyer & Wemmerlöv gemaakt wordt. Het doel is om hieruit een aantal vraagstellingen te verkrijgen, welke in de casestudies nader bekeken worden. Het is geen doel om een volledig overzicht van alle product- en proceskarakteristieken te geven, hiervoor moet meer literatuur toegepast worden. Dit zou te veel tijd vergen en valt bovendien buiten het bereik van dit onderzoek.

3.2. Productkenmerken

In dit deel worden productkenmerken gezocht die van invloed zouden kunnen zijn op de coördinatie van producten.

3.2.1. Productkarakteristieken

Definitie productkarakteristieken

Productkarakteristieken beslaan de belangrijke aspecten van een product. Hyer en Wemmerlöv onderscheiden bijvoorbeeld de volgende karakteristieken:¹

- Omvang
- Gewicht
- Vorm
- Onderdelen
- Grondstoffen

3.2.2. Indeling productkarakteristieken

Door het bestuderen van verschillende cases*, zijn een aantal productkenmerken gevonden welke hun invloed kunnen hebben op het beheersingssysteem. De

¹ Hyer, N. & Wemmerlöv, U. 2002. *Reorganizing the Factory; Competing through Cellular Manufacturing*. Portland, Oregon: Productivity Press Inc. p. 114

* Pieffers, J. 2005. *Let's Polca?* Afstudeerverslag TBW, Rijksuniversiteit Groningen. Augustus 2005. p 57-126 & Riezebos, J. 2001. *Design of a Period Batch Control Planning System for Cellular Manufacturing*. Rijksuniversiteit Groningen. p. 227-235

praktijkkenmerken die in de cases genoemd worden, kunnen allen in de vijf karakteristieken van Hyer en Wemmerlöv ingedeeld worden. Hierbij zal globaal uitgelegd worden wat de invloed op het beheersingsproces kan zijn en tevens wat hiervan de invloeden op het polcasysteem zijn.

Fysieke kenmerken (omvang, gewicht & vorm)

De grootte, het gewicht en de vorm van producten kunnen beperkingen leggen op de mogelijkheden voor transport. De specificaties hiervoor liggen vast in het productontwerp en kunnen alleen in de ontwerpfase worden gewijzigd. Eventuele beperkingen voor de coördinatie zullen geaccepteerd moeten worden. Met betrekking tot het aansturen van materiaalstromen moet rekening gehouden worden met welke transportroutes mogelijk zijn, en welke niet. Voor bepaalde producten kunnen bijvoorbeeld speciale takelsystemen geïmplementeerd zijn, doorgangen aangepast of vloeren versterkt. Deze gemaakte, of nog te maken, aanpassingen leggen een beperking op de transportflexibiliteit.

Polca coördineert alleen de materiaalstromen tussen verschillende cellen en heeft zodoende alleen te maken met de transportbeperkingen op deze plaatsen. Interne verplaatsingen moeten door de cellen zelf georganiseerd worden. Omdat de volgorde van bewerkingen door implementatie van polca niet zal wijzigen, zullen de huidige transportsystemen veelal voldoen. Problemen op dit gebied doen zich alleen voor wanneer de productielayout wordt aangepast. Daarnaast kunnen fysieke kenmerken van producten een beperking vormen wanneer er (bijvoorbeeld vanwege de grootte van producten) geen buffer gevormd kan worden. Dit heeft gevolgen voor de vorming van de polcacellen aangezien aan het begin en eind van iedere cel de mogelijkheid tot het vormen van een buffer moet zijn (dit om producten op een polcakaart te laten wachten). De omvang en vorm van producten kan tevens gevolgen hebben voor de wijze waarop een polcakaart bevestigd kan worden.

Onderdelen

Complexiteit

De complexiteit van producten wordt bepaald door het aantal onderdelen waaruit een product bestaat. Productie van producten met veel onderdelen, is veelal moeilijker aan te sturen dan producten met weinig onderdelen. Bij deze aansturing moet rekening worden gehouden met complexe materiaalplanning als gevolg van divergente en convergente materiaalstromen. Dit is te zien als een proceskenmerk welke wordt veroorzaakt door een productkenmerk.

De wijze waarop polca omgaat met divergente en convergente structuren is kort uitgelegd in paragraaf 2.6.3. De mate van complexiteit van de materiaalstromen kan beïnvloed worden door de engineers die de te volgen routings vastleggen. Wanneer er enige uitwisselbaarheid van machines is, kan door een slimme routeplanning de complexiteit van de routes verkleind worden.

Externe onderdelen

Het gebruik van externe onderdelen (onderdelen die van buiten de afdeling/organisatie komen) maakt de beheersing complexer. De externe onderdelen moeten tijdig bij het station dat de materialen nodig heeft beschikbaar zijn. Dit vergt goede communicatie en coördinatie.

Polca richt zich met name op de interne materiaalbeheersing en gaat er vanuit dat de benodigde grondstoffen aanwezig zijn. Dit wordt duidelijk gemaakt door de vrijgegeven orders. De aanlevering van externe onderdelen zal dus op een andere wijze gecoördineerd

moeten worden. Het station waar de materialen tijdig aanwezig moeten zijn, wordt bepaald door de engineers die de productroutings vastleggen. Deze plaats moet tijdig bekend zijn, zodat materialen op tijd geleverd kunnen worden. Routewijzigingen die op het laatste moment plaatsvinden, kunnen problemen met de materiaaltoelevering veroorzaken.

Grondstoffen

Speciale stoffen

Er zijn grondstoffen die om een speciale behandeling vragen. Zo moeten giftige of brandgevaarlijke grondstoffen volgens strenge regels worden opgeslagen. Met betrekking tot materiaalbeheersing is het hierdoor niet mogelijk deze stoffen op elke gewenste plek op voorraad te houden. Daarnaast zullen verscheidene grondstoffen in afgesloten ruimtes bewerkt moeten worden.

Bij de implementatie van polca kunnen speciale grondstoffen een beperking vormen voor de indeling van polcaloops en polcacellen. Ter voorkoming van dit soort problemen kunnen (indien mogelijk) alternatieve grondstoffen, die geen speciale behandeling nodig hebben, gebruikt worden. Hiervoor is het echter mogelijk dat het productontwerp zal moeten worden aangepast.

Kwaliteit van de grondstoffen

De kwaliteit van de grondstoffen heeft niet direct zijn invloed op het beheersingssysteem, maar wel indirect. Wanneer niet altijd aan de kwaliteitsnormen kan worden voldaan, worden meer producten afgekeurd of teruggestuurd. Hiervoor zal extra capaciteit vrijgemaakt moeten worden.

Bij implementatie van polca kunnen deze reparaties extra loops, tegengesteld aan de originele loops, veroorzaken. De mogelijkheden van tegengestelde loops worden in de huidige literatuur over polca niet benoemd. Bij de vorming van polcacellen moet tevens rekening worden gehouden met de plaatsen waar controles plaatsvinden. Het is wenselijk om de controles aan het eind van iedere cel plaats te laten vinden zodat, wanneer er een reparatie noodzakelijk is, dit in dezelfde cel kan gebeuren. Ook worden op deze manier alleen goedgekeurde producten in de buffers tussen de cellen opgeslagen. Wel moet er rekening gehouden worden dat de tijd die de controle in beslag neemt (de controletijd zelf en de wachttijd op controle), mee wordt genomen in de doorlooptijd van een polca.

3.3. Proceskenmerken

In dit deel worden proceskenmerken gezocht die van invloed zouden kunnen zijn op de coördinatie van producten.

3.3.1. Proceskarakteristieken

Proceskarakteristieken kunnen worden opgedeeld in een deel productie en een deel proces. Productie kan hierbij gezien worden als onderdeel van het gehele proces. Onder een proces wordt hier verstaan: het geheel van input → verandering → output. Productie kan hierbij als het 'statische' geheel binnen verandering gezien worden. Van beide factoren worden hierna verschillende karakteristieken genoemd.

Productiekenmerken

Een productiesysteem bestaat onder andere uit de volgende elementen:¹

¹ Riezebos, J. 2001. *Design of a Period Batch Control Planning System for Cellular Manufacturing*. Rijksuniversiteit Groningen. p. 77

- Machines
- Operators
- Gereedschappen
- Transportinrichting

Hier wordt het productiesysteem beschouwd als het statische geheel waarmee de verandering (fabricage van een product) gerealiseerd wordt. Het element cellen is hier bijvoorbeeld een afleiding van, dit is namelijk een groep machines. Het geheel waarop de bovenstaande kenmerken ten opzichte van elkaar is gepositioneerd kan onder de noemer 'layout' vallen.

Proceskenmerken

Wanneer naar kenmerken van het totale proces gekeken wordt (waar productiekenmerken dus een onderdeel van zijn), zijn er veel meer kenmerken zichtbaar. Deze hebben betrekking op het dynamische deel van de productie, het daadwerkelijke produceren.

Hyer en Wemmerlöv onderscheiden bijvoorbeeld de volgende proceskarakteristieken:¹

- Setup tijden
- Lot sizes
- Flow pattern
- Bottlenecks
- Manufacturing quality
- Labor flexibility

3.3.2. Indeling proces- en productiekarakteristieken

Door het bestuderen van verschillende cases* zijn een aantal proceskarakteristieken gevonden, welke hun invloed kunnen hebben op het beheersingssysteem. De praktijkkenmerken die in de cases genoemd worden, kunnen in de bovengenoemde productie en proceskarakteristieken worden geplaatst. Per karakteristiek zal globaal uitgelegd worden wat de invloed op het beheersingsproces kan zijn en welke gevolgen dit voor polca heeft.

Productiekarakteristieken

Machines

Productgebonden of uitwisselbare machines

Binnen productiecellen bevinden zich regelmatig machines die gelijksoortige bewerkingen kunnen uitvoeren. De karakteristieken van deze machines zijn belangrijk voor het inrichten van het beheersingsproces. Wanneer de machines uitwisselbaar zijn, geeft dit een mate van flexibiliteit in het planningsproces (dit geldt overigens ook voor de uitwisselbaarheid van machines tussen productiecellen). Er ontstaat een latente relatie doordat producten op meerdere machines bewerkt kunnen worden. Wanneer machines echter volledig productspecifiek zijn, geeft dit geen enkele mogelijkheid tot onderlinge uitwisseling van de

¹ Hyer, N. & Wemmerlöv, U. 2002. *Reorganizing the Factory; Competing through Cellular Manufacturing*. Portland, Oregon: Productivity Press Inc. p. 362-363

* Pieffers, J. 2005. *Let's Polca?* Afstudeerverslag TBW, Rijksuniversiteit Groningen. Augustus 2005. p 57-126 & Riezebos, J. 2001. *Design of a Period Batch Control Planning System for Cellular Manufacturing*. Rijksuniversiteit Groningen. p. 227-235

werklast. Mogelijkheden om latente relaties te creëren kunnen worden gezocht om routingflexibiliteit te genereren.

Wanneer machines binnen cellen uitwisselbaar zijn, levert dit geen beperkingen op voor polca. Cellen zijn dan juist beter in staat het orderaanbod te verwerken, dit omdat meerdere machines eenzelfde bewerking kunnen uitvoeren. Wanneer er echter ook uitwisselbaarheid tussen de cellen mogelijk is, zijn er twee scenario's denkbaar. In de eerste plaats kan er door de engineers van tevoren worden vastgesteld welke route doorlopen moet worden. In dit geval levert de uitwisselbaarheid van machines in verschillende cellen niet veel voordeel, doordat onafhankelijk van de huidige situatie altijd dezelfde route wordt gekozen. Een tweede mogelijkheid is dat de keuze voor de cel aan het polcasysteem wordt overgelaten. In die situatie zal een order bijvoorbeeld bestemming cel B of cel C meekrijgen. Er is dus nog keuzevrijheid voor welke cel aangedaan moet worden. De route waarvan de meeste polca's beschikbaar zijn, zou prioriteit kunnen krijgen omdat deze in de toekomst de meeste capaciteit beschikbaar heeft. Deze mogelijkheid wordt in de huidige literatuur over polca echter nog niet benoemd, omdat men bij de standaardsituatie uitgaat van een vaste route welke van tevoren vastgelegd is.

Automatisering, onbemande shifts

Een hoge mate van automatisering heeft, doordat veel machines onbemand kunnen produceren, veelal een daling van het aantal operators op de werkvloer tot gevolg. Hiermee moet bij de inrichting van het besturingssysteem rekening worden gehouden.

Wanneer er geen operators aanwezig zijn, is er geen mogelijkheid om polca-kaarten te circuleren. En wanneer een geautomatiseerde machine een onbemande shift draait, moet deze voor de gehele shift zijn input klaar hebben liggen. De vraag is nu of het polcasysteem in deze situatie nog wel toepasbaar is, aangezien de circulatie van de kaarten niet zo strikt kan worden uitgevoerd. In de beschikbare literatuur wordt er altijd vanuit gegaan dat er voldoende mogelijkheden zijn om de polca-kaarten te circuleren, de mogelijkheden tot toepassing van polca in bovenstaande situatie wordt niet benoemd.

Afgesloten machines

Om verschillende redenen kan het mogelijk zijn dat sommige machines afgeschermd moeten worden. Voorbeelden hiervan zijn: het gebruik van bepaalde gevaarlijke of schadelijke stoffen, het vrijkomen van enorme hoeveelheden geluid of de benodigdheid van een smetteloze ruimte. De afsluiting van deze machines ten opzichte van het 'standaard' proces veroorzaakt extra complicaties in het beheersingsproces, doordat er waarschijnlijk meer transporten plaatsvinden.

Wanneer dit binnen een cel plaatsvindt heeft polca er in principe geen controle over, aangezien polca alleen de transporten tussen de cellen coördineert. De stijging van het aantal transporten heeft echter wel tot gevolg dat de doorlooptijd toeneemt. Dit leidt tot een stijging van het benodigde aantal polca-kaarten. Andere gevolgen voor het gebruik van polca kunnen bijvoorbeeld beperkingen zijn voor het gebruik van een op kaarten gebaseerd systeem. De polca-kaarten mogen wellicht niet in een smetteloze ruimte binnenkomen, dit kan problemen opleveren met de bevestiging van de kaart aan de order.

Operators (flexibiliteit van)

De mate van flexibiliteit van operators is van belang voor de keuze van het beheersingssysteem. Aan de ene zijde zijn er flexibele operators, zij zijn uitwisselbaar over verschillende machines en zijn altijd aanwezig. Aan de andere zijde zijn er niet-flexibele operators die niet over verschillende machines uitwisselbaar zijn en/of slechts gedeeltelijk aanwezig zijn. Met deze kenmerken zal in het beheersingssysteem rekening moeten worden gehouden.

Bij niet-flexibele operators zal bij de inrichting van het polcasysteem rekening moeten worden gehouden met de wijze waarop de polcakaarten zullen circuleren, wie is er verantwoordelijk voor de circulatie? Flexibele werknemers kunnen een variatie van de capaciteit veroorzaken. Moet dit in het aantal polcakaarten terugkomen of is dit alleen een manier om slechts incidenteel problemen op te lossen? De gevolgen van operatorflexibiliteit voor de toepassing van polca wordt in de literatuur niet benoemd.

Gereedschappen

Wanneer gereedschappen door verschillende machines worden gebruikt, moet hiermee in de planning rekening worden gehouden. Er moet dusdanig gepland worden, dat een gereedschap op ieder tijdstip maar door één machine gebruikt kan worden. Deze beperking kan voorkomen worden door meerdere gereedschappen aan te schaffen, maar de kosten hiervan zullen tegen de voordelen moeten worden afgewogen.

Wanneer de gereedschappen binnen één cel door meerdere machines worden gebruikt, wordt er door polca geen rekening mee gehouden. Hiervoor zullen per cel intern prioriteitsregels moeten worden opgesteld. Wanneer het een deling van gereedschappen door meerdere cellen betreft, zal alleen het vrijgavesysteem de volgorde waarin orders (die dat bepaalde gereedschap nodig hebben) arriveren, kunnen beïnvloeden. Het polcasysteem zoals dat op de werkvloer opereert, biedt hier geen duidelijke oplossing voor.

Transportinrichting

De transportinrichting van het systeem is van belang voor het bepalen van de wijze waarop producten intern getransporteerd kunnen worden. Deze mogelijkheden zijn van belang voor het definiëren van de te gebruiken transportwegen en -methoden en kunnen hierdoor eventueel een beperking vormen.

Voor het gebruik van polca zal, bij eenzelfde layout, de huidige transportinrichting veelal geen problemen opleveren.

Layout

De plaats van de voorraadpunten kan belangrijk zijn voor een beheersingssysteem als polca. Aan het eind van iedere loop moet er namelijk de mogelijkheid zijn om te wachten op de benodigde polcakaart(en) van een volgende loop. De indeling van de cellen en loops moet daarom op een dusdanige wijze plaatsvinden dat dit mogelijk is. Een andere oplossing is het creëren van nieuwe voorraadpunten.

Proceskarakteristieken

Setup tijden

Wanneer de grootte van de omsteltijden per product sterk varieert, zal dit in de planning meegenomen moeten worden. Vooral wanneer zich volgordeafhankelijke omsteltijden voordoen, bijvoorbeeld bij een verfbewerking, is het van belang dat het aansturingssysteem hier rekening mee houdt.

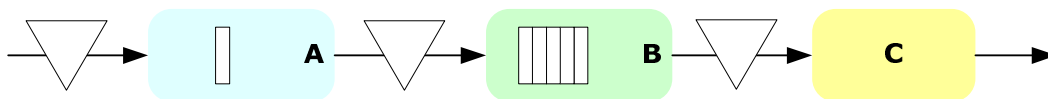
Voor berekening van het aantal polcakaarten in een loop is de gemiddelde omsteltijd benodigd. Een sterke variatie op korte termijn zal niet veel invloed hebben op polca, wanneer het gemiddelde maar redelijk overeenkomt. Het inplannen van orders met volgordeafhankelijke omsteltijden in combinatie met toepassing van polca, wordt in de huidige polcaliteratuur niet benoemd. Wanneer de volgordeafhankelijke bewerking de eerste bewerking in het productieproces is, is de volgorde nog redelijk te beheersen via het vrijgavesysteem. De bewerkingsvolgorde is bij toepassing van polca dan eveneens afhankelijk van de beschikbaarheid van de tweede cel. Is dit altijd dezelfde, dan is de

volgorde zeker. Is deze verschillend, dan is de volgorde van orders in cel 1 ook afhankelijk van de beschikbaarheid van de opvolgende cellen. Wanneer de volgordeafhankelijk producerende cel zich verderop in het productieproces bevindt, wordt het moeilijker de volgorde met polca te behouden, helemaal wanneer de productiestructuur complex is. Het niet behouden van de volgorde hoeft overigens niet altijd een probleem te zijn. Wanneer de volgordeafhankelijke cel geen bottleneck is, hoeft extra omsteltijd niet altijd een nadeel op te leveren.

Lot sizes

De grootte van de batches in het productieproces is van invloed op het beheersingsproces. Bij gebruik van een op kaarten gebaseerd systeem moet een kaart de juiste hoeveelheid werklast bevatten. Tevens moet het systeem in staat zijn variaties in batchgroottes op te vangen.

De bepaling van de hoeveelheid werklast per polca is genoemd in paragraaf 2.6. Het aantal polcakaarten wordt voor elke loop vastgesteld. Bij variaties in batchgrootte (door bijvoorbeeld een verbewerking of een oven) kan het zijn dat bij een groter wordende batch, een batch die uit meerdere orders bestaat, aan het eind van een loop gewacht moet worden op een extra order om de batch te complementeren. Dit is weergegeven in figuur 11 waarin bewerking B vijf orders tegelijk bewerkt. In de huidige literatuur over polca wordt deze situatie niet benoemd, het is wellicht een mogelijkheid om voor de loop B-C een soort van 'minimum' werklast per polcakaart in te stellen.



figuur 11 *Samenvoegen van orders*

Flow pattern

Complexe stromen

Complexe productstromen zijn moeilijker beheersbaar dan lijnstructuren. Divergentie, convergentie en herhalingen vragen extra coördinatie, zoals reeds genoemd bij productkenmerken (paragraaf 3.1.2: Onderdelen).

Externe bewerkingen

Wanneer bewerkingen buiten de gedefinieerde cellen plaatsvinden, moeten de transporten goed gecoördineerd worden. Enerzijds is het mogelijk dat een machine niet fysiek in een bepaalde cel staat maar er wel toe behoort, dit is voor de cel dus een intern transport. Anderzijds is het mogelijk dat een product een bewerking buiten de cel moet ondergaan. Dit kan een bewerking binnen de organisatie (maar in een andere cel) zijn, maar ook buiten de organisatie.

Polca richt zich alleen op verplaatsingen tussen cellen. Wanneer er binnen een cel transport plaatsvindt, is de cel zelf verantwoordelijk voor de coördinatie. Bij een externe bewerking (buiten de cel) kan de bewerking wellicht als een aparte cel gezien worden, en kan de ordertoestroom middels een polcaloop beheerst worden. Wanneer het aantal orders dat deze externe bewerking aandoet relatief klein is, kan deze ook als een afwijkende productstroom beschouwd worden en eventueel buiten het polcasysteem om worden aangestuurd.

Bottlenecks

Door variaties in de vraag en/of de doorlooptijden kunnen de bottlenecks variëren. Een beheersingssysteem moet kunnen omgaan met deze variërende bottlenecks.

Polca is in staat goed om te gaan met deze variëteit. Wanneer een bepaald station een bottleneck wordt, zal dit automatisch kenbaar gemaakt worden aan het vorige station doordat de polcakaarten niet meer terugkeren. Dit station zal hierdoor geen orders meer met die bestemming starten zolang deze volledig bezet is. Pas wanneer er weer kaarten terugkeren, mag er pas weer een order met de bottleneck als bestemming bewerkt worden.

Manufacturing quality

Strengere kwaliteitseisen (en kleine toleranties) beïnvloeden de planning van het productieproces. Er moet rekening gehouden worden met uitval en reparatie van producten. Deze 'on geplande' productie moet wel gecoördineerd worden, het beheersingssysteem moet dit aan kunnen sturen.

De gevolgen voor polca zijn al genoemd bij het productkenmerk kwaliteit van grondstoffen in paragraaf 3.1.2. Wanneer de kwaliteit van een machine zelf niet optimaal is en er hierdoor storingen optreden, wordt hier automatisch door het polcasysteem op gereageerd. De polcakaarten keren in dat geval niet meer van de probleemachine terug en er zal hierdoor geen order met deze machine als volgende bestemming opgestart worden.

Labor flexibility

Uitwisselbaarheid van werknemers en flexibiliteit qua capaciteit (door overwerken of tijdelijk extra personeel) stellen de eis aan het beheersingssysteem dat het flexibel met de hoeveelheid beschikbare capaciteit om kan gaan. Daarnaast moeten de betrokken werknemers in staat zijn met het systeem te werken. Een kaartsysteem staat dicht bij de operators en vereist daarom bereidheid en behendigheid om er mee overweg te kunnen.

Wanneer de capaciteit van een bepaalde bewerking substantieel verandert, door een verandering van het aantal operators maar ook machinecapaciteit, kan het aantal polcakaarten in de betreffende loops aangepast worden door een aantal kaarten toe te voegen of weg te halen. Veelal zal uitwisseling van werknemers plaatsvinden om slechts tijdelijke drukte op een bepaald station op te vangen, waardoor een verandering in het polcasysteem niet noodzakelijk is.

3.4. Samenvatting en vervolg

In dit hoofdstuk zijn verschillende product- en proceskenmerken gevonden die hun invloed op polca als beheersingsproces kunnen hebben. Zij zijn onderverdeeld in verschillende product-, productie- en proceskarakteristieken welke in de literatuur zijn gevonden. Deze dienen slechts als doel om de indeling van de kenmerken overzichtelijk te maken.

Het blijkt dat vele factoren van invloed kunnen zijn bij implementatie van het polcasysteem. Veel van deze factoren worden in de huidige polcaliteratuur nog niet benoemd. In hoofdstuk 4 zullen een aantal van deze factoren leiden tot vraagstellingen waar in de casestudies een antwoord op gezocht zal worden. Verder zal een ander deel van de factoren nog aan bod komen in hoofdstuk 8 waar enkele praktijksituaties uit de casestudies worden teruggekoppeld naar de theorie achter polca.

4. RELATIE POLCA VS. PRODUCT- EN PROCESKENMERKEN

4.1. Inleiding

Voortvloeiend uit het literatuuronderzoek naar polca en de karakteristieken van producten en het productieproces, kunnen een aantal vraagstellingen over de relatie tussen deze twee factoren worden opgesteld. In de casestudies zullen deze aspecten worden belicht tijdens het bepalen van de toepasbaarheid van polca. Met de verkregen resultaten zal vervolgens geprobeerd worden, een antwoord op de volgende vraagstellingen te vormen.

4.2. Opstellen van de vraagstellingen

Vraagstelling 1

Zoals bij de proceskenmerken naar voren is gekomen, zijn er verschillende machinekenmerken die wellicht van invloed zullen zijn op de inrichting van het polcasysteem. Machinekenmerken kunnen daardoor een mogelijkheid of beperking vormen voor de toepasbaarheid van polca. De eerste vraagstelling luidt daarom:

Hoe beïnvloedt het type machines (mate van automatisering, uitwisselbaarheid en noodzaak tot isolatie van de rest van het proces) dat in de organisatie aanwezig is, de mogelijkheden tot het gebruik van polca in die organisatie?

Bij het bepalen van het 'type' machine wordt gelet op drie kenmerken die voortkomen uit de karakteristieken. De mate van automatisering geeft aan in hoeverre er tijdens het productieproces een operator aanwezig is, en of er sprake is van volledig onbemande shifts. De uitwisselbaarheid van machines zegt iets over de routingflexibiliteit. Eventuele isolatie van de rest van het productieproces kan complicaties met betrekking tot productstromen (als gevolg van de machinekenmerken) aangeven.

Vraagstelling 2

Uit zowel de product- als de proceskenmerken blijkt dat hoge kwaliteitseisen hun invloed op het beheersingsproces kunnen hebben. Ze hebben wellicht meer controlemomenten en/of productreparaties tot gevolg, en daardoor extra bewerkingen en transporten. Hieruit volgt de tweede vraagstelling:

Op welke wijze beïnvloeden kwaliteitseisen met betrekking tot grondstoffen en productie de mogelijkheden tot het gebruik van polca?

Hoge kwaliteitseisen stellen extra eisen aan het beheersingsysteem. De gevolgen van repairs, feedbackloops en extra bewerkingen zijn nog niet bekend en kunnen misschien een beperking vormen voor de implementatie van polca.

Vraagstelling 3

Tijdens het ontwerp van het polcasysteem moet rekening worden gehouden met de voorwaarde dat aan het eind van iedere polcacel er de mogelijkheid moet zijn om producten te bufferen. Vraagstelling drie luidt:

Hoe beïnvloedt de huidige layout van het productieproces (met betrekking tot bufferlocaties) de mogelijkheden tot het gebruik van polca?

Wanneer in het proces geen mogelijkheden tot bufferen zijn, voorbeeld bij continue flowproductie, dan is polca geen geschikte beheersingsmethode aangezien er tussen cellen dan vaak geen buffermogelijkheden zijn.

De bovenstaande vraagstellingen zijn afgeleid van genoemde aspecten in hoofdstuk 3 die interessant lijken om in de casestudies te onderzoeken. Andere punten die in hoofdstuk 3 genoemd zijn en die, na uitvoering van de casestudies, eveneens interessant zijn, worden eventueel in hoofdstuk 8 verder behandeld. Hierin worden de uitkomsten van de casestudies met de theorie vergeleken.

4.3. Samenvatting en vervolg

Naar aanleiding van de product- en proceskenmerken uit hoofdstuk 3 zijn in dit hoofdstuk een drietal vraagstellingen opgesteld. De antwoorden op deze vraagstellingen zullen uit de casestudies naar voren moeten komen. Om de juiste informatie hiervoor uit de casestudies te verkrijgen, moet de scanningtool enigszins worden aangepast. Dit is een onderdeel van het volgende hoofdstuk.

5. NIEUWE POLCA SCANNINGTOOL & VOORBEREIDING CASESTUDIES

5.1. Inleiding

Om vraagstellingen uit hoofdstuk 4 te kunnen beantwoorden, zal de lijst met vragen van de huidige scanningtool moeten worden uitgebreid. In de eerste paragraaf van dit hoofdstuk zullen over de drie onderwerpen in de vraagstellingen vragen worden opgesteld waarmee het, na uitvoering van de casestudies, mogelijk moet zijn een uitspraak te doen over de antwoorden van deze vraagstellingen. Vervolgens zullen voorbereidingen worden getroffen voor het kunnen uitvoeren van de casestudies.

5.2. Aanpassen scanningtool

5.2.1. Punten van uitbreiding

Om de scanningtool dusdanig geschikt te maken dat de vraagstellingen uit hoofdstuk 4 beantwoord kunnen worden, zal elk van deze vraagstellingen achtereenvolgens behandeld worden met daarbij de benodigde uitbreiding van de scanningtool.

Uitbreiding naar aanleiding van vraagstelling 1

Vraagstelling 1 luidt: Hoe beïnvloedt het type machines (mate van automatisering, uitwisselbaarheid en noodzaak tot isolatie van de rest van het proces) dat in de organisatie aanwezig is, de mogelijkheden tot het gebruik van polca in die organisatie?

Om deze vraagstelling te kunnen beantwoorden is het noodzakelijk dat de volgende vier vragen tijdens het uitvoeren van de scanningtool beantwoord worden.

1. *Welke machines bevinden zich in de te construeren polcacellen?*
2. *In hoeverre zijn deze machines geautomatiseerd?*
3. *In hoeverre zijn deze machines uitwisselbaar?*
4. *Zijn er machines of bewerkingen die van de rest van de afdeling zijn afgezonderd?*

Hieruit volgt een opsomming van de machines die zich bevinden in de te vormen polcacellen met daarbij enkele karakteristieken. Het resultaat kan de eerste vraagstelling beantwoorden en wordt in de volgende vorm weergegeven:

Machinenaam	Geautomatiseerd?	Uitwisselbaar?	Afgezonderd?

De vragen worden in fase twee van de scanningtool gesteld omdat de resultaten van belang zijn voor het indelen van de polcacellen.

Uitbreiding naar aanleiding van vraagstelling 2

Vraagstelling 2 luidt: Op welke wijze beïnvloeden kwaliteitseisen met betrekking tot grondstoffen en productie de mogelijkheden tot het gebruik van polca?

Om deze vraagstelling te kunnen beantwoorden is het noodzakelijk dat de volgende vragen tijdens het uitvoeren van de scanningtool beantwoord worden.

1. *Waar in de te vormen polcacellen bevinden zich kwaliteitscontrolepunten en hoe wordt dit uitgevoerd?*
2. *Hoe vaak en waar zijn reparaties noodzakelijk?*

Hieruit volgt een overzicht van de controlepunten die zich in het proces bevinden, met daarbij informatie over de frequentie van en de plaatsen waar repairs plaatsvinden. Ook deze vragen zullen in fase twee van de scanningtool worden geplaatst, omdat de resultaten van belang zijn voor het indelen van de polcacellen.

Uitbreiding naar aanleiding van vraagstelling 3

Vraagstelling 3 luidt: Hoe beïnvloedt de huidige layout van het productieproces (met betrekking tot bufferlocaties) de mogelijkheden tot het gebruik van polca?

Om deze vraagstelling te kunnen beantwoorden is het noodzakelijk dat de volgende twee vragen tijdens het uitvoeren van de scanningtool beantwoord worden.

1. *Hoe ziet de huidige layout van het productieproces eruit?*
2. *Waar in het proces zijn wel of geen buffermogelijkheden?*

Hieruit volgt inzicht in de huidige layout met daarbij de plaatsen waar het mogelijk is producten wel of niet op voorraad te houden. De resultaten van deze vragen zijn van invloed op de vorming van de polcacellen, ook deze worden dus in fase twee van de scanningtool gesteld.

5.2.2. Aangepaste scanningtool

De huidige scanningtool kan worden aangepast door de bovengenoemde vragen toe te voegen aan de tweede fase. Door deze toevoeging ontstaat er een betere handleiding voor het bepalen van de polcacellen en zullen, na uitvoering van de casestudies, de vraagstellingen uit hoofdstuk 4 beantwoord moeten kunnen worden. De aangepaste scanningtool is terug te vinden in bijlage 1.

5.3. Voorbereiding casestudies

5.3.1. Doel casestudies

Met het uitvoeren van de case studies worden twee soorten doelen bereikt: een onderzoeksdoel en een businessdoel.

Het onderzoeksdoel is tweeledig:

1. Het vinden van oorzaken die de implementatie van polca (vooral nog) beperken. Hiermee kunnen de grenzen van toepasbaarheid worden bepaald.
2. Het vinden van een antwoord op de vraagstellingen zoals die in hoofdstuk 4 zijn opgesteld.

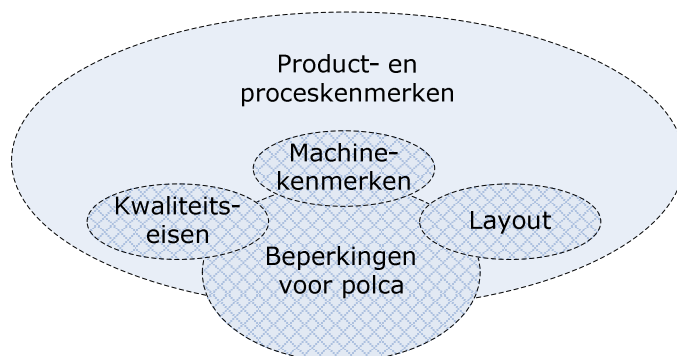
Het businessdoel voor de deelnemende bedrijven is:

1. Inzage krijgen in de mogelijkheden van polca voor de eigen onderneming.

De casestudies zijn niet bedoeld om een generaliserend oordeel over de algemene toepasbaarheid in organisaties te geven. Daarvoor zou bovendien het aantal cases veel te klein zijn. Het is bedoeld om in de praktijk te ondervinden welke product- en proceskenmerken zoal beperkingen geven en/of aanpassingen aan het polcasysteem vragen. In de huidige literatuur worden geen praktische kenmerken van productieorganisaties genoemd, die een beperking vormen voor de implementatie van polca. Het is dus een manier om de theorie over polca te spiegelen aan een aantal praktijksituaties.

5.3.2. Conceptueel model

Uit eerder onderzoek is gebleken dat, wanneer er voldaan wordt aan de algemene voorwaarden voor polca, er nog steeds problemen zijn omtrent de invoering van polca.¹ In hoeverre dit veroorzaakt wordt door product- en proceskenmerken is niet bekend. In dit onderzoek wordt getracht een deel van de beperkingen op te sporen. In de vraagstellingen wordt verondersteld dat machinekenmerken, kwaliteitseisen en de layout van de organisatie een onderdeel zijn van de beperking. Dit kan weergegeven worden middels het conceptueel model in figuur 12. Verondersteld wordt dat beperkingen voor de toepassing van polca niet alleen door product- en proceskenmerken worden veroorzaakt, maar ook door andere aspecten, als bijvoorbeeld omgevingsfactoren. Vandaar dat de ellips die de beperkingen aangeeft deels buiten die van de product- en proceskenmerken valt. Door middel van de casestudies wordt geprobeerd een beter beeld te krijgen van het gearceerde gedeelte uit dit model.



figuur 12 Conceptueel model van de casestudies

5.3.3. Opzet casestudies

Tijdens het uitvoeren van de casestudies moet voldoende informatie verzameld worden, opdat de vragen binnen de scanningtool beantwoord kunnen worden en daarmee de verschillende doelen bereikt. Met behulp van de scanningtool wordt de benodigde informatie verzameld, welke wordt gepresenteerd in het casestudie verslag. In de casestudie analyse wordt deze informatie vervolgens geanalyseerd. Beide onderdelen worden hieronder verder uitgewerkt.

Casestudie verslag

De informatie kan worden onderverdeeld in een aantal categorieën:

- Bedrijfsoverzicht
- Productkenmerken en vraaggegevens
- Proceskenmerken

¹ Pieffers, J. 2005. *Let's Polca?* Afstudeerverslag TBW, Rijksuniversiteit Groningen. Augustus 2005. p 129-131

- Materiaalbeheersing en voorraadbeheersing
- Logistieke parameters

Uit de informatie zal blijken of de organisatie voldoet aan de gestelde basisvoorwaarden voor polca, zoals weergegeven in paragraaf 2.3.2. Welke informatie in elk van de categorieën verzameld wordt, zal hieronder uiteengezet worden.

Bedrijfsoverzicht

In het bedrijfsoverzicht worden algemene karakteristieken van een bedrijf genoemd, zoals de grootte en welke producten worden gemaakt. Verder worden er algemene indrukken verkregen over de organisatie en de problemen die er binnen de organisatie spelen, waarvoor polca een oplossing beoogt te zijn (informatie voor fase 1 van de scanningtool).

Productkenmerken en vraaggegevens

In dit deel wordt aangegeven welke producten in de organisatie worden gemaakt en welk deel daarvan op de betreffende afdeling wordt geproduceerd. Daarnaast worden de vraaggegevens bekeken om een indruk te krijgen van de variëteit aan producten en de vraag ernaar.

Vanuit het bedrijfsoverzicht, de productkenmerken en de vraaggegevens zal duidelijk worden of de organisatie valt onder de organisatievormen die geschikt zijn voor polca:

- Organisaties die gekenmerkt worden door een grote variëteit aan producten en een veranderlijke vraag.
- Organisaties die MTO of ETO produceren en produceren in kleine batches. MTO = Make To Order, producten worden alleen op order geproduceerd. ETO = Engineer To Order, producten worden klantspecifiek ontworpen en gemaakt.

Proceskenmerken

Voor het uitvoeren van de scanningtool is het belangrijk informatie te verkrijgen over de relaties tussen de verschillende cellen (from-to-relaties), de aanwezige productroutings en welke van deze productroutings eventueel storend kunnen werken, doordat zij maar weinig voorkomen en een alternatieve route volgen. De belangrijkste kenmerken voor de beantwoording van de vraagstellingen uit hoofdstuk 4 worden hier genoemd, te weten: machinekenmerken (automatisering, uitwisselbaarheid, isolatie), de kwaliteitseisen die gesteld worden en de layout van het systeem: waar zijn de buffermogelijkheden.

Materiaalbeheersing en voorraadbeheersing

Toepassing van polca stelt als voorwaarde de aanwezigheid van een HL/MRP systeem, zie paragraaf 2.3.2. Dit kan gecreëerd worden indien er betrouwbare kennis is van de gemiddelde celdoorlooptijden (voorwaarde 2, paragraaf 2.3.2) waarmee autorisatiedata bepaald kunnen worden. Uit de casestudie zal moeten blijken in hoeverre een organisatie hiertoe in staat is. Om ordervrijgave te optimaliseren is het wenselijk kennis te hebben van productspecifieke celdoorlooptijden. Voor een goede coördinatie tussen planning en de werkvloer is het noodzakelijk dat er duidelijke productielijsten beschikbaar zijn met informatie over productroutes en werkinhoud.

Logistieke parameters

Door middel van een betrouwbaar capaciteitsplan moet de organisatie in staat zijn de gemiddelde bezettingsgraad van de verschillende cellen vast te stellen (voorwaarde 3,

paragraaf 2.3.2). Er wordt door Suri een norm aangehouden van 30% tot 80%.¹ Daarnaast is het voor de beoordeling van de effectiviteit van polca belangrijk om te weten wat de mogelijkheden van capaciteitsuitbreiding zijn. Naast kennis van gemiddelde celdoorlooptijden is kennis van interceldoorlooptijden van belang voor het bepalen van de totale doorlooptijden en daarmee het vaststellen van de polcacyclustijden (paragraaf 2.6.1).

Casestudie analyse

De analyse van de casestudies wordt als volgt opgebouwd:

- Achtergrond casestudie
- Onderzoeken van de voorwaarden
- Identificatie van polca-productiecellen
- Ontwerp van het polcasysteem
- Beoordelen van het polcasysteem

Hierin zal worden bekeken in hoeverre polca een bruikbaar materiaalbeheersingssysteem voor de desbetreffende organisatie is.

Achtergrond casestudie

Hierin zal aan de orde komen voor welke problemen op de afdeling polca een oplossing zou moeten bieden.

Onderzoeken van de voorwaarden

In hoeverre voldoet de organisatie (of de betreffende afdeling) aan de voorwaarden die voor polca gesteld worden (genoemd in paragraaf 2.3.2). Hierbij komen aan de orde: de productieomgeving, de aanwezigheid van sequentiële relaties, betrouwbare doorlooptijden, productielijsten, het capaciteitsplan en de huidige bezettingsgraden.

Identificatie van polca-productiecellen

In deze fase wordt vormgegeven aan het polcasysteem. Welke cellen kunnen worden geïdentificeerd en in hoeverre zijn machinekenmerken, kwaliteitscontroles en buffermogelijkheden hierop van invloed.

Ontwerp van het polcasysteem

Allereerst wordt in deze fase het doel van het te ontwerpen systeem vastgesteld. Vervolgens wordt een aanpak vastgesteld voor de vorming van het polcasysteem. Deze kan afhankelijk zijn van het betreffende productieproces of de product- en productiekenmerken. Deze aanpak wordt toegepast en uitgewerkt tot een mogelijke invulling van het polcasysteem.

Beoordelen van het polcasysteem

In deze fase wordt het ontworpen polcasysteem beoordeeld op de punten die in fase 5 van de scanningtool genoemd worden. Daarnaast wordt bepaald of met dit systeem de gestelde doelen kunnen worden behaald en wat eventuele beperkingen zijn. Verder worden voor de organisatie suggesties voor verder onderzoek genoemd.

¹ Suri, R. 1998. *Quick Response Manufacturing: A Companywide Approach to Reducing Lead Times*. Portland, Oregon: Productivity Press Inc. p. 164-165

5.3.4. Selectie van cases

Het aantal bedrijven waar de casestudie wordt uitgevoerd, is vooraf bepaald op twee of drie. Grootste beperkende factor hierbij is de tijdsbelasting van 35 EC die voor het gehele onderzoek staat. Bij het uitvoeren van slechts twee of drie cases bestaat het gevaar dat de resultaten niet generaliseerbaar zijn. Dit is echter ook niet nodig omdat het slechts om een spiegeling van de theorie aan enkele praktijksituaties gaat.

Bedrijven die naar aanleiding van Lean Summit (Oosterbeek, 29 oktober 2005) interesse in polca hebben getoond, zijn aangeschreven en hebben de brochure over polca toegestuurd gekregen. Daarnaast zijn verschillende bedrijven vanuit de contacten met het cluster OPS en organisaties die aanwezig waren op het GTCM-congres (Groningen, 3-5 juli 2006) geïnformeerd over de mogelijkheden van polca. Bij geïnteresseerde bedrijven is vervolgens via oriënterende gesprekken bepaald of ze aan de harde eisen voor polca voldoen.

De geselecteerde bedrijven zijn:

- Bombardier Transportation, Brugge (België) (mei, juni)
- Neopost Technologies, Drachten (augustus, september)

Binnen deze organisaties zullen de cases zich beperken tot één afdeling, te weten: de centrale werkplaats bij Bombardier en de onderdelenfabricage bij Neopost.

Het aantal uit te voeren cases is in de loop van het onderzoek gesteld op twee. Dit is gedaan om een extra hoofdstuk mogelijk te maken met daarin een terugkoppeling van de praktijk in de cases naar de theorie achter polca. Deze analyse wordt uitgevoerd in hoofdstuk 8.

5.3.5. Dataverzameling

De informatie waarop de cases gebaseerd worden, wordt op drie manieren verkregen:

- gestructureerde en ongestructureerde interviews met werknemers
- observatie van het productieproces
- analyse van beschikbare data (vraaggegevens en productiegegevens)

De volgende personen zijn gestructureerd geïnterviewd:

Bombardier Transportation:

Johan DeWaele	Hoofd Planning
Kamiel Coppens	Afdelingsplanner
René van Broecke	Productieleider
Herbert Moolenaar	Lean manager

Neopost Technologies:

Arnout Rietveld	Team leader New products and processes
Hilbert Hoekstra	Productieleider
Wybren Hoogerhuis	Planner Material Management

Deze interviews zijn opgebouwd aan de hand van de inhoud van de aangepaste scanningtool.

De interviews met werknemers en de observatie van het productieproces neemt bij Bombardier en Neopost respectievelijk 1 en 2 weken in beslag. De overige tijd van de

casestudies (6 à 7 weken per organisatie) wordt in beslag genomen door het analyseren van de data, het uitwerken van het casestudierapport en het voorbereiden van een bedrijfspresentatie.

5.4. Samenvatting en vervolg

In dit hoofdstuk is de scanningtool op een dusdanige manier aangepast, dat het mogelijk is de vraagstellingen te beantwoorden. Daarnaast is aangegeven hoe de casestudies worden uitgevoerd. In hoofdstuk 6 wordt de casestudie bij Bombardier Transportation uitgewerkt en in hoofdstuk 7 de casestudie bij Neopost Technologies.

6. CASESTUDIE BOMBARDIER TRANSPORTATION

6.1. Casestudie verslag

6.1.1. Bedrijfsoverzicht

Bombardier is een Canadees bedrijf dat is opgesplitst in drie onderdelen: aerospace, transportation en capital. In Brugge is een deel van Bombardier Transportation gevestigd. Zij houden zich bezig met de productie van treinen, trams en metro's die bestemd zijn voor over de hele wereld. In Nederland zijn de dubbeldekker van de NS (o.a. Zwolle – Roosendaal), de internationale ICE (o.a. Amsterdam – Frankfurt) en de metro in Rotterdam een aantal bekende daarvan. In Brugge zijn op dit moment drie lopende projecten: Tram3000, AGC en DD.

Binnen Bombardier wordt geprobeerd de Lean Manufacturing strategie zo goed mogelijk toe te passen. Dit is onder andere zichtbaar aan verschillende plakaten binnen het bedrijf, de aanwezigheid van kanbanvoorraden en de aanwezigheid van de functie Lean Manager. Vanuit de Leangedachte is de vraag gerezen of het concept van polca wellicht toepasbaar is binnen de organisatie en dan met name binnen de centrale werkplaats. Deze vraag is de aanleiding voor de casestudie.

6.1.2. Productkenmerken en vraagegegevens

Fabrieksniveau

De vraag binnen Bombardier Transportation Brugge vindt plaats op projectbasis. Er lopen meestal 3 à 4 projecten (en daarmee verschillende eindproducten) gelijktijdig. Het eindproduct kan daardoor gezien worden als voor enkele jaren standaard. Binnen het eindproduct bevindt zich een enorme variëteit aan onderdelen, dit veroorzaakt een complexe aansturing.

Momenteel zijn er 3 projecten waaraan gewerkt wordt (erachter staat aangegeven met welk interval er geleverd wordt):

1. Tram3000, 1 per week
2. AGC (Autorail Grande Capacité), 1 treindeel per dag
3. DD (dubbeldek), 1 per 8 dagen

Afdelingsniveau

Binnen de centrale werkplaats wordt een deel van de metalen onderdelen voor de treinen, trams en metro's geproduceerd. Het overige deel wordt uitbesteed. Het assortiment van de werkplaats is veelzijdig; er worden minimaal 3500 verschillende producten geproduceerd, waarvan de vraag varieert. Veel producten bestaan uit 1 onderdeel, sommige bestaan uit meerdere aan elkaar gelaste onderdelen. Van ieder product zijn er 1 tot 70 per tram of trein benodigd, wat het totaal aantal te produceren producten op een grote hoeveelheid brengt.

6.1.3. Proceskenmerken op afdelingsniveau

Identificatie productstromen

Binnen de centrale werkplaats werden in eerste instantie door de afdelingsplanner en productieleider geen productstromen geïdentificeerd. Men keek naar het proces met het

idee dat alle mogelijke bewerkingsvolgordes kunnen voorkomen en dat alle producten van elkaar verschillen. Na analyse van de beschikbare productinformatie zijn, in samenwerking met bovengenoemde personen, toch een viertal productstromen onderscheiden:

1. Profielen
2. Plaatbewerkingen
3. Lassen
4. CM lasverzameling Tram30000

Daarnaast zijn er twee op zichzelf staande onderdelen:

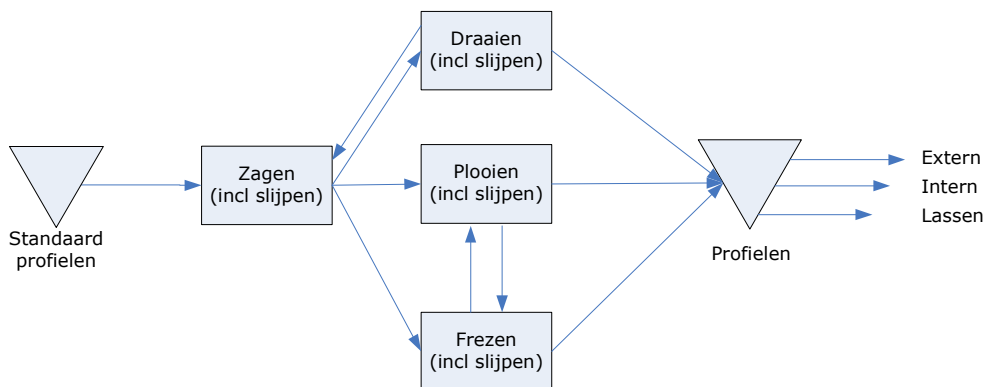
- Kaliber
- Gereedschappen

Kaliber is een aparte afdeling welke opzetframes maakt voor het lassen, ze leveren gereedschappen voor intern gebruik. Kaliber maakt ook soms gebruik van de machines in de centrale werkplaats, maar dit wordt niet als een verstoring ervaren en wordt derhalve niet ingepland. De groep gereedschappen is verantwoordelijk voor verschillende gereedschappen en wordt tevens ingezet bij machinestoringen.

Van iedere productstroom is een stromingsdiagram gemaakt met daarin de meest voorkomende bewerkingsvolgordes. Zij zijn gebaseerd op analyse van de beschikbare data en gesprekken met de productie leider en de afdelingsplanner.

Profielen

Binnen de productstroom profielen worden verschillende soorten profielen geproduceerd. De ingekochte profielen komen direct op de afdeling binnen, alwaar het mogelijk is een kleine voorraad aan te houden. Daar worden ze eerst afgekort op de gewenste lengte en ondergaan vervolgens de diverse, per product verschillende, benodigde bewerkingen, als draaien, plooiën* en frezen, zie figuur 13.



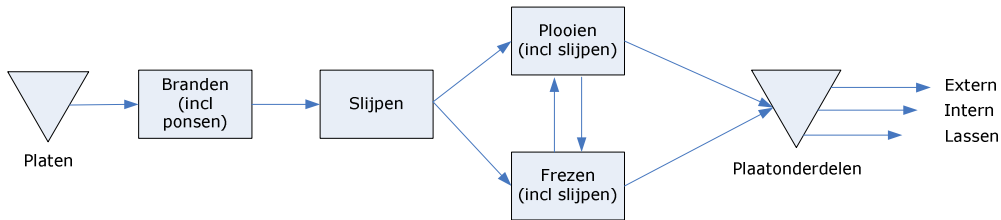
figuur 13 Materiaalstroom profielen

Plaatbewerkingen

De productstroom plaatbewerkingen start met het branden van onderdelen uit een metalen plaat. Na het branden of ponsen is de nabewerking afbramen noodzakelijk. Deze nabewerking wordt door de speciale ontbraamgroep (slijpen) uitgevoerd. Overige

* plooiën is het Vlaamse woord voor buigen

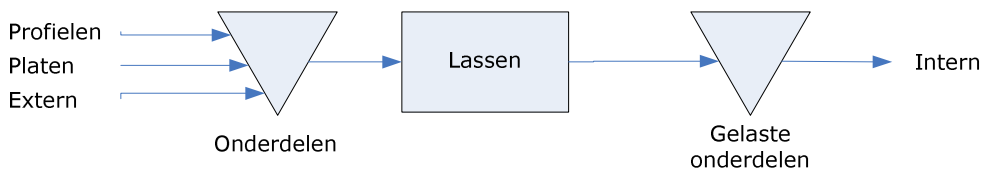
ontbraambewerkingen, bijvoorbeeld na het frezen, worden door de eigen groep uitgevoerd. Na het slijpen kunnen diverse bewerkingen in verschillende volgordes volgen, zie figuur 14.



figuur 14 Materiaalstroom plaatbewerkingen

Lassen

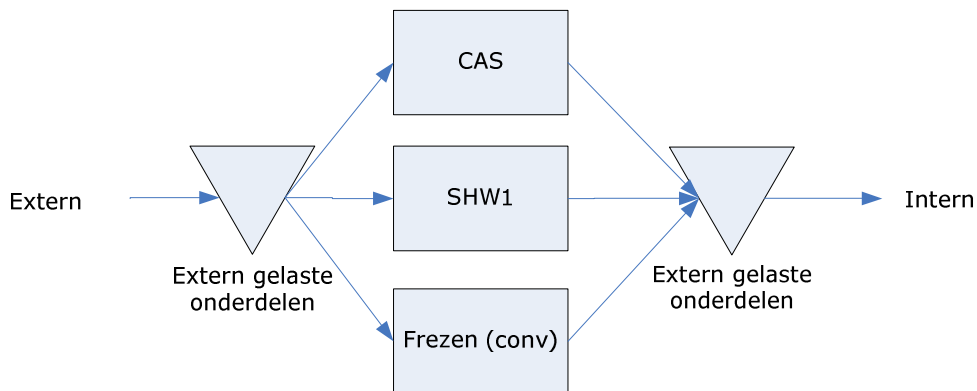
Sommige van de producten moeten gelast worden. Dit wordt als een aparte productstroom beschouwd. De input voor de lasafdeling bestaat uit zowel externe onderdelen, onderdelen uit de productstroom profielen als onderdelen uit de productstroom plaatbewerkingen. De output bestaat uit gelaste onderdelen welke in de treinen verwerkt worden.



figuur 15 Materiaalstroom lassen

CM lasverzameling tram3000

In deze groep worden producten die extern gelast zijn, verder bewerkt. Na het extern lassen is het altijd nodig om producten na te behandelen op de CAS1, op de SHW1 of door middel van conventioneel frezen. Daarna stromen producten verder voor intern gebruik.



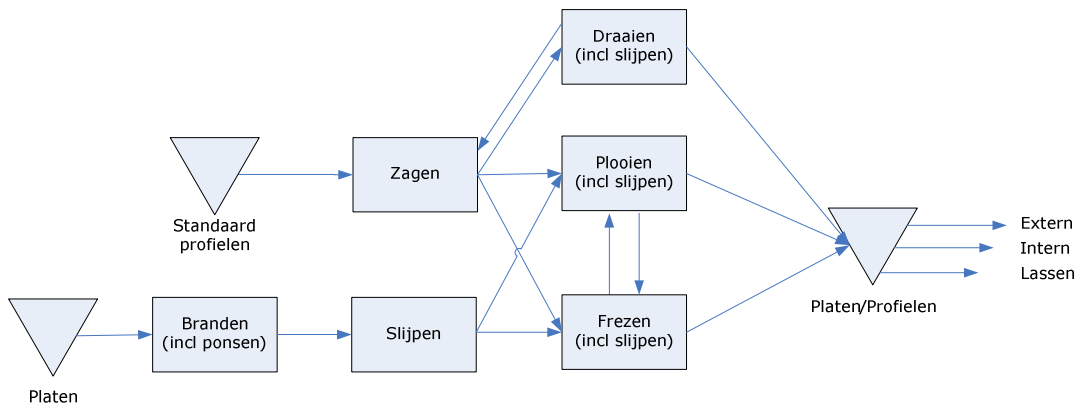
figuur 16 Materiaalstroom CM lasverzameling tram3000

Analyse from-to-tabellen

Binnen Bombardier zijn geen standaard from-to-matrices beschikbaar. De grootte van de stromen tussen de verschillende groepen kan wellicht wel uit het planningsysteem gehaald worden. Hierin staan de orders weergegeven met onder andere de bijbehorende routes. Het blijkt echter lastig om hieruit een volledige from-to matrix te filteren, met daarin de routes en de frequenties waarmee deze routes voorkomen. Wel kunnen veronderstelde

routes gechecked worden, en kan een indruk gekregen worden van hoe vaak een route voorkomt.

Om een uitspraak te kunnen doen over de effectiviteit van polca binnen de centrale werkplaats, zijn de beschikbare gegevens zo goed mogelijk samengevoegd tot een algemeen stromingsdiagram, zie figuur 17. De exacte from-to relaties binnen de verschillende groepen zullen in verder onderzoek nader bepaald moeten worden. Verder zijn er ook een aantal (weinig voorkomende) orders die een alternatieve route volgen, welke niet in onderstaande figuur wordt weergegeven. Bij toepassing van het polcasysteem moet het mogelijk blijven deze producten te produceren. Omdat het slechts weinig voorkomende routings zijn, waarvoor het polcasysteem niet specifiek ontworpen is, kunnen deze als storend worden ervaren. Aangezien er geen inzicht is in alle from-to relaties, is het niet exact bekend hoeveel storende routings er zijn. Bij invoering van het polcasysteem zal er een prioriteitsregel gemaakt moeten worden met betrekking tot het produceren van orders met een afwijkende routing.



figuur 17 Materiaalstroom totaal

Machines

De in de centrale werkplaats aanwezige machines zijn weergegeven in tabel 1. Er is tevens aangegeven in hoeverre ze uitwisselbaar zijn.

Tabel 1 Machinegegevens centrale werkplaats Bombardier

Cel	Afkorting	Machinenaam	Geauto- matiseerd?	Uitwisselbaar?	Afge- zonderd?
Branden	BRA2	Laser	Deels	Deels met BRA1 en PEC	Nee
	BRA1	Messer	Deels	Deels met BRA2	Nee
	BRH2	Handbranden	Nee		Nee
	PHS3	Conventioneel ponsen	Nee	Deels met PEC	Nee
	SNC1	Cnc schaar	Deels		Nee
	PEC	Trumph cnc pons lichte platen	Deels	Deels met BRA2	Nee
Draaien	DRA1	Draaien conventioneel	Nee		Nee
Frezen	BTR1	Aciera coördinaten	Nee	Deels met BTR2	Nee
	BTR2	Boren caser/donou	Nee	Deels met BTR1	Nee
	BTR3	Boren	Nee		Nee
	BTR4	Vloeiboren	Nee		Nee
	FRE1	Frezen huron	Nee	Deels met FRE2 en FRE3	Nee
	FRE2	Frezen/boren sip7	Nee	Deels met FRE1 en FRE3	Nee
	FRE3	Dixi frezen	Nee	Deels met FRE1 en FRE2	Nee

Cas	CAS1	Caser centrum	Deels	Nee
Lassen	LAA4	Lassen alu	Nee	Ja
	LAI4	Lassen inox (RVS)	Nee	Ja
SHW1	SHW1	Cnc boor/freesmach.	Deels	Nee
Plooien	BUH1	Centerwals	Nee	Nee
	PLO1	Plooien 50t	Nee	Deels met PLO2
	PLO2	Plooien 300t	Nee	Nee
Slijpen	OBR1	Grindingmaster ontbramen	Nee	Nee
	OBR3	Bandschuurmachine	Nee	Nee
	SLA4	Slijpen alu	Nee	Nee
	SLH1	Slijpen handmolen	Nee	Nee
	SLI4	Slijpen inox (RVS)	Nee	Nee
	SLS4	Slijpen staal	Nee	Nee
	DRS1	Draadsnijmachine	Nee	Nee
	FLA1	Flaarmachine	Nee	Nee
	OBR2	Borstelmachine rsa stii	Nee	Nee
	TAP1	Tapmachine piping	Nee	Nee
	VLL1	Vlakmachine	Nee	Nee
Zagen	ZAL1	Alu snelzaag	Nee	Nee
	ZCI2	Zagen katenbach	Nee	Nee
	ZLI4	Lintzaag doel	Nee	Nee

Doordat er een aangepaste afvoer en ventilatie benodigd zijn, is de groep lassen buiten de centrale werkplaats gepositioneerd. Het grenst echter wel direct aan deze afdeling, wat daardoor geen logistieke problemen met zich meebrengt.

Wanneer een machine deels geautomatiseerd is, wordt hiermee bedoeld dat deze voor een beperkte tijd onbemand kan produceren. Veelal is er wel een operator aanwezig om onderdelen op te spannen of om de machines te programmeren.

Materialen

Binnen de huidige projecten worden 32 verschillende metalen legeringen gebruikt. Het verschil tussen deze is met het blote oog vaak niet waarneembaar, daarom is het belangrijk dat er een goede codering plaatsvindt. Op dit gebied ondervindt men weinig problemen.

De verschillende metalen stellen geen speciale eisen aan de wijze van opslag of transport. Ze worden per (groep van) order(s) besteld en liggen niet op voorraad. Doordat de platen vrij groot zijn, zijn er in het begin van het proces (bij de groep branden) takelsystemen aanwezig om de platen te verplaatsen.

Kwaliteitscontroles

Op de gehele afdeling vinden geen geregistreerde kwaliteitscontroles plaats. Iedere werknemer is verantwoordelijk voor zijn eigen stukken, en wordt geacht deze te controleren. Het komt echter voor dat er stukken van zowel interne als externe makelij terugkomen voor een reparatie. Voor externe stukken is een wijziging van de specificaties vaak de oorzaak. Voor interne stukken kan dit ook het geval zijn, maar het kan ook een productiefout zijn. Men heeft weinig zicht op de hoeveelheid stukken dat voor reparatie terugkomt. Doordat reparaties niet apart worden ingepland, is er geen data beschikbaar over de hoeveelheid en de aard van de fouten.

6.1.4. Materiaalbeheersing en voorraadbeheersing

Productieplanning

Ordervrijgave vindt plaats op basis van de beschikbaarheid van materialen en de datum dat de order gereed moet zijn. Binnen de afdeling worden producten soms geclusterd op het soort materiaal dat benodigd is.

Externe bevoorradingsmethoden

Zodra een order door de planner wordt gelanceerd, worden de verschillende orders eerst gegroepeerd naar materiaal. Vervolgens wordt gekeken in hoeverre er nog eventueel (rest)materiaal aanwezig is. Indien dit niet voldoende is, gaat er een sein naar afdeling inkoop die het aantal benodigde platen bestelt. Zodra het materiaal gearriveerd is, wordt de order vrijgegeven voor productie. Er wordt geen rekening gehouden met optimale bestelgroottes. Men heeft te maken met 32 verschillende legeringen en het is niet wenselijk deze allemaal op voorraad aan te houden.

Interne bevoorradingsmethoden

Voorraden ruw materiaal worden bij de stations zelf aangehouden. Dit bestaat uit enerzijds plaatmateriaal voor de plaatbewerkingen en anderzijds profielen voor de productstroom profielen. Tussen de verschillende afdelingen binnen Bombardier wordt veel gewerkt met kanban. Wanneer een kanbanbox leeg raakt, is dit voor de centrale werkplaats een sein om nieuwe onderdelen hiervoor te produceren. Voorraden gereed product (van de afdeling) bevinden zich in de daarvoor bestemde kanbanboxen. Op de volgende afdelingen wordt gewerkt met een reservevoorraad ter grootte van 1 kanbanbox.

Generatie productieorders

Een groot gedeelte van de orders wordt gegenereerd door vraag vanuit het kanbansysteem. Gemiddeld is er iedere vier weken vraag naar de vooraf vastgestelde hoeveelheid van ieder kanbanproduct. Binnen deze vier weken is het tijdstip van de order echter variabel. De overige productieorders worden los ingepland.

6.1.5. Logistieke parameters

Doorlooptijden

Voor elk product zijn de doorlooptijden per bewerking bekend. Deze doorlooptijden zijn echter exclusief omsteltijden en tijd die eventueel nodig is voor afwerking (het zijn dus eigenlijk de bewerkingstijden). Men is bezig de betrouwbaarheid van de doorlooptijden te verbeteren door alles inclusief te meten.

Bezettingsgraden

De bezettingsgraden van de verschillende groepen op de afdeling is berekend met behulp van een database met productiegegevens over de periode 15 mei 2006 tot 10 december 2006. Aangezien men al precies weet wat er in die periode geproduceerd moet worden, is de gemiddelde bezettingsgraad bekend. Het onzekere in de vraag is alleen op welk moment de vraag naar de verschillende kanbanproducten komt. Verder zijn de verstoringen in de vorm van reparaties (van zowel eigen producten als extern geleverde producten) onzeker. Voor deze verstoringen is bij de berekening van de bezettingsgraad geen capaciteit gereserveerd, aangezien het aandeel ervan niet bekend is. In Tabel 2 zijn de berekende bezettingsgraden weergegeven (deze gegevens zijn inclusief geschatte omsteltijden). Hierbij is rekening gehouden met de beperkte beschikbaarheid van

operators. Een uitgebreid overzicht is terug te vinden in de casestudie analyse en in bijlage 2.

Tabel 2 Gemiddelde bezettingsgraad

Groep	Gemiddelde bezettingsgraad
Branden	75%
Draaien	32%
Frezen	83%
Cas	60%
Lassen	33%
SHW1	56%
Plooien	47%
Slijpen	79%
Zagen	23%

Mogelijkheid capaciteitsmaatregelen

De mogelijkheid tot uitwisseling van machines is weergegeven in Tabel 1. Geen van de machines kan volledig onbemand werken.

Het personeel verschilt qua uitwisselbaarheid. Veel van hen kunnen binnen hun eigen groep meerdere machines bedienen, maar er zijn er ook een aantal die slechts één bewerking kunnen uitvoeren. Uitbreiding naar een tweeploegendienst of uitbesteden aan derden kan eveneens tot extra capaciteit leiden.

6.2. Casestudie analyse

In de casestudie analyse zal aan de hand van de verzamelde informatie bekeken worden in hoeverre de omgeving voldoet aan de voorwaarden voor polca. Daarnaast zal worden aangegeven op welke wijze het polcasysteem kan worden vormgegeven.

6.2.1. Achtergrond casestudie

Problemen

Binnen Bombardier is men van mening dat de productie in de centrale werkplaats in zijn geheel niet efficiënt verloopt. De doorlooptijden zijn vrij hoog, er is veel onderhanden werk zichtbaar en orders worden niet altijd op tijd geleverd. Als oorzaak hiervan wordt onder andere de verdeling van de werklust aangegeven. Binnen de afdeling wordt bij het inplannen van orders onvoldoende rekening gehouden met het capaciteitsbeslag op de verschillende machines en de verdeling van de orders over de verschillende machines. Orders worden vrijgegeven op basis van de datum waarop de order gereed moet zijn. Hierdoor komt het voor dat machines enige tijd overbelast worden, terwijl ze andere momenten stil staan omdat er geen werk voor ze beschikbaar is.

De volgende concrete problemen worden door de afdeling aangegeven:

- Men heeft moeite met de verstoringen door prioriteitsorders als gevolg van:
 - Aanpassen van externe stukken volgens vernieuwde eisen.
 - Reparatie van interne/externe stukken die niet aan de kwaliteitseisen voldoen. Er vinden intern geen kwaliteitscontroles plaats, fouten ontstaan vaak door onduidelijke instructies aan het personeel (met name bij Tram3000; stukken die bijvoorbeeld in spiegelbeeld gemaakt moeten worden, worden niet uitgetekend).

- De in het planningssysteem gebruikte doorlooptijden zijn niet altijd betrouwbaar. Sommige bewerkingen die wel noodzakelijk zijn, zoals de aanmaak van tooling en afwerking, worden niet in dit systeem meegenomen. Er wordt momenteel gewerkt aan het verbeteren van de doorlooptijden die in het planningssysteem worden gebruikt.
- Verder zijn er, als gevolg van het verouderde machinepark, regelmatig machinedefecten met lange wachttijden als gevolg.

Doel

Het doel van het gebruik van polca is om de werklast in de centrale werkplaats beter te beheersen met als doel de hoeveelheid onderhanden werk te verlagen, de leverbetrouwbaarheid te verhogen en ervoor te zorgen dat men beter in staat is om te gaan met prioriteitsorders. Door een verhoging van de leverbetrouwbaarheid zal het aantal prioriteitsorders eveneens dalen, maar door externe omstandigheden (bijvoorbeeld revisies op extern gemaakte stukken) zullen de prioriteitsorders niet voorkomen kunnen worden. Wanneer men beter in staat is met prioriteitsorders om te gaan, zullen de planning en productie in de centrale werkplaats meer gestructureerd kunnen verlopen.

6.2.2. Onderzoeken van de voorwaarden

Productieomgeving

Het productieproces kan getypeerd worden als Engineer To Order (ETO). Iedere soort trein, tram of metro wordt volledig klantspecifiek ontworpen en bevat klantspecifieke onderdelen. Deze onderdelen zijn echter voor een bepaalde periode (enkele jaren), op enkele ontwerpwijzigingen na, redelijk standaard. Gedurende deze periode kan het proces binnen de centrale werkplaats getypeerd worden als Make To Order (MTO), men produceert op het moment dat er vanuit een andere afdeling vraag is naar een bepaald product.

De vraag naar de minimaal 3500 verschillende producten die geproduceerd worden door de centrale werkplaats is niet stabiel. De vraag naar deze producten is veranderlijk te noemen. De standaardafwijking van de wekelijkse vraag naar producten die in de centrale werkplaats worden geproduceerd wordt door de planner geschat uiteenlopend tot 40%.

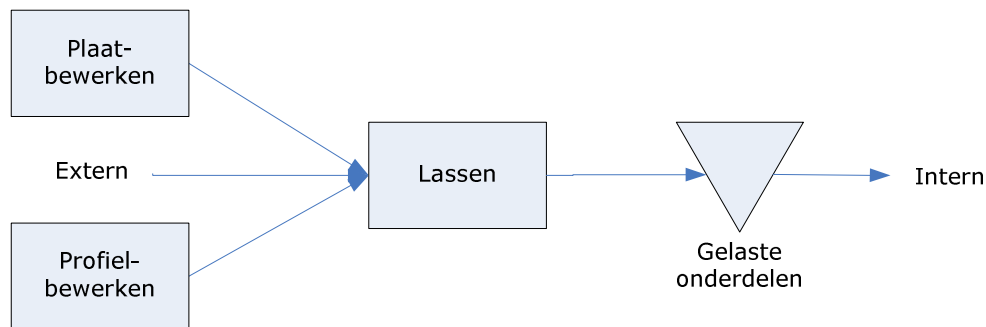
De kenmerken ETO/MTO en een veranderlijke vraag geven aan dat de centrale werkplaats een omgeving is die geschikt lijkt voor polca.

Aanwezigheid sequentiële relaties

De materiaalstromen van vier groepen (profielen, plaatbewerken, lassen en CM lasverzameling Tram3000) laten zien dat de groep CM lasverzameling Tram3000 slechts één bewerking uitvoert en geen sequentiële relatie vertoont met andere bewerkingen. Het ontbreken van een sequentiële relatie maakt deze groep ongeschikt voor polca.

Daarnaast wordt op de afdeling de groep gereedschappen onderscheiden. Zij zijn verantwoordelijk voor verschillende gereedschappen en worden ingezet bij machinestoringen. Dit deel is zelfstandig, gebruikt eigen machines, houdt zich niet bezig met het productieproces en bevindt zich niet in een sequentiële relatie. Om deze reden is ook zij niet geschikt voor polca en wordt ook zij verder buiten beschouwing gelaten.

De materiaalstroom lassen lijkt in figuur 15 ook een op zichzelf staande bewerking, maar door een koppeling met de materiaalstromen profielen en plaatbewerken ontstaat er wel een sequentiële relatie, zie figuur 18.



figuur 18 Materiaalstroom lassen

Binnen de productstromen profielen en plaatbewerkingen zijn duidelijk sequentiële relaties herkenbaar tussen de verschillende bewerkingen. De genoemde bewerkingen zouden ieder een polca-productiecel kunnen vormen.

Bij de productstroom profielen zijn er echter ook stromen die in beide richtingen voorkomen, zoals de combinatie zagen-draaien en plooiën-frezen, waarmee de productiestructuur eigenschappen van een jobshop vertoont. In hoeverre polca in staat is hiermee om te gaan, zal nader onderzocht moeten worden.¹

Betrouwbare doorlooptijden

De omstel- en bewerkingstijden per product zijn redelijk betrouwbaar. Er zijn echter activiteiten die niet in de gestelde tijden worden meegenomen, zoals het afwerken van een product of het aanmaken van tooling. Wanneer deze activiteiten binnen de cel worden uitgevoerd, heeft dit tot gevolg dat de bezettingsgraden in het capaciteitsplan van Tabel 3 wellicht aan de lage kant zijn. Men is bezig de omstel- en bewerkingstijden opnieuw in kaart te brengen, om zo de betrouwbaarheid ervan te verhogen.

Productielijsten

De huidige productielijsten bevatten voor ieder product een opsomming van bewerkingen (en bijbehorende omstel- en bewerkingstijden) die moeten worden uitgevoerd, en de gegevens van de machines waarop dit moet gebeuren. Het is hierdoor goed zichtbaar welke route een product moet volgen.

Met een kleine aanpassing kunnen de huidige productielijsten geschikt gemaakt worden voor polca. Aanpassingen zullen bestaan uit het toevoegen van de polcakaart-kenmerken (naam + kleuren) en, indien gebruik gemaakt wordt van een maximum belasting per polca, het bepalen van werkinhoud (# polca's dat voor de bewerking benodigd is).

Capaciteitsplan

Met behulp van bekende gegevens over de normale capaciteit en de geplande omstel- en bewerkingstijden per product, is over een half jaar de gemiddelde bezettingsgraad per machinegroep berekend. Dit is weergegeven in Tabel 3. De bezettingsgraad van de machines is bepaald door de gemiddelde ordertijd per groep te delen door de totale beschikbaarheid van de machines in die groep. Niet elke machine wordt echter altijd door een operator bezet.

¹ De gevolgen van parallelle productstromen voor polca zullen nader bekeken worden in hoofdstuk 8: Analyse polca naar aanleiding van casestudies.

Tabel 3 Bezettingsgraden centrale werkplaats^I

Cel	Gemiddelde bezettingsgraad van de machines	Gemiddelde bezettingsgraad incl. operators
Branden	54%	75%
Draaien	9%	32%
Frezen	31%	83%
Lassen	22%	33%
Plooien	40%	47%
Slijpen	34%	79%
Zagen	13%	23%

Met behulp van de gemiddelde beschikbaarheid van de operators per machinegroep, is eveneens de gemiddelde bezettingsgraad inclusief operators bepaald. Zo wordt de bezetting door de afdeling ervaren. Deze capaciteit is echter vrij gemakkelijk aan te passen door extra personeel in te zetten.

Bezettingsgraden

Om invoering van polca effectief te laten zijn, is er een gestelde bezettingsgraadnorm van 30%-80%.^{II} Op basis van bovenstaande tabel met bezettingsgraden blijkt dat de gemiddelde bezettingsgraad van bijna alle groepen binnen de norm vallen. Hierbij wordt rekening gehouden met de beperking van het beschikbare aantal operators (kolom 2). De groep zagen valt eronder, waardoor de effectiviteit van polca wellicht hier niet groot zal zijn, omdat de groep het werk redelijk gemakkelijk aankan.

Groepen die door de afdeling zelf als bottleneck worden ervaren zijn branden (75%) en plooiën (47%). Uit de bezettingsgraden blijkt echter dat frezen (83%) en slijpen (79%) de bottleneck zouden zijn. Voor deze vier groepen zal geprobeerd worden het polcasysteem dusdanig toe te passen dat de aanvoer van orders richting deze bewerkingen goed beheerst wordt en er geen leegloop van werk ontstaat.

6.2.3. Identificatie van polca-productiecellen

Verondersteld wordt dat de specifieke kenmerken van het productieproces invloed hebben op de creatie van polca-productiecellen en/of de werking van het polcasysteem. De invloed van machinekenmerken, kwaliteitscontroles en buffermogelijkheden binnen de centrale werkplaats worden achtereenvolgens behandeld.

Machinekenmerken

De machines die beschikbaar zijn in de centrale werkplaats vormen, wanneer gekeken wordt naar de mate van automatisering, geen beperking voor de implementatie van polca. Geen van de machines produceert volledig onbemand, waardoor er zich hierdoor geen problemen met betrekking tot de roulatie van de polcakaarten voordoen. Er zijn ook geen machines die zich, bijvoorbeeld vanwege de veiligheid, ver van de centrale werkplaats bevinden, dit zorgt daardoor niet voor logistieke problemen (bijvoorbeeld het transport van polcakaarten).

^I In bijlage 2 is de berekening van deze bezettingsgraden uitgewerkt.

^{II} Suri, R. 1998. *Quick Response Manufacturing: A Companywide Approach to Reducing Lead Times*. Portland, Oregon: Productivity Press Inc. p. 164-165

De uitwisselbaarheid van mensen en machines is een voordeel voor het polcasysteem. Wanneer mensen uitwisselbaar zijn, is het mogelijk om tussen de groepen capaciteiten te verdelen al naar gelang de behoefte, om zodoende de doorlooptijden te verlagen. De mogelijkheid van uitwisseling van machines is ook binnen sommige groepen aanwezig. Dit betekent dat binnen een dergelijke groep het orderaanbod beter verwerkt kan worden. Polca houdt namelijk geen rekening met de verdeling van de capaciteiten binnen een groep, maar alleen met de totale groep.

Kwaliteitscontroles

Er worden binnen de afdeling geen speciale kwaliteitscontroles uitgevoerd. Dit heeft tot gevolg dat er om deze reden geen beperking voor de vorming van de polcacellen ontstaat. De vorming van de polca-productiecellen wordt hier dus niet door beïnvloed.

Buffermogelijkheden

Bij iedere machine is er een aangewezen aan- en afvoerplaats. Op deze plaatsen is er de mogelijkheid een (kleine) buffer aan te houden. Bij implementatie van polca is het noodzakelijk dat er aan het eind van iedere cel de mogelijkheid is om te bufferen, omdat er soms gewacht moet worden op autorisatie of de aanwezigheid van een polcakaart. Aangezien er bij iedere machine bufferplaatsen zijn, vormt dit geen beperking bij de vorming van polca-productiecellen.

Cellen

De polca-productiecellen kunnen gevormd worden door combinaties of onderdelen van de in Tabel 1 genoemde bewerkingen. Bewerkingen worden dan samengenomen of juist gesplitst om de effectiviteit van polca te optimaliseren. In Tabel 1 zijn machines die gelijksoortige bewerkingen uitvoeren al ondergebracht in 9 groepen.

De groep SHW1 zal bij het ontwerp van mogelijke polcastructuren buiten beschouwing worden gelaten omdat deze alleen voorkomt in de materiaalstroom CM lasverzameling Tram3000 (welke vanwege het ontbreken van sequentiële relaties buiten beschouwing is gelaten) en niet in de overige stromen. Voor de groep CAS geldt hetzelfde. Beide groepen worden niet opgenomen in het ontwerp van het polcasysteem en zijn om deze reden niet weergegeven in Tabel 3.

Om de effectiviteit van polca voor de groepen met de hoogste bezettingsgraden tot zijn recht te doen laten komen, is het niet verstandig één van deze samen te voegen met een ander.

6.2.4. Ontwerp van het polcasysteem

Op basis van de in paragraaf 6.1.3 beschreven productieprocessen wordt in deze fase gekeken hoe de materiaalluitwisseling binnen de afdeling onderdelenfabricage door middel van polca te beheerst kan worden.

Doel

Doelen van het te ontwerpen polcasysteem:

- De doorlooptijden verkorten zodat het aantal orders dat de levertijd overschrijdt verlaagd.
- Beter in staat zijn om om te gaan met verstoringen.
- De hoeveelheid onderhanden werk verlagen.

- De hoeveelheid werk beter over de verschillende machines verdelen zodat leegloop en opstopping worden voorkomen.

Aanpak

Het ontwerp van een polcasysteem wordt gemaakt door eerst de mogelijke loops in de verschillende productstromen te bekijken. Hier wordt een beeld gevormd van hoe het polcasysteem eruit kan komen te zien, op welke wijze polca de prestaties kan verbeteren en wat eventuele beperkingen zijn. Vervolgens zullen per gevormde cel de relaties nader bekeken worden. Dit is belangrijk omdat de verschillende productstromen deels gebruik maken van gelijke cellen.

6.2.5. Ontwerpen per productstroom

Productstroom profielen

Polcastructuur Profielen

Binnen de productstroom profielen wordt vrijwel altijd gestart met de (voor)bewerking zagen. Hierop kunnen de bewerkingen draaien, plooiën en frezen volgen. Vanuit zagen kunnen er polcaloops gecreëerd worden naar de verschillende vervolgbewerkingen, hierdoor ontstaan de volgende loops (zie figuur 19):

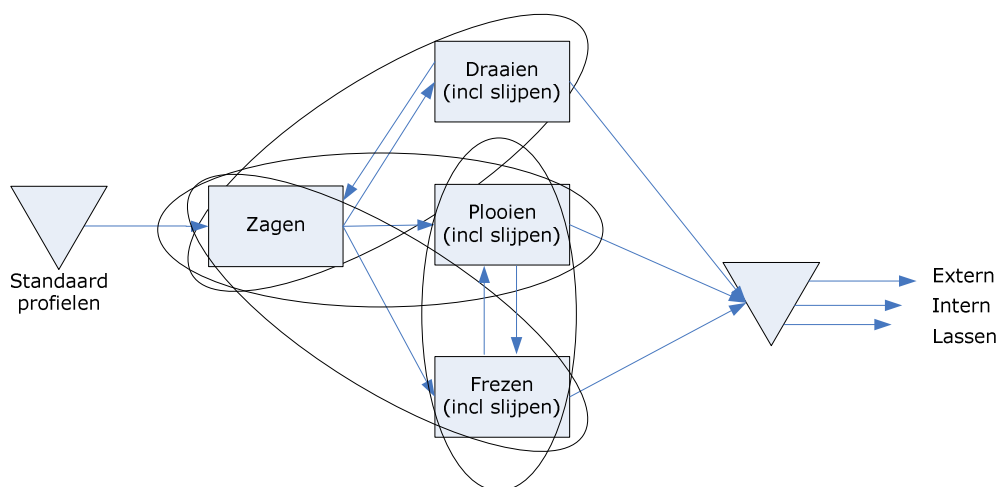
- Zagen – plooiën
- Zagen – frezen
- Zagen – draaien

Deze drie vervolgbewerking hebben onderling ook nog een relatie, er zijn namelijk producten die gebruik maken van plooiën en frezen. Hierdoor kan een extra loop gecreëerd worden over deze twee groepen:

- Plooiën – frezen

Het feit dat producten van zagen naar draaien, maar ook van draaien weer terug naar zagen kunnen stromen veroorzaakt een feedbackloop, dit geldt eveneens voor de relatie tussen plooiën en frezen:

- Frezen – plooiën
- Draaien – zagen



figuur 19 Polcastructuur profielen

Prestatieverbeteringen

Door middel van de eerste drie polcaloops wordt ervoor gezorgd dat het werk dat door de groep zagen wordt uitgevoerd, goed wordt afgestemd op de interne vraag vanuit de drie overige groepen. Er wordt een dusdanige mix aan producten gezaagd dat het aanbod voor de overige groepen in balans is met de beschikbare capaciteiten. Hierdoor zullen de wachtrijen tussen deze drie relaties zich op een vrij constant niveau bevinden, waardoor de doorlooptijden en hoeveelheid onderhanden werk kunnen worden gereduceerd.

De vierde polcaloop balanceert de hoeveelheid werk die vanuit plooiën voor frezen wordt gemaakt met de hoeveelheid werk die geen verdere bewerking meer nodig heeft. Wanneer frezen geen capaciteit beschikbaar heeft, zal plooiën geen werk starten dat deze groep als vervolgbewerking heeft. Deze balancering zal eveneens tot een doorlooptijdreductie kunnen leiden.

De parallel tegengestelde loops die ontstaan doordat producten twee richtingen op kunnen stromen, hebben voor frezen - plooiën hetzelfde tot gevolg. De loop draaien - zagen veroorzaakt echter ook een interne toestroom naar de groep zagen, waardoor dit dus niet de startbewerking van het product is. Dit houdt in dat niet alle capaciteit voor het zagen beschikbaar is voor nieuwe orders, maar ook een deel voor reeds gelanceerde orders. Doordat de bezettingsgraad van de groep zagen op slechts 23% ligt, zal dit hoogstwaarschijnlijk geen problemen opleveren.

Beperkingen

De toestroom naar de groep frezen wordt gebalanceerd door onder andere loop 4 (vanuit plooiën). De groep plooiën heeft echter geen enkele invloed op welke orders zij binnenkrijgt vanuit de groep zagen: hebben deze orders nog een vervolgbewerking nodig of is het plooiën de laatste bewerking? De verhouding tussen deze twee opties is door de groep plooiën niet beïnvloedbaar. Dit zou tot problemen kunnen leiden indien deze verhouding erg varieert.

Productstroom plaatbewerkingen

Polcastructuur plaatbewerkingen

Binnen de productstroom plaatbewerkingen wordt gestart met een bewerking in de groep branden. Hierna volgt altijd de nabewerking slijpen welke wel door een aparte groep en aparte mensen wordt uitgevoerd. Hierdoor kan de volgende loop gecreëerd worden:

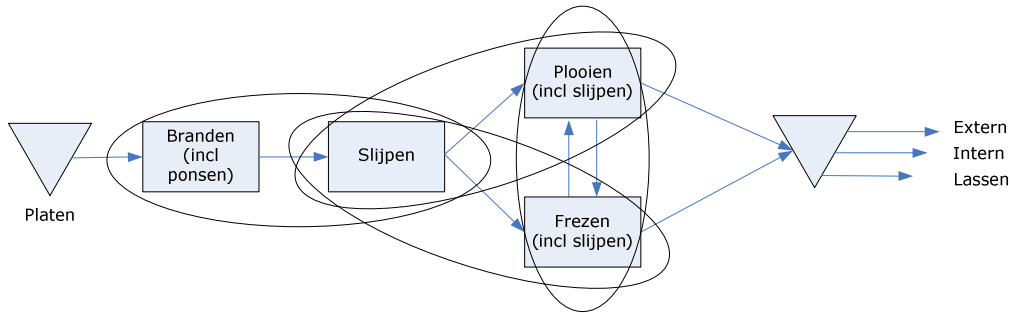
- Branden – slijpen

Hierna kunnen twee vervolgbewerkingen plaatsvinden, waardoor er een divergente structuur ontstaat met de volgende loops:

- Slijpen – plooiën
- Slijpen – frezen

Het plooiën of frezen kan de eindbewerking van een product zijn, maar een product kan ook beide bewerkingen vragen, waardoor de volgende loops herkenbaar worden:

- Plooiën – frezen
- Frezen – plooiën



figuur 20 Polcastructuur plaatbewerkingen, optie 1

Prestatieverbeteringen

De hoeveelheid orders die naar de groep slijpen stroomt, wordt beperkt door een maximum te stellen aan de hoeveelheid orders in de loop branden – slijpen. Dit verlaagt de hoeveelheid onderhanden werk.

Verder zijn er qua balancering tussen slijpen, plooiën en frezen dezelfde voordelen als bij de productstroom profielen.

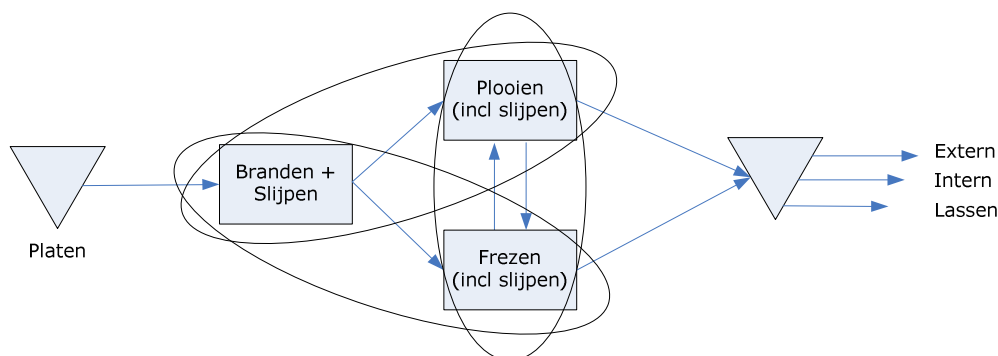
Beperkingen

Bij ordervrijgave voor de groep branden is er in de huidige situatie sprake van clustering van orders op basis van materiaal. Dit heeft tot gevolg dat er meerdere orders tegelijkertijd het systeem ingebracht worden. Na het branden hoeft de clustering niet gehandhaafd te blijven. Het polcasysteem houdt geen rekening met welke routes de orders na clustering in de cel branden volgen. Het is daarom taak van de planner om er voor te zorgen dat er niet òf alleen orders bestemd voor frezen òf alleen orders bestemd voor plooiën geclusterd worden.

Clusteren

Voor het branden worden orders geclusterd op materiaalsoort. Hierbij wordt als maatstaf aangehouden om een gehele plaat vol te maken met onderdelen die gebrand kunnen worden. Vooral voor de laser wordt dit als belangrijk ervaren, omdat deze een relatief grote omsteltijd en bezettingsgraad heeft.

Na de bewerking branden vindt altijd de nabewerking slijpen plaats. Deze is in figuur 20 als een aparte groep weergegeven, maar zou in dezelfde geplaatst kunnen worden. Hierdoor wordt het aantal loops met 1 verkleind van vijf in optie 1 naar vier in optie 2, zie figuur 21. Voordeel hiervan is dat het aantal aan te sturen cellen verkleind en dat de orderstroom vanuit het branden richting het plooiën en frezen met het polcasysteem te beheersen is. Nadeel is echter dat de toestroom naar de slijpafdeling minder beheerst wordt, doordat de capaciteiten van branden en slijpen als één beschouwd worden. Aangezien de bezettingsgraden de groepen branden (75%) en slijpen vrij hoog zijn (79%), verdient optie 1 wellicht de voorkeur.



figuur 21 Polcastructuur plaatbewerkingen, optie 2

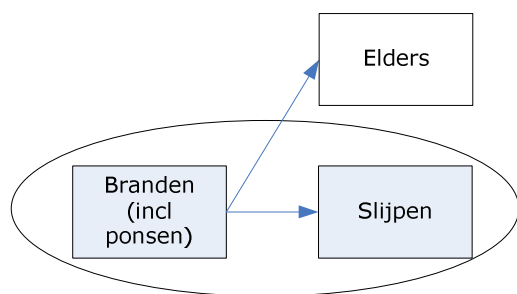
6.2.6. Ontwerpen per groep

Branden

Branden is de startbewerking van het plaatbewerken. De toevoer voor deze bewerking wordt dus alleen bepaald door de hoeveelheid vrijgegeven orders. De toestroom van orders moet bepaald worden door het HL/MRP-systeem. Welke orders geproduceerd worden, wordt bepaald door de hoeveelheid aanwezige polcaarten voor de vervolgbewerkingen.

Een klein gedeelte van de orders gaat na de groep branden niet rechtstreeks naar het slijpen (het exacte percentage van deze orders is onbekend). Dit levert een extra relatie met een groep 'elders' op welke nog niet in een polcastructuur was opgenomen. De groep elders beslaat alle groepen behalve het slijpen en het branden.

Het is niet aan te raden voor deze overige bestemmingen ook polcaloops te construeren omdat dit erg veel loops zou veroorzaken welke bijna niet gebruikt worden en waardoor het systeem onoverzichtelijk wordt.



figuur 22 Polcastructuur branden, optie 1

Prioriteiten

Het bewerken van een order bestemd voor elders, gaat in deze situatie buiten het polcasysteem om. Er moet daarom een prioriteitenstelsel (afhankelijk van de hoeveelheid orders bestemd voor 'elders') komen, dat bepaalt wanneer de groep branden een order met deze bestemming mag verwerken. Aangezien het geen veel voorkomende route is en de groep slijpen vrij hoog bezet is, kan er een regel worden ingesteld in de vorm van: indien er een polca branden – slijpen beschikbaar is, start een order hiervoor, indien er geen beschikbaar is, start een order bestemd voor elders.

Beperkingen

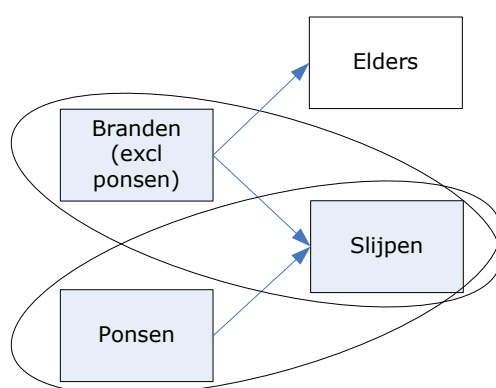
De groep branden bestaat uit verschillende machines (voor branden en ponsen). Voor de polcaplanning maakt deze verscheidenheid aan machines geen verschil, de groep heeft in zijn geheel namelijk een bepaald aantal polcakaarten beschikbaar. Hierdoor kan het zijn dat de verdeling van het aantal orders over de verschillende machines onevenwichtig is. In deze situatie is het (met name omdat de groep ook redelijk hoog bezet is, 75%) belangrijk dat er voor alle machines (branden en ponsen) orders worden vrijgegeven. Dit is een taak van de planner.

De groep branden bestaat uit de volgende machines:

- BRA2 (laser)
- BRA1 (messer)
- BRH2 (handbranden)
- PHS3 (conventioneel ponsen)
- SNC1 (CNC schaar, snijden)
- PEC (trumph CNC ponsmachine lichte platen)

Branden wordt door de afdeling als bottleneck aangewezen, waardoor het voor het ontwerp van het polcasysteem een optie kan zijn om deze groep op te splitsen in twee groepen. De groep branden (inclusief ponsen) is op te splitsen in een deel branden (exclusief ponsen) en een deel ponsen, zie figuur 23.

Bij opsplitsing is men beter in staat om de toestroom naar de twee groepen te beheersen, doordat deze gescheiden zijn. De planner maakt dan voor beide groepen een vrijgavesysteem. Een beperking hierbij is echter dat de polcakaarten in optie 1 verdeeld moeten worden over de twee loops in optie 2. Beide loops mogen namelijk niet onbeperkt aan de groep slijpen leveren. Dit zal bij een goede inschatting van de doorlooptijden tot uiting komen in het aantal polcakaarten dat aan beide loops wordt toegewezen. Omdat men bij deze optie in staat is de orders voor de groepen branden en ponsen (welke weinig uitwisselbaar zijn) apart van elkaar in te plannen verdient optie 2 wellicht de voorkeur.

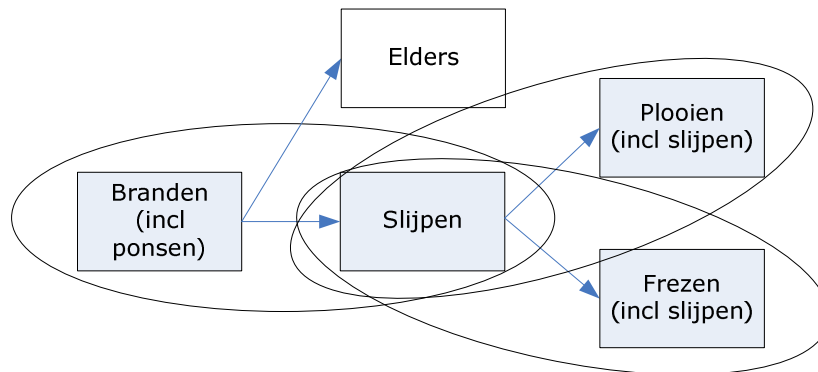


figuur 23 Polcastructuur branden, optie 2

Slijpen

Slijpen kan gezien worden als een nabewerking van het branden. Omdat het wordt uitgevoerd door een speciale slijpgroep (met andere operators), wordt deze nabewerking als een aparte groep beschouwd. Vanuit het slijpen wordt aan twee verschillende groepen geleverd: plooi en frezen.

Wanneer branden en ponsen als één groep gezien worden (optie 1, figuur 22), ontstaat er voor de groep slijpen de polcastructuur als in figuur 24. Hierin is een divergente structuur zichtbaar.



figuur 24 Polcastructuur slijpen, optie 1

Prestatieverbeteringen

Met de orders voor de groep elders kan de toestroom naar vrij zwaar belaste groep slijpen toch enigszins gereguleerd worden. In geval van overbelasting zullen er geen polcakaarten beschikbaar zijn, en zal de groep branden geen werk bestemd voor slijpen mogen starten. Dit voorkomt een opstopping van onderhanden werk voor de slijpbewerkingen.

Vanaf de groep slijpen kan een order twee richtingen op. Polca kan er in deze divergente structuur voor zorgdragen dat de belasting vanuit het slijpen voor plooiën en frezen optimaal gebalanceerd wordt.

Beperkingen

De aanvoer naar de slijpbewerking vindt vaak plaats in redelijk grote batches. Hierdoor is de aanvoer niet constant, maar in een soort van golfstroom. De oorzaak hiervan is de clustering bij het branden. Veel slijpmachines zijn slechts geschikt voor één soort materiaal (staal/aluminium/inox) en zijn daardoor niet uitwisselbaar, dit legt een beperking op de flexibiliteit van het polcasysteem. Wanneer de groep slijpen als 1 geheel wordt gezien, is er geen zicht op de hoeveelheid werk voor de verschillende machines binnen de groep. Om hiermee om te kunnen gaan, zal de planner bij het vrijgeven van orders voor de groep branden rekening moeten houden met de verdeling van het capaciteitsbeslag over de verschillende slijpmachines.

Tegenstelling

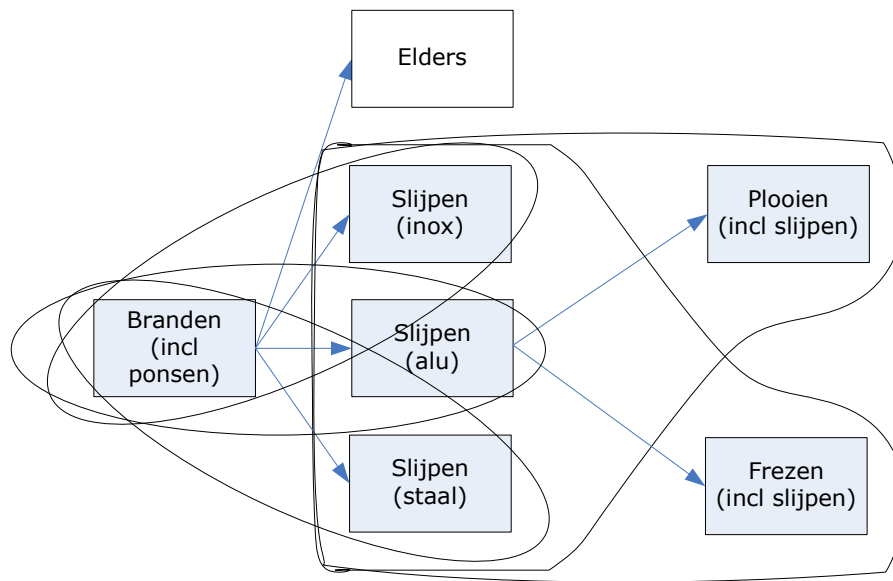
Voor de groep branden moet juist gegroepeerd worden op materiaalsoort, maar voor de groep slijpen is het daarentegen juist wenselijk om de verdeling tussen staal, aluminium en inox constant te houden. Beide cellen zijn vrij hoog bezet, er zal dus naar een goede balans gezocht moeten worden.

Alternatief

Als alternatief kan de groep slijpen worden opgedeeld naar drie materiaalsoorten. Op deze wijze wordt de toestroom naar de drie soorten slijpmachines door middel van de polcakaarten gebalanceerd. Wanneer van een bepaald materiaal voldoende onderhanden werk is, zullen al deze polcakaarten bezet zijn en moet de groep branden een order met

ander materiaal opstarten. Ook hier geldt: het is belangrijk een goede balans te vinden tussen het verlies aan omsteltijden en de hoeveelheid onderhanden werk. Nadeel van deze optie is dat er binnen de groep slijpen ook machines zijn (bijvoorbeeld ontbramen) die niet naar deze drie materialen in te delen zijn. Er zou daardoor misschien een soort van groep 'slijpen overig' met de bijbehorende loops ontstaan.

Voor de vervolgbewerkingen op het slijpen (plooiën en frezen) is het minder van belang welk materiaalsoort gebruikt wordt. Van welke slijpgroep een order afkomstig is, maakt daarom voor de vervolgbewerkingen niet uit. Van het plooiën en frezen kan slijpen dus als één groep gezien blijven worden. In figuur 25 is dit weergegeven door een loop die de slijpgroepen samen omvat. In de praktijk zal dit samennemen van groepen geen coördinatieproblemen opleveren omdat de machines fysiek bij elkaar staan.

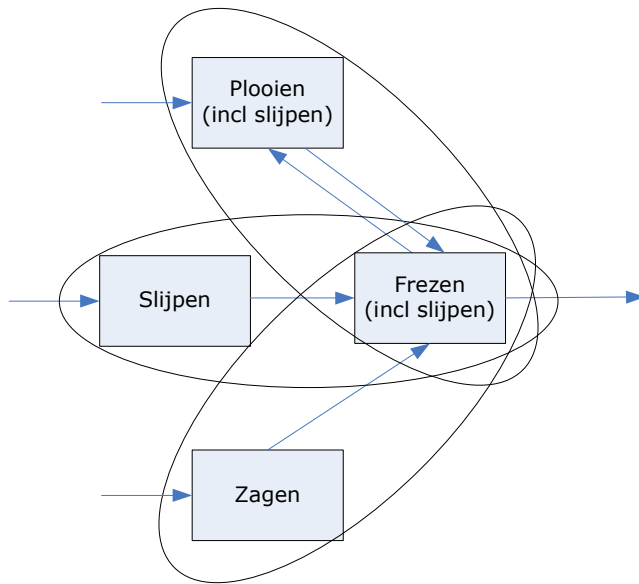


figuur 25 Polcastructuur slijpen, optie 2

Frezen

Uit de berekende bezettingsgraden blijkt dat het frezen een van de drukst bezette bewerkingen is. De toestroom van orders blijkt lastig te beheersen doordat de aanvoer van producten op verschillende tijdstippen uit verschillende richtingen komt, zie figuur 26. Er is sprake van een convergente structuur, maar aangezien de producten individueel gefreesd worden (en er niet meerdere benodigd zijn, zoals bij een assemblage), zorgt dit niet voor een planningsprobleem.

Drie loops gaan naar het frezen toe en één gaat er vanaf (frezen – plooiën), voor de overige orders is frezen de laatste bewerking.



figuur 26 Polcastructuur frezen

Prestatieverbeteringen

Omdat de inkomende orders uit verschillende richtingen komen, is het hier goed mogelijk door middel van polca de toestroom te balanceren. Wanneer de groep frezen voldoende onderhanden werk heeft, kunnen de drie groepen (plooien, slijpen en zagen) orders met een andere bestemming bewerken.

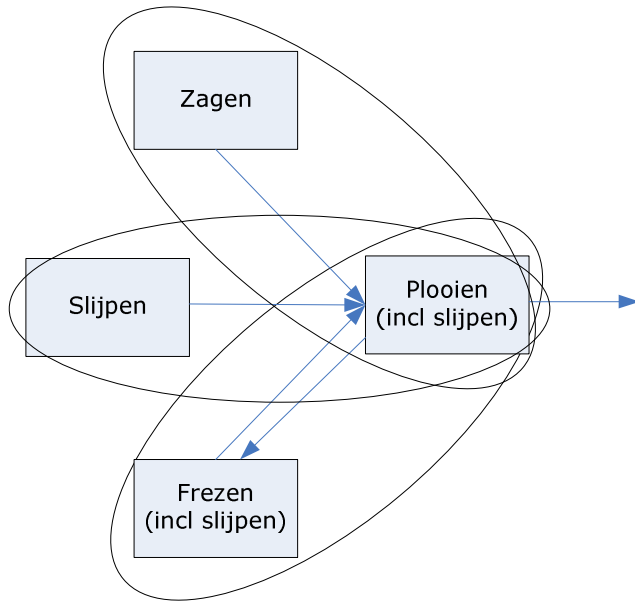
Beperkingen

De capaciteit die de freesgroep beschikbaar heeft, moet over drie loops verdeeld worden. Om de balancering optimaal te houden, moet het percentage werklast dat uit elk van de drie richtingen komt bekend zijn en niet teveel variëren. Is deze variatie groot, dan is het noodzakelijk het aantal polcakaarten regelmatig opnieuw te bepalen. De gevolgen van de parallel tegengestelde loop zal in hoofdstuk 8 verder ter sprake komen.

Plooien

De polcastructuren (en daarmee de voor- en nadelen) zijn voor plooien en frezen vrijwel identiek, zie figuur 27.

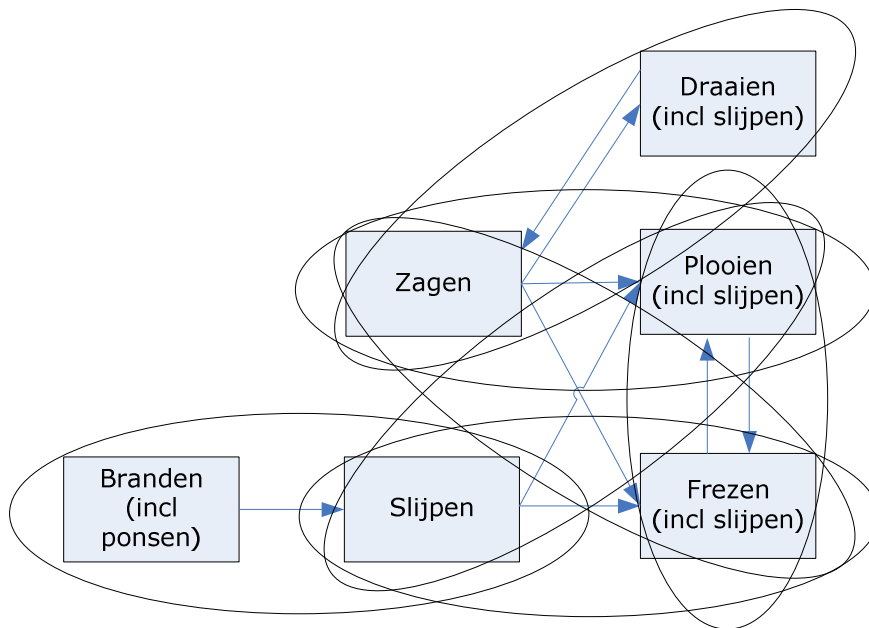
Binnen de groep plooien moet verder nog rekening gehouden worden met het feit dat niet alle orders dezelfde machine als bestemming moeten hebben. Enige mate van uitwisselbaarheid (tussen PLO1 en PLO2) lost dit echter grotendeels op.



figuur 27 Polcastructuur plooiën

6.2.7. Totale raamwerk

In figuur 28 zijn een aantal van de bovenstaande raamwerken samengevoegd. Dit is dus één van de mogelijke polcastructuren.



figuur 28 Polcastructuur totaal

6.2.8. Beoordelen effectiviteit van het polcasysteem

Uit het eerste deel van de analyse is gebleken dat de omgeving waarin de centrale werkplaats zich bevindt, in principe geschikt is voor polca. Er wordt voldaan aan de randvoorwaarden: productieomgeving, sequentiële relaties, betrouwbare doorlooptijden, productielijsten, capaciteitsplan en bezettingsgraden, zie paragraaf 6.2.2. In deze

paragraaf wordt aan de hand van een aantal punten uit de scanningtool bekeken in hoeverre toepassing van polca effectief zou kunnen zijn.

De doelen die gesteld zijn voor het te ontwerpen polcasysteem zullen daarna behandeld worden, om te bekijken in hoeverre deze met polca bereikt kunnen worden. Vervolgens zullen de beperkingen voor het systeem aan de orde komen en zullen suggesties voor verder onderzoek worden gedaan.

Productieflexibiliteit

Extra flexibiliteit ontstaat wanneer er binnen het polcaraamwerk latente relaties aanwezig zijn. Een dergelijke relatie houdt in dat de route van een order niet op voorhand vaststaat, maar dat verschillende routes kunnen worden doorlopen. Binnen de centrale werkplaats zijn (bij indeling zoals in figuur 28) geen latente relaties aanwezig (de orders volgen een vaststaande route).

Simultane relaties

Aanwezigheid van simultane relaties legt een beperking op de effectiviteit van het polcasysteem. Bewerkingen moeten dan min of meer gelijktijdig worden uitgevoerd waardoor de aansturing complex wordt (bijvoorbeeld bij assemblage: alle onderdelen moeten gelijktijdig beschikbaar zijn). Binnen het raamwerk van de centrale werkplaats bevinden zich geen simultane relaties wat de effectiviteit dus niet negatief beïnvloedt.

Productspecifieke doorlooptijden

Binnen het planningsstelsel wordt gerekend met productspecifieke bewerkings- en setuptijden. Het is voor de berekening van het aantal polcakaarten echter ook noodzakelijk om kennis te hebben van de gemiddelde wachttijden op celniveau. Aan deze voorwaarde wordt niet volledig voldaan.

Betrouwbare voorspellingen

Een voorspelling van de hoeveelheid orders die de gedefinieerde routings gaan volgen en de hoeveelheid orders die volgens alternatieve routings gaan, moet gemaakt worden om te kunnen bepalen hoeveel capaciteit de polcakaarten van iedere groep mogen vragen. Er moet een gedeelte van de capaciteit gereserveerd worden voor orders met afwijkende routings, welke niet door middel van polca beheerst worden. Het ontbreken van inzicht in de from-to relaties, maakt dat deze voorspellingen moeilijk te maken zijn.

Behalen doelen

Door toepassing van polca wordt een optimale balans gevonden tussen het werkaanbod en de beschikbare capaciteit van de verschillende cellen, waardoor leegloop en opstopping zoveel mogelijk worden voorkomen. Hierdoor zullen de wachtrijen tussen de verschillende cellen constant zijn (en wellicht verkleinen). De doorlooptijden kunnen vervolgens als gevolg van het bovenstaande worden gereduceerd.

Polca stelt, doordat er een beperkt aantal polcakaarten in omloop is, een maximum aan de hoeveelheid werk op de afdeling waardoor een verlaging in de hoeveelheid onderhanden werk aannemelijk is.

Een daling van de doorlooptijden zorgt waarschijnlijk ook voor een daling in het aantal spoedorders (en dus verstoringen). Er zullen echter altijd verstoringen blijven bestaan (bijvoorbeeld door externe fouten). De planner kan hiermee omgaan door een goed prioriteitensysteem te gebruiken. Wanneer een spoedorder bijvoorbeeld een vroege

vrijgavedatum meekrijgt en op de werkvloer moet altijd de order met de vroegste vrijgavedatum als eerste geproduceerd worden, dan stroomt een spoedorder vanzelf sneller door het systeem. De voorwaarde van het beschikbaar zijn van een juiste polcakaart moet echter altijd in acht genomen worden! Wanneer er geen juiste polcakaart beschikbaar is, zal het opvolgende station geen tijd hebben voor de order en heeft het geen zin deze al te sturen. Het moet in dit systeem dus niet noodzakelijk zijn dat alle orders moeten wijken voor een spoedorder.

Beperkingen

Het lijkt dat met polca de gestelde doelen behaald kunnen worden. Er zijn echter nog wel een aantal beperkingen waar rekening mee gehouden moet worden.

- Er is geen duidelijk zicht op de from-to relaties. Het is niet helemaal duidelijk welke stromen het meest worden belast en wat het aandeel van de afwijkende stromen is.
- Wanneer het aandeel van de afwijkende stromen vrij groot is, wordt het systeem vrij complex omdat er regels moeten worden bedacht wanneer een 'wel polca order' gemaakt mag worden en wanneer een 'niet polca order'.
- De kennis van doorlooptijden van de verschillende producten is niet altijd even betrouwbaar. Dit maakt het bepalen van het aantal polcakaarten moeilijk.
- Polca zorgt alleen voor aansturing van de productie tussen de cellen. Binnen de cellen is men zelf verantwoordelijk voor de aansturing.
- Invoering van polca vraagt veel medewerking van de operators. Hiervoor kan in een later stadium eventueel het polcagame^I met hen gespeeld worden om de werking uit te leggen en hen van het nut te overtuigen.

Verder onderzoek

Naar aanleiding van deze casestudie is het Bombardier aan te raden om, alvorens een beslissing over polca te nemen, verder onderzoek te verrichten naar:

- De productstromen die over de afdeling lopen en de relaties tussen de verschillende machines/groepen.
- Het verbeteren van de betrouwbaarheid van de doorlooptijden (inclusief wachttijden). Hiervoor is inzicht in de status van orders van belang (monitoring).
- De cellen zoals die hiervoor gevormd zijn, hoeven niet per se de juiste te zijn. Een verandering van het niveau waarop gekeken wordt, kan leiden tot andere inzichten (de cel branden kan bijvoorbeeld nog verder worden opgesplitst).
- De oorzaken van verstoringen. Wellicht is een groot deel ook zonder invoering van polca te elimineren.

^I Epping, E.M. 2005. *Let's Polca!* Afstudeerverslag TBW, Rijksuniversiteit Groningen. Augustus 2005.

7. CASESTUDIE NEOPOST TECHNOLOGIES

7.1. Casestudieverslag

7.1.1. Bedrijfsoverzicht

Neopost Technologies is marktleider op de postverwerkingsmarkt. Men ontwikkelt, produceert en verkoopt frankeermachines, weegschalen, shipping systemen, vouwmachines en couverteermachines. Het hoofdkantoor is gevestigd in Frankrijk en men heeft in dertien landen verkoop en/of productievestigingen. Binnen de gehele Neopost Groep zijn 5000 mensen werkzaam en in 2004 is een omzet behaald van €756 miljoen.

Neopost Technologies BV te Drachten is één van de drie productievestigingen en produceert systemen voor de inkomende en uitgaande post. In Drachten zijn ongeveer 300 mensen werkzaam en er is in 2004 een omzet van €53.6 miljoen behaald. 12% hiervan wordt geïnvesteerd in R&D projecten.

Binnen Neopost Technologies wil men de afdeling onderdelenproductie beter gaan organiseren. Aanleiding voor deze casestudie is de vraag of polca hiervoor wellicht toepasbaar is.

7.1.2. Productkenmerken en vraagegevens

Fabrieksniveau

Bij Neopost Technologies BV worden voornamelijk machines voor de uitgaande post geproduceerd. De couverteermachines (envelopvulmachines) vouwen brieven, vullen enveloppen en sluiten deze. Ze kunnen worden opgedeeld in twee soorten systemen: horizontale (zie figuur 29) en verticale. Ze verschillen in snelheid en plaats waar de toevoer van brieven zich bevindt. Beide systemen zijn in verschillende varianten verkrijgbaar.

Daarnaast worden ook (op kleinere schaal) systemen voor de inkomende post geproduceerd. Deze extractors kunnen enveloppen openen en de inhoud eruit halen.



figuur 29 Horizontaal systeem, SI92

De eindproducten zijn complex en bevatten meer dan 500 onderdelen. De verhouding zelfgeproduceerde onderdelen en inkooponderdelen is ongeveer 70/30.

Producten worden voornamelijk op klantorder geassembleerd. Redenen hiervoor zijn het grote aantal variëteiten aan eindproducten en de fluctuerende vraag.¹

¹ Brink, Kaspar van den. *Lijn in de lijn. Onderzoek naar de arbeidsinrichting van een montagelijne bij Neopost Industrie B.V.* Afstudeerverslag TBW, Rijksuniversiteit Groningen. Februari 2005. p. 28

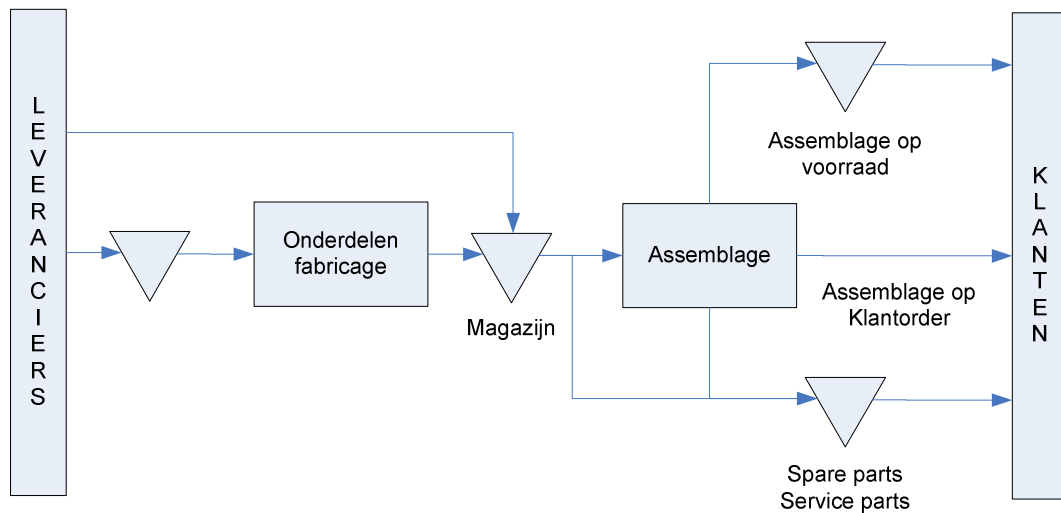
Afdelingsniveau

Op de afdeling onderdelenproductie worden metalen onderdelen voor de verschillende eindproducten gemaakt. In totaal worden er ongeveer 5000 verschillende producten geproduceerd waarvan de vraag op jaarbasis varieert van 1 tot 233.942 stuks (met een gemiddelde van 1639). Het aantal keren dat een order van hetzelfde product per jaar geplaatst wordt, is 0 tot 35 keer. Gemiddeld zijn er voor een product 3,4 orders per jaar.¹ Er is sprake van een hoge variëteit aan producten en een grote variatie in de vraag.

Per product wordt gebruik gemaakt van een minimale ordergrootte waarin producten geproduceerd worden. Deze minimale ordergroottes zijn bepaald aan de hand van bekende omstel- en productietijden.

7.1.3. Productiestructuur fabrieksniveau

Het primaire proces van Neopost Technologies BV is het ontwikkelen en produceren van couverteermachines. Het productieproces is weergegeven in figuur 30.



figuur 30 Primair proces (fabrieksniveau)^{II}

Op de afdeling assemblage worden de verschillende onderdelen vanuit het magazijn geassembleerd tot couverteermachines. Er zijn ongeveer 13 assemblagelijnen en er wordt voornamelijk op klantorder geassembleerd. Naast assemblage op order wordt ook een klein deel op voorraad geassembleerd en wordt vanuit het magazijn en de assemblageafdeling een voorraad reserve- en serviceonderdelen aangehouden. In het magazijn bevindt zich van alle onderdelen een voorraad. Wanneer de voorraad beneden een bepaald peil komt, wordt er via het MRP-systeem een nieuwe order voor de onderdelenfabricage gelanceerd.

7.1.4. Proceskenmerken afdelingsniveau

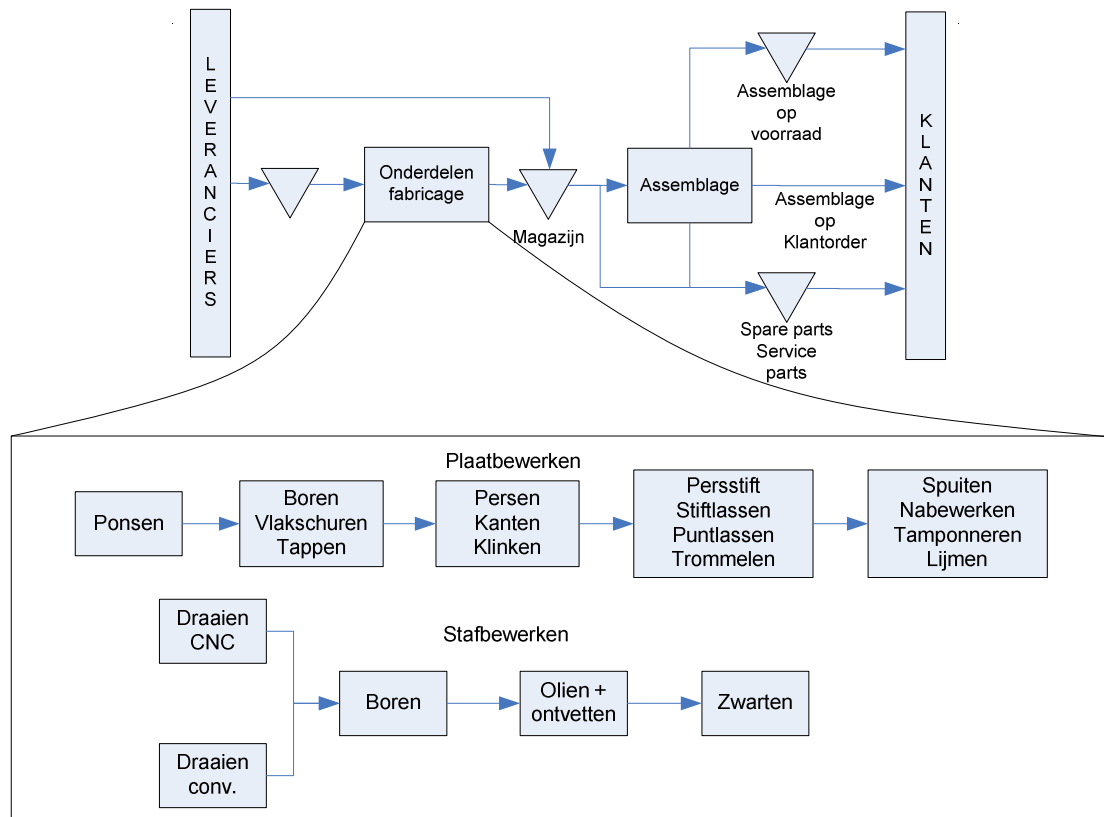
Identificatie productstromen

Het assortiment van de onderdelenfabricage kan worden verdeeld in twee groepen: plaatproducten en stafproducten. De productgroep stafproducten bestaat uit verschillende

¹ Heijden, Charlotte van der. *Tangram voor gevorderden. Layoutstudie naar de onderdelenfabricage bij Neopost Technologies*. Bachelorthesis TBK, Rijksuniversiteit Groningen. 2005. p. 17

^{II} Wind, Harry. *Inrichting van assemblagelijnen – ontwerp en methode*. Afstudeerverslag TBW, Rijksuniversiteit Groningen. Oktober 2006.

soorten assen, die bestemd zijn voor de aandrijving van de verschillende systemen. Plaatproducten kunnen worden onderverdeeld in frames, beugels en bekapping. Frames bestaan uit platen waarin allerlei bevestigingsgaten aangebracht zijn. Zij zijn de basis voor ieder product. Beugels zijn kleinere metalen onderdelen die in vele varianten gemaakt worden, zij vormen de koppeling tussen verschillende onderdelen in het eindproduct. De bekapping dient ter bescherming van het product en de bediener. Zij vormt de buitenkant van het geheel en wordt daarom gespoten en voorzien van een embleem. Voor de twee productgroepen zijn verschillende productstromen herkenbaar. In figuur 31 zijn de verschillende bewerkingen weergegeven zoals die in de twee stromen hoofdzakelijk voorkomen.



figuur 31 Primair proces (afdelingsniveau)¹

Plaatbewerken

Voor plaatproducten is ponsen altijd de startbewerking. Er zijn drie soorten ponsmachines die platen van 1 bij 2 meter bewerken. Eén ervan (Trumpf5000) heeft een automatische toevoer en kan volledig onbemand draaien. Een ander (Trumpf600) kan naast ponsen ook lasersnijden. Na het ponsen vinden, afhankelijk van het product, verschillende vervolgbewerkingen plaats. De routes die de verschillende producten volgen, zijn zeer divers, maar de globale volgorde van de bewerkingen is vrijwel gelijk. Daardoor kan het proces (redelijk) lineair weergegeven worden, waarbij dus geldt dat niet alle producten alle bewerkingen ondergaan.

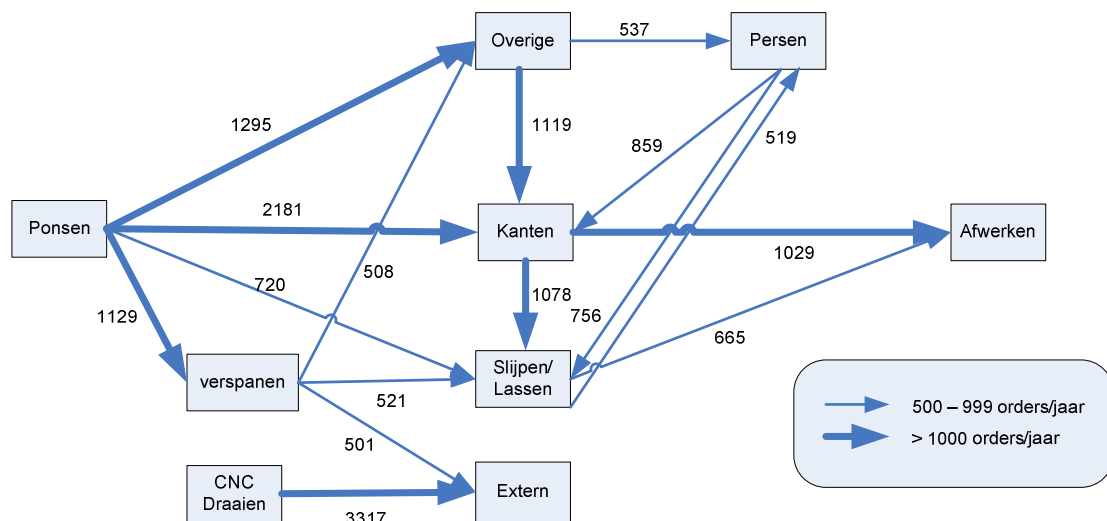
¹ Gebaseerd op o.a.: Stoit, Jos. *Logistieke besturing van een job-shop*. Afstudeerverslag TM, Rijksuniversiteit Groningen. Mei 2006, p. 44-46

Stafbewerken

Voor stafproducten is draaien altijd de startbewerking. Er zijn twee soorten draaimachines: conventioneel en CNC-gestuurd. De CNC-machines hebben, in tegenstelling tot de conventionele machines, een automatische toevoer en kunnen onbemand draaien. Vervolgens kan er geboord, geolied en eventueel extern gezwart worden.

Analyse from-to-tabellen

Uit een eerdere analyse is een from-to tabel van de afdeling onderdelenfabricage beschikbaar (zie bijlage 3).¹ Hierin zijn alle routes die orders binnen de afdeling afleggen over een heel jaar weergegeven. Analyse van deze tabel geeft inzicht in de hoofdstromen op de afdeling. In figuur 32 zijn de transporten aangegeven waarvan het aantal per dag gemiddeld minimaal 2 bedraagt (= ongeveer 500 per jaar). Bij kleinere aantallen is het aantal transporten per dag dusdanig klein dat deze als niet dominant beschouwd wordt. De groepen staan dusdanig gepositioneerd dat de figuur voor de lezer overzichtelijk is, dit komt niet overeen met de huidige layout van de afdeling. Ordertransporten kleiner dan 500 per jaar zijn hier niet weergegeven, zij zijn wel zichtbaar in de from-to matrix in de bijlage 3. Hierin is eveneens zichtbaar dat de laatste bewerking niet altijd afwerken is, maar dat bijvoorbeeld ook na de groepen extern en slijpen/lassen een aantal orders geen vervolgbewerking hebben.



figuur 32 Ordertransporten per jaar

Machines

De aanwezige machines worden weergegeven in Tabel 1. Ze staan hier ingedeeld in cellen zoals die door de productie leider omschreven worden. De onderdelenproductie is functioneel ingericht, dat wil zeggen dat dezelfde soort machines bij elkaar staan gegroepeerd.

¹ Heijden, Charlotte van der. *Tangram voor gevorderden. Layoutstudie naar de onderdelenfabricage bij Neopost Technologies*. Bachelorthesis TBK, Rijksuniversiteit Groningen. 2005. bijlage X en bijlage XI.

Tabel 4 Machinegegevens Neopost

Cel	Afkorting	Machinenaam	# machines	Geauto-matiseerd?	Uitwisselbaar?	Afgezonderd?
Persen	405	Haerger persstift	1	Nee		Nee
	410	Pers 20 ton	1	Nee	Deels met 420	Nee
	420	Pers 60 en 80 ton	2	Nee	Deels met 410	Nee
	440	Schaar	1	Nee		Nee
	460	hoekvormmachine	1	Nee		Nee
	710	Slijpen	2	Nee	Onderling	Nee
Ponsen	495	Trumpf 5000	1	Ja	Met 485 en 490	Gefundeerde vloer
	485	Trumpf 500	1	Deels	Met 495 en 490	Gefundeerde vloer
	490	Trumpf 600	1	Deels	Deels met 495 en 485	Gefundeerde vloer
Verspanen	500	Braungart	1	Nee		Nee
	510	Colchester	1	Nee	Deels met 500/510/520	Nee
	520	Schaublin	1	Nee		Nee
	616	Zagen	1	Nee		Nee
	620	Boren	4	Nee	Onderling	Nee
	630	Freesbank	1	Nee		Nee
	660	tappen	2	Nee	Onderling	Nee
Draaien CNC	530	Index	1	ja	Deels binnen groep	Nee
	550	Star KNC25	2	ja	Deels binnen groep	Nee
	560	Star SV20	1	ja	Deels binnen groep	Nee
Kanten	470	Kantbank	7	Nee	Deels onderling	Nee
	570	Rollenslijpen	1	Nee		Nee
Slijpen/ Lassen	613	Stiftlassen	1	Nee		Nee
	670	Puntlassen	3	Nee	Onderling	Nee
Overig	610	Bankwerken	nvt	Nee		Nee
	611	Klinken	3	Nee	Onderling	Nee
	612	Richten assen	1	Nee		Nee
	640	Vlakschuren	1	Nee		Nee
Afwerken	700	Inolieën + ontvetten	nvt	Nee		Nee
	720	Trommelen	1	Nee		Nee
	740	Spuiten	1	Nee		Afgescheiden werkplaats
	750	Tamponneren	1	Nee		Afgescheiden werkplaats
	770	Spuitwerk nabewerken	nvt	Nee		Nee
Extern	730	Zwarten	extern	-		Extern

Materialen

De materialen die verwerkt worden zijn vrij standaard. Er wordt met vier soorten platen gewerkt, waaronder RVS en aluminium. Ook voor de stafproducten wordt er met standaard grondstoffen gewerkt. Deze vragen niet om speciale behandeling met betrekking tot opslag of transport.

Kwaliteitscontroles

Voor verschillende bewerkingen zijn standaard kwaliteitscontroleprocedures opgesteld. Een bepaald percentage producten moet door de operator op kwaliteit worden gecontroleerd. De resultaten hiervan moet hij noteren en een aantal gecontroleerde producten moet ook door een tweede operator op kwaliteit worden gecontroleerd. Op deze manier wordt de controletaak van de uitvoerende operator tevens gecontroleerd.

Wanneer een product wordt afgekeurd, wordt hier een rapport van opgesteld waarin ook de oorzaak wordt vermeld. Er zijn gemiddeld 6,4 afkeurrapporten per week, waarvan ongeveer 60% uit afkeur van producten bestaat.

7.1.5. Materiaalbeheersing en voorraadbeheersing

Productieplanning

Productieplanning wordt uitgevoerd door de afdeling Material Management. De planningshorizon waarmee in het MPS gewerkt wordt, is 8 weken. Dit is gebaseerd op basis van de gemiddelde doorlooptijd van een order over de verschillende afdelingen. Binnen deze 8 weken is wijziging van de vraag slechts beperkt toegestaan, waardoor er stabiliteit in de planning ontstaat.

Material Management bepaalt met behulp van het MRP-systeem aan het eind van de week de weekplanning voor de volgende week, hierbij wordt altijd één veiligheidsweek in acht genomen. Deze weekplanning wordt overgedragen aan de productieafdeling, welke ongeacht de huidige situatie alle orders accepteert. Acceptatie heeft hierdoor niets te maken met garantie tot levering, het wordt gedaan met de gedachte: het werk zal toch gedaan moeten worden.¹ Hoewel bij grote hoeveelheden onderhanden werk orders door de productie leider nog worden tegengehouden, zorgt de directe acceptatie ervoor dat de orders vanaf de maandag als vrijgegeven staan geregistreerd. De productie leider heeft de vrijheid de orders over de week te verdelen. Dit gebeurt voornamelijk op basis van ervaring. Via het MRP-systeem wordt eveneens bepaald of er voldoende grondstoffen aanwezig zijn en, zo nodig, worden er via inkoop grondstoffen ingekocht.

Interne bevoorradingmethoden

De voorraden staf- en plaatmateriaal bevinden zich bij de startbewerkingen op de afdeling onderdelenproductie. Operators kunnen hierdoor gemakkelijk het benodigde materiaal verkrijgen. Wanneer een bewerking is afgerond, wordt de batch door de operator zelf naar de volgende bewerking verplaatst. Bij elke machine is plek voor onbewerkte en bewerkte (in- en outbound) voorraden. Deze plaatsen zijn echter niet overal duidelijk aangewezen of (bijvoorbeeld op de vloer) gemarkeerd.

Generatie productieorders

Op de afdeling onderdelenproductie wordt gepland met een horizon van maximaal 1 week. De dagplanning wordt door de productie leider afgestemd op de groepen draaien en ponsen, de bottlenecks in het proces. Doordat deze twee groepen altijd de startbewerking zijn, is deze wijze van plannen niet complex. De overige groepen worden geacht voldoende capaciteit te hebben om de orders te verwerken. Doordat er op zeer korte termijn gepland wordt, is het aantal verstoringen door niet ingeplande orders laag.

In het MRP-systeem is, met behulp van normtijden, voor elke order en voor iedere bewerking een start- en leverdatum bepaald. In principe wordt er gewerkt met de prioriteitsregel first-in-first-out, maar door clustering van orders bij de startbewerkingen is deze regel niet altijd eenduidig. Iedere operator krijgt aan het begin van de dag een lijst waarop de volgorde van orders staat aangegeven. Indien de desbetreffende orders aanwezig zijn, werkt hij de lijst van boven naar beneden af. Ook hier wordt de FIFO-regel niet altijd toegepast, of door clustering van orders (bijvoorbeeld bij de groep kanten) of door de persoonlijke voorkeur van de operator.

De voortgang van de orders wordt geregistreerd met behulp van een barcodesysteem. De informatie die hier uit voortkomt, wordt echter slechts gering teruggekoppeld naar de planning.

¹ Stoit, Jos. *Logistieke besturing van een job-shop*. Afstudeerverslag TM, Rijksuniversiteit Groningen. Mei 2006, Hoofdstuk 5

7.1.6. Logistieke parameters

Doorlooptijden

Voor het bepalen van vrijgavedata wordt gebruik gemaakt van gemiddelde doorlooptijden per product per bewerking. De bewerkingstijden zijn vrij nauwkeurig, de omsteltijden worden echter voor iedere order gelijk genomen terwijl dit in werkelijkheid nog wel eens blijkt te variëren. Hierdoor zijn vooral voor het draaien en het ponsen de doorlooptijden niet altijd even betrouwbaar. De overige doorlooptijden worden door de afdeling Material Management als betrouwbaar gekenmerkt.

Bezettingsgraden

De bezettingsgraad is bepaald met behulp van de gevraagde en de beschikbare capaciteit. In bijlage 4 zijn de bezettingsgraden berekend op basis van 100% beschikbaarheid van operators, het is dus de maximaal haalbare bezettingsgraad met de huidige machines. De daadwerkelijk gehaalde bezetting is afhankelijk van de wijze waarop de flexibele operators worden toegewezen. Een samenvatting is te vinden in Tabel 5.

Tabel 5 Gemiddelde bezettingsgraad per cel

Cel	Gemiddelde bezettingsgraad
Persen	29%
Ponsen	84%
Verspanen	38%
Kanten	111%
Slijpen/Lassen	43%
Overig	43%
Afwerken	62%

Mogelijkheid tot capaciteitsmaatregelen

De bezettingsgraden zijn voor sommige cellen erg hoog. Er zijn verschillende manieren waarmee (tijdelijk) extra capaciteit gecreëerd kan worden:

- Het aantal ploegdiensten uitbreiden; ponsen en kanten kunnen in meerdere ploegen worden uitgevoerd.
- Overwerken
- Weekenddraaien; onbemand producerende machines kunnen in het weekend produceren.
- Inhuren van extra personeel; om de machines maximaal te bezetten.

Mixflexibiliteit wordt gecreëerd door de multifunctionaliteit van de operators te benutten. Op deze wijze kan op zeer korte termijn de capaciteit van machines worden aangepast. De toewijzing van de operators naar de verschillende machines wordt gedaan op basis van gevoel en de visuele hoeveelheid onderhanden werk op dat moment.

In Tabel 1 zijn een aantal opmerkingen over flexibiliteit van de beschikbare capaciteit aangegeven. Voor alle machines geldt dat er de mogelijkheid is extra capaciteit te creëren door overwerken of het inhuren van extra personeel.

7.2. Casestudie analyse

In de casestudie analyse zal aan de hand van de verzamelde informatie bekeken worden in hoeverre de omgeving voldoet aan de voorwaarden voor polca. Daarnaast zal worden aangegeven op welke wijze het polcasysteem kan worden vormgegeven.

7.2.1. Achtergrond casestudie

Binnen Neopost Technologies realiseert men zich dat er bij de dagplanning van de orders op de afdeling onderdelenfabricage wellicht verbeteringen mogelijk zijn. Er is veel onderhanden werk en men vindt dat de doorlooptijden te lang zijn, hierdoor worden interne levertijden vaak niet gehaald. Aangezien men te maken heeft met veel verschillende eindproducten, denkt men dat polca hiervoor wellicht een verbetering kan bieden. Daarnaast wil men hiermee het overzicht over de afdeling verbeteren.

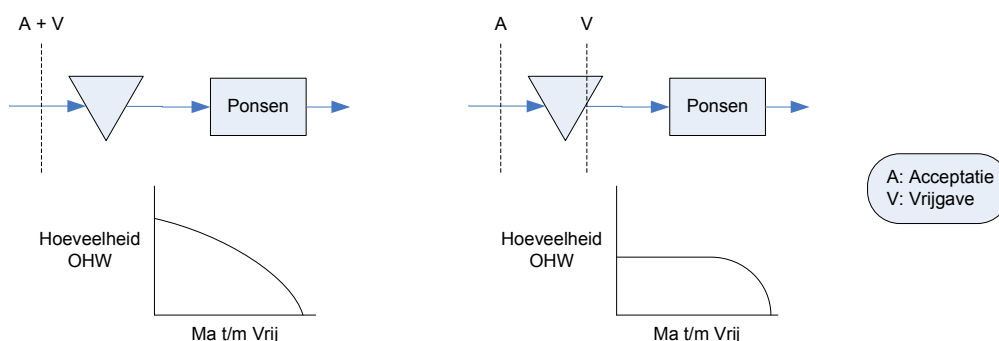
7.2.2. Onderzoeken van de voorwaarden

Productieomgeving

De productieomgeving kan getypeerd worden als Make To Order (MTO). De producten van de afdeling onderdelenfabricage worden weliswaar op voorraad gemaakt, de productie wordt echter aangestuurd door de orders die binnenkomen, de voorraad geldt slechts als een veiligheidsvoorraad voorafgaand aan de assemblage.

Op de afdeling onderdelenproductie worden 4787 verschillende producten gemaakt waarvan het aantal orders per product gemiddeld 3.4 per jaar is. Dit geeft aan dat de variëteit aan producten hoog is.

Variëteit in de hoeveelheid onderhanden werk ontstaat doordat orders die vanuit de weekplanning binnenkomen, allemaal geaccepteerd worden en daardoor als vrijgegeven geregistreerd staan terwijl er nog niet aan geproduceerd wordt. Er ontstaat hierdoor een situatie als in figuur 33 (links) aangegeven. Wanneer de belasting pas gemeten wordt vanaf het moment dat een order daadwerkelijk op de werkvloer is vrijgegeven en er geproduceerd kan worden, dan zal de figuur er anders uitzien, zie figuur 33 (rechts). Hier is te zien dat de hoeveelheid onderhanden werk op een constanter niveau ligt dan bij de figuur links.



figuur 33 Hoeveelheid OHV bij directe vrijgave (links) en uitgestelde vrijgave (rechts)

De kenmerken MTO en een veranderlijke vraag geven aan dat de onderdelenproductie zich in een omgeving bevindt die geschikt lijkt voor polca.

Aanwezigheid sequentiële relaties

De productstroom van de stafproducten (figuur 32) laat zien dat de groep draaien intern uit slechts één bewerking bestaat (zwarten vindt extern plaats) en dus geen sequentiële relatie vertoont met andere bewerkingen. Het ontbreken van deze relatie maakt deze groep ongeschikt voor polca. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat de analyse zich alleen richt op toepassing van polca bij de onderdelenfabricage.

Binnen de productstroom plaatproducten zijn duidelijk sequentiële relaties herkenbaar tussen de verschillende bewerkingen. De genoemde bewerkingen zouden ieder een polca-productiecel kunnen vormen.

Betrouwbare doorlooptijden

Doorlooptijden die in het MRP-systeem zijn opgenomen, worden door de planner, op het draaien na, als vrij betrouwbaar aangegeven. Bij het draaien heeft men te maken met grote verschillen in omsteltijden terwijl er voor de berekening van de doorlooptijden gemeten wordt met één gemiddelde omsteltijd. Aangezien de cel 'CNC draaien' vanwege het ontbreken van een sequentiële relatie al buiten het polcasysteem wordt gehouden, vormt het ontbreken van betrouwbare doorlooptijden voor het CNC draaien voor polca geen beperking.

Productielijsten

Op de bewerkingsstaat staat aangegeven welke bewerkingen op welke machines wanneer uitgevoerd moeten worden. Op de bewerkingsbonnen wordt onder andere per bewerking de stuktijd per 100 producten aangegeven.

Met een kleine aanpassing kunnen de huidige bewerkingsbonnen geschikt gemaakt worden voor polca. Aanpassingen bestaan uit het toevoegen van de polcakaart-kenmerken (naam en kleuren) en, indien gewerkt wordt met een maximale capaciteitsbelasting van één polca, het bepalen van de werkinhoud (# polca's dat voor de bewerking benodigd is).

Capaciteitsplan

Op basis van de bekende gegevens over de normale capaciteit en de productiegegevens (zie bijlage 4) is in Tabel 6 de gemiddelde bezettingsgraad per machine berekend.

Tabel 6 Bezettingsgraden plaatwerk

Cel	Afkorting	Machinenaam	Bezettingsgraad	Capaciteit flexibel?
Persen	405	Haerger persstift	73%	Operators zijn uitwisselbaar.
	410	Pers 20 ton	12%	
	420	Pers 60 en 80 ton	43%	
	440	Schaar	22%	
	460	Hoekvormmachine	3%	
	710	Slijpen	20%	
Ponsen	495	Trumpf 5000	63%	Volledig bezet, overige wordt uitbested.
	485	Trumpf 500	108%	
	490	Trumpf 600	80%	
Verspanen	500	Braungart	62%	Operators zijn uitwisselbaar.
	510	Colchester	7%	
	520	Schaublin	45%	
	616	Zagen	5%	
	620	Boren	46%	
	630	Freesbank	20%	

	660	Tappen	80%	
Kanten	470	Kantbank	111%	# ploegen tijdelijk uitbreidbaar
Slijpen/	570	Rollenslijpen	26%	
Lassen	613	Stiftlassen	42%	Operators zijn uitwisselbaar.
	670	Puntlassen	62%	
Overig	610	Bankwerken	29%	
	611	Klinken	56%	Operators zijn uitwisselbaar.
	612	Richten assen	6%	
	640	Vlakschuren	81%	
Afwerken	700	Inolieen + ontvetten	6%	
	720	Trommelen	101%	Operators zijn deels uitwisselbaar.
	740	Spuiten	91%	
	750	Tamponneren	88%	Deels geëlimineerd
		Spuitwerk		
	770	nabewerken	24%	

De bezettingsgraad is bepaald door de beschikbaarheid van de machines te meten. Door de uitwisselbaarheid van operators is de beschikbaarheid van operators bij elk van de machines variabel.

Bezettingsgraden

Om invoering van polca effectief te laten zijn, is er een gestelde bezettingsgraadnorm van 30%-80%.¹ Uit Tabel 6 blijkt dat binnen de cellen ponsen, kanten, overige en afwerken een aantal bezettingsgraden boven de 80% liggen.

Voor het ponsen geldt dat het teveel aan orders wordt uitbesteed, zodanig dat de bezettingsgraad optimaal is. Optimaal is hierbij het optimale evenwicht tussen doorlooptijd en kosten. Dit optimum ligt echter ver boven de 80%. Wanneer polca voor deze cel effectief moet zijn, en dus de doorlooptijd zal moeten verkleinen, zal er meer ponswerk uitbesteed moeten worden.

Binnen de cel kanten heeft men invloed op de bezettingsgraad door met het aantal ploegen waarin gewerkt wordt te variëren. In bovenstaande berekening is uitgegaan van een éénploegendienst, wanneer dit wordt verdubbeld, zal de bezettingsgraad halveren en binnen de gestelde marge vallen.

Voor bewerkingen waarvan de bezettingsgraden onder de 30% liggen, zal polca weinig toegevoegde waarde kunnen bieden aangezien orders in de huidige situatie met gemak verwerkt kunnen worden.

Door de afdeling worden met name ponsen en kanten als bottleneck ervaren. Voor deze groepen is het dus vooral belangrijk een goede doorstroom te realiseren.

7.2.3. Identificatie van polca-productiecellen

Verondersteld wordt dat de specifieke kenmerken van het productieproces invloed hebben op de creatie van polca-productiecellen en/of de werking van het polcasysteem. De invloed van machinekenmerken, kwaliteitscontroles en buffermogelijkheden worden achtereenvolgens behandeld.

¹ Suri, R. 1998. *Quick Response Manufacturing: A Companywide Approach to Reducing Lead Times*. Portland, Oregon: Productivity Press Inc. p. 164-165

Machinekenmerken

De aanwezige pons- en draaimachines kunnen (deels) onbemand produceren. Dit heeft tot gevolg dat aan het begin van een onbemande shift, bekend moet zijn welke orders tijdens die shift geproduceerd moet worden. Voor deze orders moeten de benodigde polcakaarten dus al aan het begin van de shift beschikbaar zijn.

Een voordeel van de afdeling is dat de machines die onbemand kunnen produceren altijd de startbewerking zijn. Er hoeft dus geen voorraad halffabrikaten vóór deze stations worden opgebouwd. Tijdens de onbemande shift wordt er een buffer opgebouwd tussen het eerste en het tweede station wat door de orders aangedaan wordt. Deze buffer wordt tijdens de volgende shift door de tweede stations weggewerkt. Polca kan er voor zorgdragen dat de verdeling van de orders over de buffers zo optimaal mogelijk is en dat zij niet onnodig groot worden. Dit eerste wordt bereikt doordat er alleen geproduceerd mag worden wanneer een volgende cel door middel van een polcakaart aangeeft binnenkort capaciteit vrij te krijgen, het tweede door een limiet te stellen aan het aantal polcakaarten in iedere loop.

Polcakaarten en onbemande productie

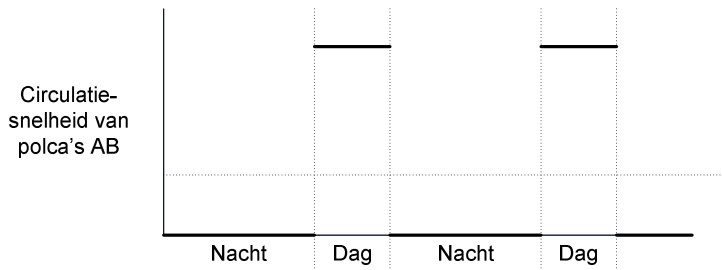
Het aantal polcakaarten in de loops waarvan machines onbemand kunnen produceren zal moeten worden aangepast. Orders die zich in de buffer tussen de eerste en de tweede bewerking bevinden, nemen een polcakaart in beslag, waardoor de cyclustijd van een polcakaart stijgt en het aantal polcakaarten zal moeten stijgen. De originele formule voor het berekenen van het aantal polcakaarten zoals deze in hoofdstuk 2 is afgeleid, luidt als volgt:

$$N_{ab} = \left[(O_a + B_a + W_a + T_a) + (W_{o,a} + W_{a,a} + W_{p,a}) + (O_b + B_b + W_b + T_b) + (W_{a,b} + W_{p,b}) + T_{a-b} + T_{b-a} \right] * D$$

Waarbij:

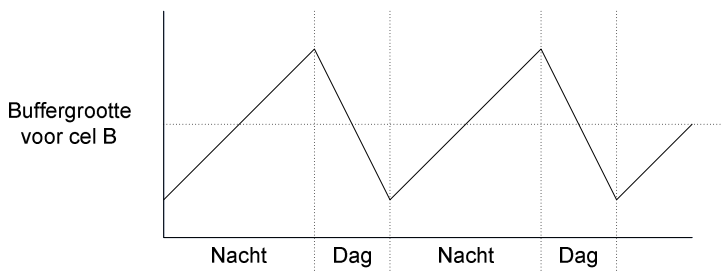
O_a	=	Totale gemiddelde omsteltijd in cel A
B_a	=	Totale gemiddelde bewerkingstijd in cel A
W_a	=	Totale gemiddelde wachttijd in cel A
T_a	=	Totale gemiddelde transporttijd binnen cel A
T_{a-b}	=	Transporttijd van een polca tussen cel A en cel B (gezamenlijk met de order)
T_{b-a}	=	Transporttijd van een polca tussen cel B en cel A (losgekoppeld van de order)
$W_{o,x}$	=	Wachttijd van een polca op een order voor cel X
$W_{a,x}$	=	Wachttijd van een polca op autorisatie voor cel X
$W_{p,x}$	=	Wachttijd van een polca op een polca voor cel X,

Bij deze berekening wordt niet uitgegaan van de mogelijkheid tot onbemand produceren. Het aantal polcakaarten wordt in de formule onder andere bepaald aan de hand van de gemiddelde cyclustijd van een polca. Bij onbemande productie is de circulatiesnelheid en daarmee de cyclustijd van de polcakaarten echter niet stabiel, zie figuur 34. Bij gebruik van bovenstaande formule worden de twee situaties (dag en nacht) gemiddeld, waardoor de afwijking van de gemiddelde snelheid genegeerd wordt.



figuur 34 Circulatiesnelheid van polca's AB

Een tweede probleem bij toepassing van bovenstaande formule is dat de periode waarin een order met een polca ligt te wachten op een vervolgbewerking in de tweede cel, wordt meegenomen in de gemiddelde wachttijd in de cel. Doordat de gemiddelde wachttijd als gevolg van buffervorming toeneemt, neemt het berekende aantal polcakaarten toe. Er wordt echter geen rekening gehouden met het feit dat de wachttijden voor de tweede cel ontstaan doordat deze cel niet altijd beschikbaar is. Wanneer de cel buiten werking is, is de wachttijd hoog, wanneer deze wel in werking is, is deze veel lager. Bij bovenstaande formule worden deze twee situaties gemiddeld, waardoor de afwijking van de gemiddelde wachttijd genegeerd wordt. Dit is ook zichtbaar in figuur 35 waar de variatie van de buffergrootte voor de tweede cel wordt weergegeven. Het wel of niet beschikbaar zijn van cel B (het verschil tussen dag en nacht) is van grote invloed op de wachttijden en de circulatiesnelheid van de polca's.



figuur 35 Variatie in buffergrootte als gevolg van onbemand produceren

Om de grote verschillen tussen de situatie overdag en 's nachts te ondervangen, moet een extra toevoeging aan het polcasysteem worden gedaan. Een aantal mogelijkheden zal worden genoemd. Zij verschillen in de mate waarin bij de onbemande productie rekening wordt gehouden met de interne vraag.

Alternatief 1

Een mogelijkheid om om te gaan met de verschillende kenmerken van dag en nacht, is door voor beide situaties andere polca's te gebruiken. Overdag kan gebruik gemaakt worden van het 'gewone' polcasysteem, met de normale kaartjes. Het rouleren van de kaartjes is veelal geen probleem, omdat het geautomatiseerde proces overdag bemand is om de machine in te stellen en materialen aan- en af te voeren.

De polcakaarten voor 's nachts hebben twee functies: een maximum te stellen aan de hoeveelheid onderhanden werk en om prioriteiten aan orders met verschillende vervolgbewerkingen te geven. Dit kan gerealiseerd worden door het aantal kaarten te baseren op de maximale buffergrootte van de vervolgbewerkingen, wat ook omschreven kan worden als de interne vraag voor de volgende dag. Wanneer dit maximum is bereikt, mag er niet meer voor die bestemming geproduceerd worden. Omdat de grootte van de buffers van de vervolgbewerkingen 's nachts niet wijzigt (behalve dan door de onbemand

producerende cel), is aan het begin van de onbemande shift bekend hoeveel voor iedere bestemming geproduceerd mag worden.

Alternatief 2

Een variant op het eerste alternatief is om alleen overdag met het polcasysteem te werken. De situatie voor overdag blijft dan ongewijzigd. 's Nachts vindt de productie dan alleen plaats op basis van de planning. De planner zorgt voor vrijgave van een bepaalde hoeveelheid orders die 's nachts geproduceerd moeten worden. Hierbij wordt niet automatisch rekening gehouden met de hoeveelheid onderhanden werk, dit wordt een taak van de planner.

Alternatief 3

Een derde manier om met onbemand producerende cellen om te gaan, is door deze buiten het polcasysteem te laten. Het systeem richt zich dan alleen op de bemande cellen. De onbemande cel produceert dan alleen op basis van het vrijgavesysteem (externe vraag) en niet eveneens op basis van de interne vraag (polcakaarten).

Een ander alternatief, waarbij wordt afgeweken van het principe van het circuleren van fysieke kaarten op de werkvloer, is de toepassing van e-polca.¹ Dit is de elektronische variant van polca zoals die ontwikkeld is door Vandaele, Claerhout & van Niewenhuyse. In deze variant wordt hetzelfde vrijgaveprincipe gebruikt, maar dan via computersystemen. Voordeel hiervan is dat er geen operators noodzakelijk zijn om polcakaarten te circuleren. Een nadeel is dat de investeringskosten vrij hoog zijn wanneer de huidige informatievoorziening voor de cellen niet digitaal georganiseerd is.

Capaciteitsveranderingen

De uitwisselbaarheid van machines en operators heeft tot gevolg dat de flexibiliteit van het productieproces wordt vergroot. De inzetbaarheid van de verschillende machines kan worden aangepast op de vraag. Dit heeft tot gevolg dat doorlooptijden kunnen variëren en daarmee ook de polcacyclustijden.

Om niet bij iedere verandering in capaciteit het aantal polcakaarten opnieuw te moeten bepalen, kan voor de capaciteit een vaste norm worden genomen. Hiermee wordt echter de flexibiliteit van het systeem verkleind. Een evenwicht kan gevonden worden door binnen een cel een grote mate van flexibiliteit te creëren (door de uitwisselbaarheid van machines en operators), maar operators wel aan vaste cellen toe te wijzen welke slechts incidenteel van cel mogen veranderen (bijvoorbeeld bij het uitblijven van orders). Op deze wijze zullen de celdoorlooptijden minder variëren, aangezien de totale beschikbare capaciteit aan operators binnen de cel constant is.

Wanneer een capaciteitsverandering structureel is, bijvoorbeeld door het draaien van meer ploegen, het uitbreiden van het aantal operators of bij aanschaf van een nieuwe machine, zal het aantal polcakaarten aan de nieuwe situatie moeten worden aangepast. Het nieuwe aantal polcakaarten kan bepaald worden door de nieuwe parameters in de formule in te voeren.

¹ Vandaele, N.J., Claerhout, D. & van Niewenhuyse, I. *E-POLCA to control multi-product, multi-machine job shops*. University of Antwerp, Faculty of Applied Economics.

Kwaliteitscontroles

De aanwezigheid van verschillende kwaliteitscontroles heeft slechts een kleine invloed op het polcasysteem. De tijd die hiervoor in beslag wordt genomen, moet voor het berekenen van het aantal polcakaarten in de formule worden meegenomen. Dit houdt in dat de 'kwaliteitscontroletijd' ofwel bij de bewerkingstijd moet worden opgeteld, ofwel dat er een nieuwe factor (K_a , kwaliteitscontroletijd in cel a) aan de formule moet worden toegevoegd.

Buffermogelijkheden

Bij iedere polcacel moet het mogelijk zijn aan het begin en eind een buffer aan te houden omdat het mogelijk is dat orders moeten wachten op polcakaarten of op autorisatie. Doordat op de afdeling bij elke machine de mogelijkheid is een buffer op te bouwen, geeft dit in principe geen beperkingen aan het ontwerp van het polcasysteem. Wel zal de manier van bufferen gestandaardiseerd moeten worden; er moeten vaste plaatsen voor bepaalde buffers aangewezen worden.

Cellen

Polca-cellen kunnen gevormd worden door combinaties of onderdelen van de in Tabel 6 genoemde bewerkingen. Bewerkingen worden dan samengevoegd of juist gesplitst om de effectiviteit van polca te optimaliseren. In Tabel 6 worden zeven groepen onderscheiden. De machines zijn ingedeeld op het uitvoeren van gelijksoortige bewerkingen, in dezelfde fase van het productieproces (zie figuur 31). Omdat kanten en ponsen als bottleneck aangewezen worden, zijn zij ieder als één cel weergegeven. Op die manier kan polca voor hen het meest effectief zijn. Omdat binnen de cellen operators veelal uitwisselbaar zijn, wordt om de flexibiliteit binnen deze cellen te behouden het verdere polcasysteem ontwikkeld aan de hand van deze zeven cellen.

7.2.4. Ontwerp van het polcasysteem

Op basis van de in paragraaf 7.1.4 beschreven productieprocessen wordt in deze fase gekeken hoe de materiaaluitwisseling binnen de afdeling onderdelenfabricage door middel van polca te beheerst kan worden.

Doel

Doel van het te ontwerpen polcasysteem:

- De hoeveelheid onderhanden werk verlagen
- De doorlooptijden verkorten (→ interne levertijden halen)
- Overzicht op de afdeling verbeteren

Aanpak

Het polcasysteem wordt gemaakt door eerst de mogelijke polcaloops met de grootste ordertransporten (>1000 orders/jaar) te bekijken. Hier wordt een beeld gevormd van hoe het polcasysteem er globaal uit kan komen te zien, wat mogelijke prestatieverbeteringen zijn en eventuele beperkingen. Vervolgens zal per groep ook naar de, qua grootte, opvolgende ordertransporten gekeken worden (500-999 orders/jaar).

7.2.5. Ontwerp productstroom plaatwerk, # orders > 1000

Polcastructuur plaatwerk

Binnen de productstroom plaatwerk wordt altijd gestart met ponsen. Hierop volgt veelal een bewerking in de groep kanten, verspanen of overige. Vanuit het ponsen kunnen dus drie polcaloops gecreëerd worden:

- ponsen – kanten
- ponsen – verspanen
- ponsen – overige

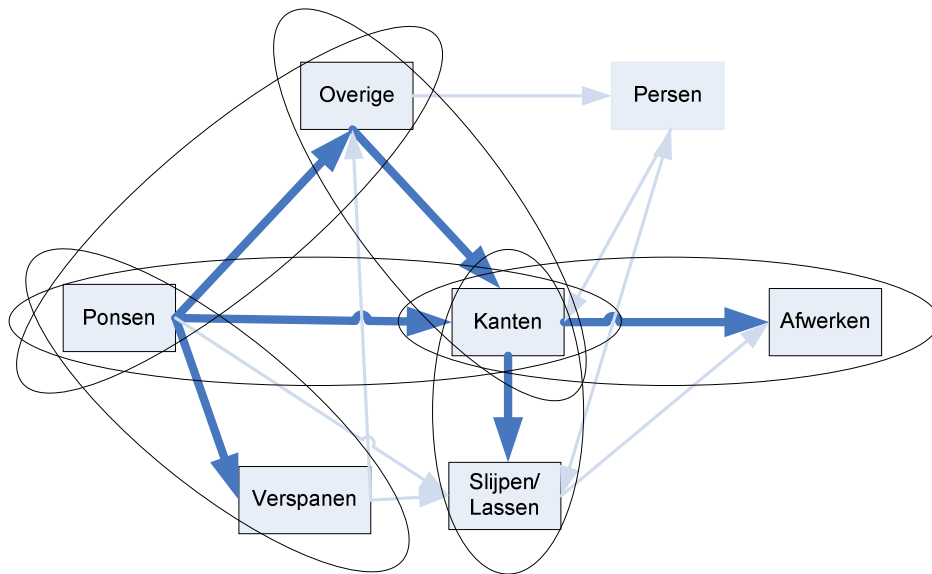
Deze polcaloops zijn bruikbaar voor de alternatieven 1 en 2 zoals die in paragraaf 7.2.3 geformuleerd zijn. In eerste instantie zal alternatief 2 het gemakkelijkst te implementeren zijn, hierbij wordt alleen overdag gebruik gemaakt van het polcasysteem. Er hoeft dan geen alternatief polcasysteem voor de nacht te worden gehanteerd. Het voordeel van alternatief 1 met betrekking tot het beperken van de hoeveelheid onderhanden werk levert in deze situatie weinig op, aangezien de cel ponsen vrijwel continu zal moeten produceren waardoor productie van te grote voorraden waarschijnlijk niet het geval is.

Deze drie vervolgbewerkingen hebben onderling ook een relatie. Na de groep overige gaan veel orders richting kanten. Hierdoor kan een extra loop gecreëerd worden over deze twee groepen:

- overige – kanten

Na het kanten gaan de meeste orders of richting slijpen/lassen of richting afwerken:

- kanten – slijpen/lassen
- kanten – afwerken



figuur 36 Polcastructuur plaatwerk (>1000 orders/jr)

Prestatieverbeteringen

Door middel van de eerste drie polcaloops wordt ervoor gezorgd dat het werk, dat door de groep ponsen wordt uitgevoerd, goed wordt afgestemd op de interne vraag vanuit volgende drie groepen. Er wordt een dusdanige mix aan orders geponst dat het aanbod van orders aan de volgende drie groepen in balans is met hun beschikbare capaciteiten. De wachtrijen tussen de drie relaties zullen zich op een vrij constant niveau bevinden, waardoor doorlooptijden en de hoeveelheid onderhanden werk kunnen worden gereduceerd.

De polcaloop van overige naar kanten balanceert de hoeveelheid werk richting de groep kanten. Wanneer kanten geen capaciteit beschikbaar heeft, wordt dit in de hoeveelheid polcakaarten duidelijk en zal de groep overige orders met een andere bestemming moeten verwerken.

Met de laatste twee loops wordt de orderstroom vanuit de groep kanten richting slijpen/lassen en afwerken op basis van de binnenkort beschikbare capaciteiten verdeeld.

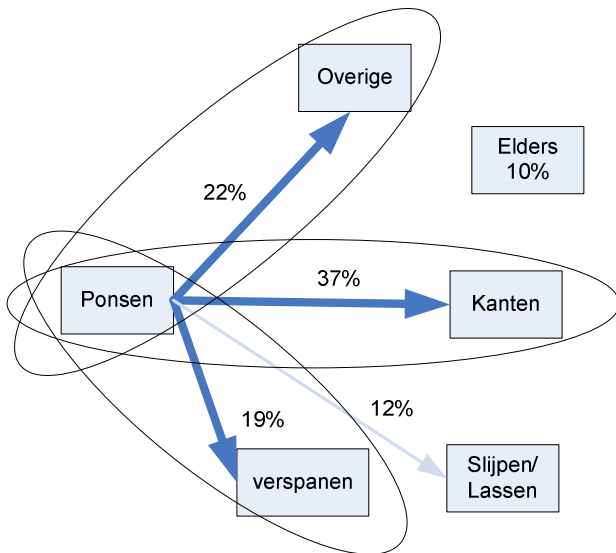
Beperkingen

Doordat het ponsen een geautomatiseerd proces is, en er 's nachts geproduceerd wordt, zal er tussen de eerste en tweede bewerking altijd een voorraad worden opgebouwd. Polca kan deze voorraden niet voorkomen, maar kan er wel voor zorgdragen dat er een maximum aan gesteld wordt, zodanig dat de vervolgbewerkingen het bijvoorbeeld binnen één dag kunnen verwerken. Daarnaast kan de verdeling van orders over de verschillende buffers van de vervolgbewerkingen gebalanceerd worden (afhankelijk van het gekozen alternatief).

7.2.6. Ontwerp per groep, # orders > 500

Ponsen

Naast de drie polcaloops uit figuur 36 zijn er vanuit ponsen ook vrij veel ordertransporten richting slijpen/lassen, zie figuur 37. De percentages bij de pijlen geven aan: het percentage orders dat vanuit ponsen naar een bepaalde groep gaat, dus 37% van de orders moet na het ponsen naar kanten. In het blok 'elders' staat aangegeven hoeveel procent van de orders voor andere groepen dan de vernoemde bestemd is.



figuur 37 Polcastructuur ponsen

De bezettingsgraden van de machines in de groep slijpen/lassen is niet hoog (< 62%). De toevoeging van een extra loop ponsen – slijpen/lassen is wellicht overbodig, omdat deze groep de hoeveelheid orders goed aankan. Voorwaarde is wel dat er een prioriteitensysteem komt, wat bepaalt wanneer ponsen voor niet-polcaloops mag

produceren. In dit geval is dat voor 22% (12% naar slijpen/lassen en 10% naar elders) van het totale aantal orders.

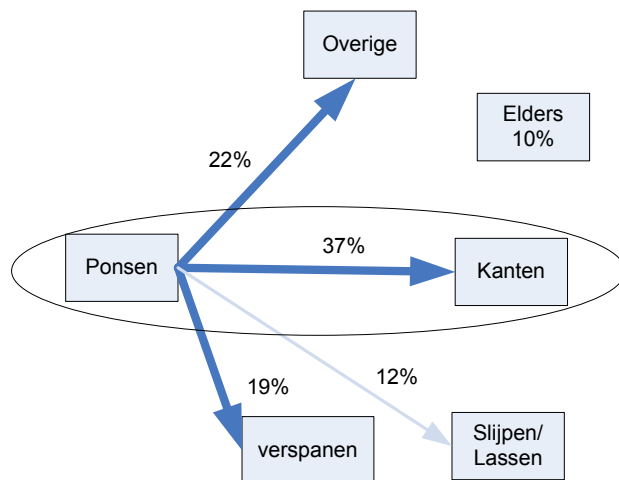
Vanwege de overbelasting van de ponsmachines wordt een deel van het ponswerk uitbesteed. Datgene dat uitbesteed wordt, komt in een grote batch terug waardoor de bij de vervolgbewerkingen een buffer ontstaat. Het is taak van de planner om de orders die uitbesteed worden dusdanig te balanceren dat niet allen dezelfde vervolgbewerking behoeven. Deze balans kan gerelateerd worden aan de verdeling van de capaciteit over de verschillende polcaloops. Wanneer bijvoorbeeld grofweg 2/5 van de orders naar kanten moet, 1/5 naar overige en 1/5 naar verspanen, kan de planner deze verdeling aanhouden voor de orders die binnenshuis geproduceerd worden.

Beperkingen

De bezettingsgraad van de ponsgroep is in de huidige situatie te groot om polca effectief te kunnen toepassen. Er zullen meer orders moeten worden uitbesteed om binnen de norm van 80% te vallen.

Zoals bij de machinekenmerken vermeld, kan de groep ponsen deels onbemand produceren. Manieren waarop daar mee omgegaan kan worden zijn reeds genoemd. In de structuur van figuur 37 kunnen alternatief 1 en alternatief 2 worden toegepast. Welke van de twee gekozen wordt, zal afhankelijk zijn van de mate waarin men de orderdoorstroom 's nachts beter wil beheersen.

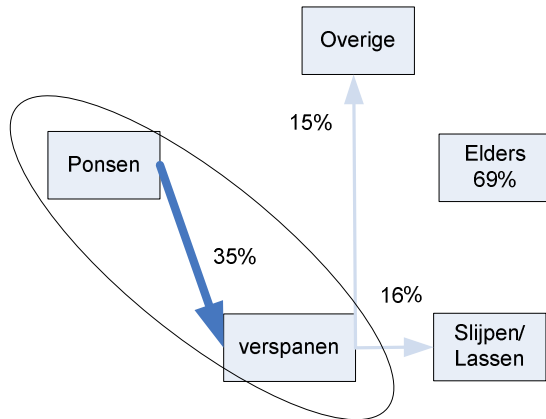
Een extra variant is een combinatie van alternatief 1 met alternatief 3, zie figuur 38. Hierbij wordt alleen de orderstroom richting de groep kanten (wordt als bottleneck ervaren) door middel van polca beheerst, en de overige stromen via de planning (alleen externe vraag). Deze loop zal er voor zorgen dat wanneer kanten aangeeft capaciteit beschikbaar te krijgen, ponsen hiervoor orders gaat produceren. Hierdoor is, bij gebruik van een goed prioriteitensysteem, de toevoer naar de groep kanten gegarandeerd.



figuur 38 Polcastructuur ponsen, alternatief

Verspanen

Naast de polcaloop die al gevormd was van het branden richting verspanen, zijn er ook vrij veel ordertransporten vanuit het verspanen richting slijpen/lassen en overige, zie figuur 39. Het percentage bij de inkomende pijl geeft aan dat 35% van de orders die verspanen ontvangt, ponsen als voorgaande bewerking heeft.



figuur 39 Polcastructuur verspanen

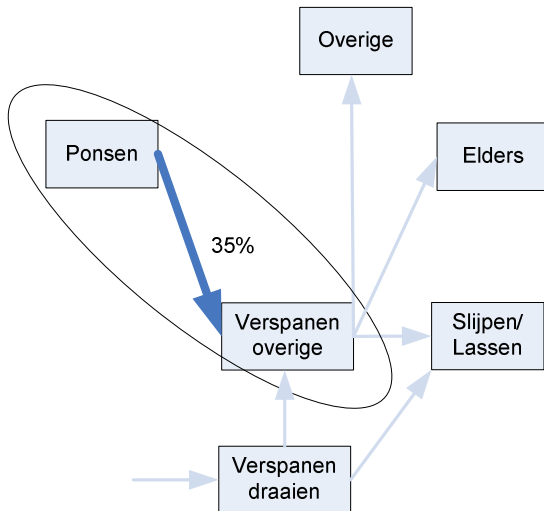
Door de polcaloop ponsen – verspanen wordt het aantal orders dat achter elkaar vanuit ponsen naar verspanen komt gelimiteerd. Het totaal aantal orders blijft uiteraard gelijk, de verdeling over de tijd wordt alleen door polca beheerst. Polca is in deze situatie geen manier om de verdeling van orders over de groepen te beheersen (aangezien er maar 1 loop is), maar een manier om de hoeveelheid onderhanden werk te beperken.

Door toevoeging van de extra polcaloops verspanen – overige en verspanen – slijpen/lassen (niet weergegeven in de figuur) ontstaat er voor de verspaangroep een extra manier voor het stellen van prioriteiten aan orders. Polca bepaalt dan aan de hand van de in de toekomst beschikbare capaciteit van de twee opvolgende groepen, welke orders eerst geproduceerd moeten worden. Wanneer gekeken wordt naar de gemiddelde bezettingsgraden van beide (43% en 43%), blijken deze vrij laag. Het voordeel dat door deze extra polcaloops kan worden behaald, is daarom wellicht beperkt.

Beperkingen

De groep verspanen bevat in deze samenstelling machines die allen verspaanbewerkingen uitvoeren, maar wel in diverse vormen. Zo kan er onderscheid gemaakt worden tussen draaibewerkingen (machines 500, 510 en 520 uit Tabel 6) en overige verspaanbewerkingen (boren, zagen, frezen en tappen). Deze twee groepen zijn onderling niet uitwisselbaar en er is onderscheid zichtbaar in de vervolgbewerkingen.

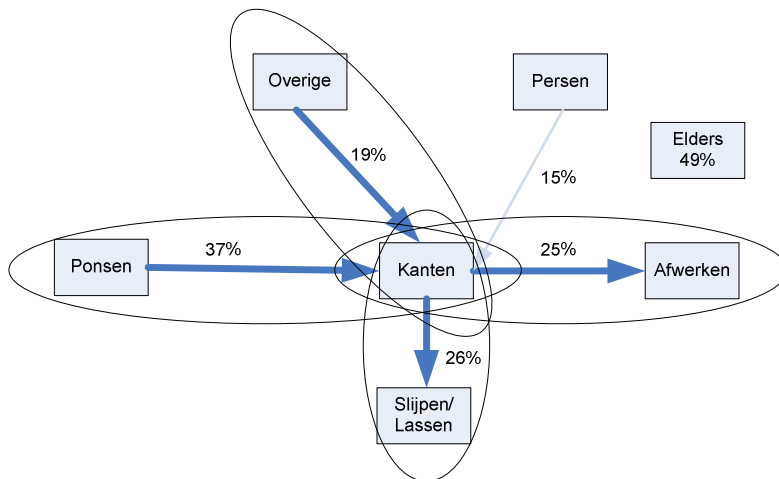
Een draaibewerking is veelal een startbewerking en vervolgens gaan de meeste orders richting slijpen/lassen of naar overige verspaanbewerkingen. Orders bestemd voor overige verspaanbewerkingen komen veelal vanaf het ponsen en de vervolgbewerkingen zijn zeer divers. Deze verschillen kunnen doen besluiten om de groep verspanen in tweeën te splitsen, zie figuur 40. Op deze wijze wordt de beschikbare capaciteit verdeeld over twee groepen, waardoor het gevaar van het niet vrij hebben van de juiste capaciteiten (draaien of overige) wordt voorkomen. Binnen de gevormde groepen zijn de machines voor een deel uitwisselbaar en zijn operators flexibel inzetbaar.



figuur 40 Polcastructuur verspanen, alternatief

Kanten

Zoals in figuur 36 zichtbaar is, vormt de groep kanten met 2 ingaande en 2 uitgaande loops het middelpunt van de polcastructuur. Naast deze loops is er ook een relatie vanuit de groep persen, zie figuur 41.



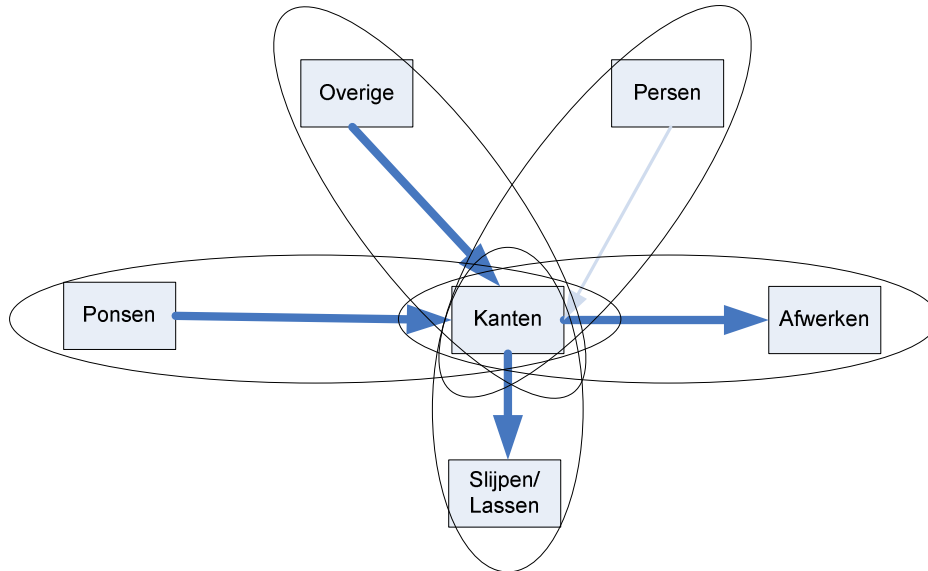
figuur 41 Polcastructuur kanten

Kanten bevindt zich centraal in het proces, waardoor de aansturing vrij complex is. Door gebruik van polca kan de hoeveelheid orders richting de groep kanten worden beheerst, zodat opstopping voorkomen wordt. Dit komt ten goede aan de hoeveelheid onderhanden werk en de doorlooptijd van de orders.

Alternatief

Om de orderstroom richting de groep kanten beter te beheersen, kan er nog een extra polcaloop gecreëerd worden: persen – kanten, zie figuur 42. Deze loop zorgt ervoor dat de toevoer van persen naar het kanten toe aan een maximum gebonden wordt. Dit voorkomt grote voorraden aan het begin van de cel kanten die nog niet verwerkt kunnen worden. Verder is het mogelijk dat, afhankelijk van het prioriteitensysteem dat gehanteerd wordt, de toevoer naar kanten vanuit het persen gegarandeerd worden. Er zal bij het persen dan

een regel gehanteerd moeten worden lijkend op: wanneer er een polcakaart persen-kanten en een order beschikbaar zijn gaat deze voor op andere orders. Op deze manier wordt 71% (37% + 19% + 15%) van de inkomende orders door polca aangestuurd. Voor de overige orders zullen alternatieve prioriteitsregels gehanteerd moeten worden.



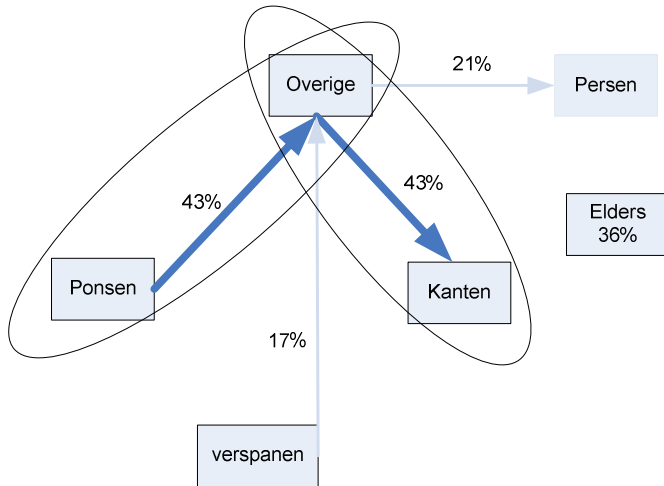
figuur 42 Polcastructuur kanten, alternatief

Beperkingen

De huidige bezettingsgraad van de groep kanten (111%) is te hoog voor het gebruik van polca. In de huidige situatie wordt dit opgevangen door extra shifts te draaien. Om het percentage onder de 80% te krijgen, zal structureel meer capaciteit moeten worden gecreëerd bijvoorbeeld door deze extra shifts altijd te draaien. Wanneer dit niet mogelijk is zal polca beperkend werken.

Overige

De groep overige bevat, wanneer naar grote orderstromen gekeken wordt, twee polcaloops, zie figuur 43. Met name de loop overige – kanten kan een voordeel opleveren voor de hoeveelheid onderhanden werk. Doordat de groep overige een veel lagere bezettingsgraad heeft dan kanten, bestaat namelijk het risico dat er een grote buffer tussen deze twee ontstaat. Door met behulp van de polcakaarten een maximum te stellen aan de hoeveelheid orders bestemd voor kanten, wordt dit voorkomen. Wanneer er geen polcakaarten voor de groep kanten beschikbaar zijn, kan de groep overige produceren voor andere bestemmingen. Als alternatief hierop zou de groep overige ook met persen een loop kunnen vormen.



figuur 43 Polcastructuur overige

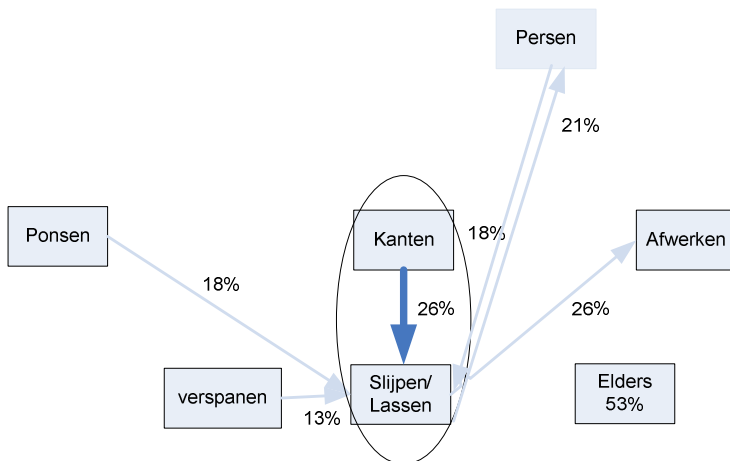
Beperkingen

De groep overige krijgt zijn orders vanuit de groep ponsen. Zij heeft zelf echter geen invloed op wat de derde bewerking van een product is. Wanneer er bijvoorbeeld alleen orders met als derde bewerking kanten binnenkomen, wordt met behulp van polca wel de hoeveelheid onderhanden werk gelimiteerd, maar kan de groep overige wanneer kanten druk bezet is, geen orders met een andere vervolgbestemming bewerken. Om deze vorm van opstopping (kanten) en leegloop (bijvoorbeeld richting persen) te voorkomen, moet de afdelingsplanner voor variatie in de toevoer zorgen door, indien dit mogelijk is, orders met eenzelfde bewerkingsvolgorde over de dag of week te verdelen.

Slijpen/Lassen

De groep slijpen/lassen heeft één grote relatie vanuit het kanten en verder verscheidene kleinere relaties met andere groepen, zie figuur 44. Doordat de groep slijpen/lassen geen bottleneck is, is het vrij goed in staat de orders te verwerken. Toevoeging van extra polcaloops om alle in de figuur zichtbare relaties zou wellicht tot onoverzichtelijkheid lijden.

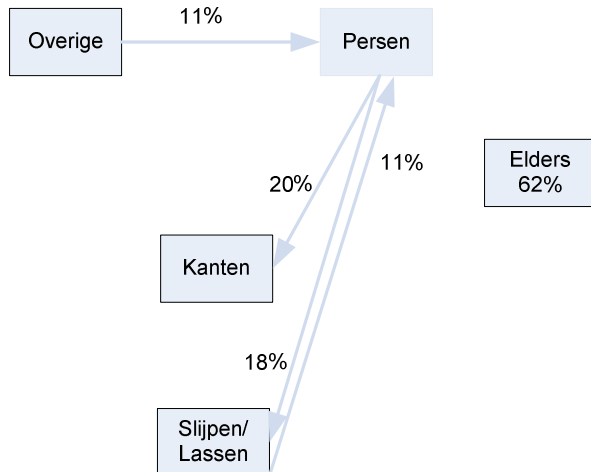
Het opsplitsen van de groep tot een groep slijpen en een groep lassen biedt weinig voordelen. De groep slijpen is erg klein en er wordt weinig capaciteit van gevraagd. Bovendien zijn de operators uitwisselbaar.



figuur 44 Polcastructuur slijpen/lassen

Persen

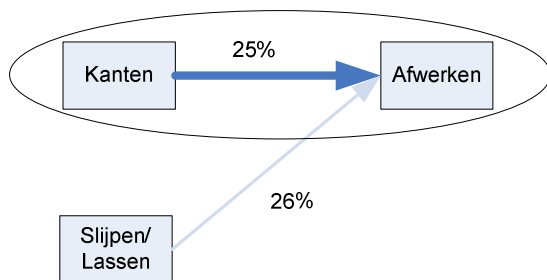
In de polcastructuur zoals die weergegeven is in figuur 36 zijn er geen polcaloops verbonden met de groep persen, er zijn dus geen grote orderstromen richting persen. Ter beheersing van de stroom orders naar de groep kanten, is in figuur 42 de loop persen – kanten gecreëerd.



figuur 45 Polcastructuur persen

Afwerken

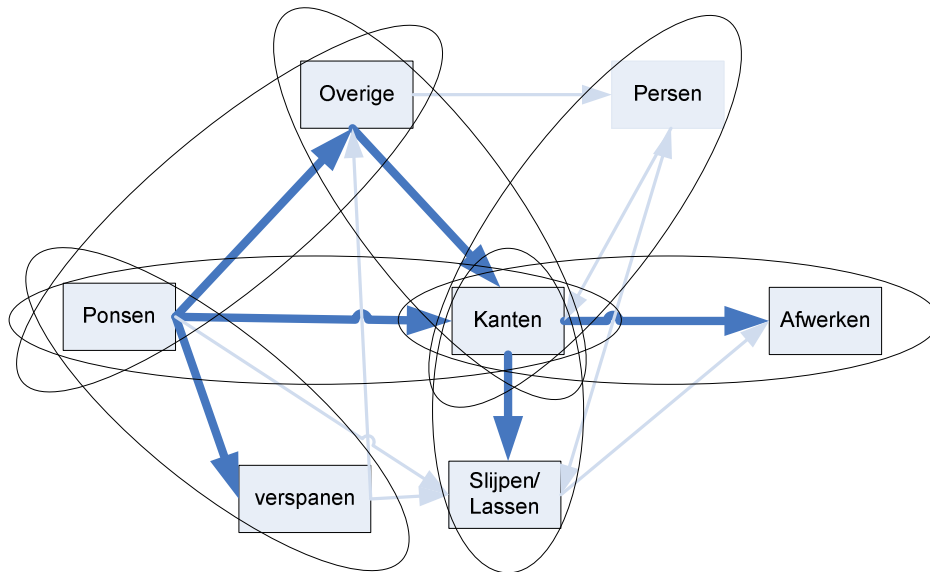
De groep afwerken is alleen door een polcaloop verbonden met de groep kanten. Verder heeft een groot deel van de orders als voorgaande bewerking slijpen/lassen, zie figuur 46. Twee bewerkingen binnen de groep afwerking zijn hoog bezet: trommelen (101%) en tamponneren (88%). Deze laatste is geen probleem omdat deze berekend is met data van vorig jaar. Tegenwoordig heeft men het tamponneren voor een groot deel geëlimineerd door gebruik te maken van andere technieken.



figuur 46 Polcastructuur afwerken

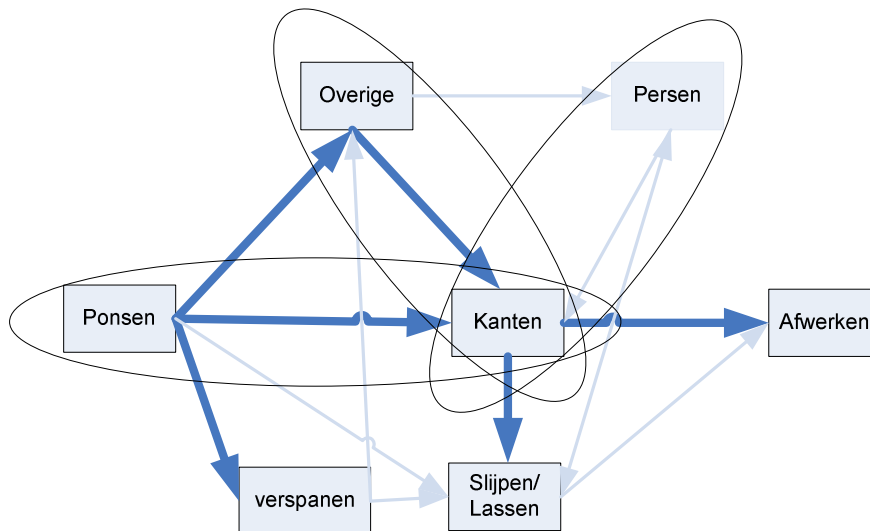
7.2.7. Totale raamwerk

Het totale polcaraamwerk kan er voor de onderdelenfabricage uitzien als in figuur 47. Dit is één van de vele mogelijke varianten.



figuur 47 Polcastructuur totaal, optie 1

Wanneer beoogd wordt door middel van polca de belasting van de groep kanten te beheersen, zal een eenvoudigere variant als in figuur 48 ook volstaan, mits de bezetting van kanten niet te hoog is. Er kan dan ook nog voor gekozen worden de wat kleinere orderstromen vanuit andere groepen (verspanen en slijpen/lassen) richting het kanten door middel van een polcaloop te verbinden. Voorwaarde bij deze oplossing is wel dat er voor de operators een goed prioriteitensysteem komt welke ervoor zorgdraagt dat orders richting de groep kanten voorrang krijgen (mits er een polca beschikbaar is).



figuur 48 Polcastructuur totaal, optie 2

7.2.8. Beoordelen effectiviteit van het polcasysteem

Uit het eerste deel van de analyse is gebleken dat de omgeving waarin de onderdelenproductie zich bevindt, in principe geschikt is voor polca. Er wordt voldaan aan de randvoorwaarden: productieomgeving, sequentiële relaties, betrouwbare doorlooptijden, productielijsten, capaciteitsplan en bezettingsgraden, zie paragraaf 7.2.2. In deze

paragraaf wordt aan de hand van een aantal punten uit de scanningtool bekeken in hoeverre toepassing van polca effectief zou kunnen zijn.

De doelen die gesteld zijn voor het te ontwerpen polcasysteem zullen daarna behandeld worden, om te bekijken in hoeverre deze met polca bereikt kunnen worden. Vervolgens zullen de beperkingen voor het systeem aan de orde komen en zullen er suggesties voor verder onderzoek worden gedaan.

Productieflexibiliteit

Er is geen sprake van productieflexibiliteit tussen de verschillende cellen. Orders doorlopen de cellen in een vaste route, hier kunnen geen aanpassingen aan worden gedaan.

Simultane relaties

Aanwezigheid van simultane relaties (bijvoorbeeld bij een assemblage) legt een beperking op de effectiviteit van polca. In de onderdelenfabricage zijn geen latente relaties aanwezig, wat de effectiviteit ten goede komt.

Productspecifieke doorlooptijden

Binnen het planningssysteem wordt gerekend met productspecifieke bewerkingstijden, deze worden als betrouwbaar gekenmerkt. De setuptijden worden niet altijd per product bepaald, maar gemiddeld. Voor het bepalen van de autorisatietijden en het berekenen van het aantal polcakaarten in een loop is het ook noodzakelijk inzicht te hebben in de wachttijden per cel. In het planningssysteem wordt standaard gerekend met een doorlooptijd van 1 dag per bewerking. Wat de werkelijke wachttijden zijn is niet bekend. Voor de doorlooptijden tussen de verschillende cellen geldt hetzelfde.

Betrouwbare voorspellingen

Een voorspelling van de hoeveelheid orders die de gedefinieerde routings gaan volgen en de hoeveelheid orders die volgens alternatieve routings gaan, moet gemaakt worden om te kunnen bepalen hoeveel capaciteit de polcakaarten van iedere groep mogen vragen. Er moet een gedeelte van de capaciteit gereserveerd worden voor orders met afwijkende routings, welke niet door middel van polca beheerst worden. Over een termijn van ongeveer drie weken is men in staat betrouwbare voorspellingen te maken. Verder in de toekomst is de voorspelling matig.

Behalen doelen

Kunnen met behulp van het bovenstaande polcasysteem nu de gestelde doelen behaald worden? Het polcasysteem biedt de mogelijkheid de hoeveelheid onderhanden werk te verlagen, doordat er een maximum aan de hoeveelheid orders op de werkvloer wordt gesteld. Gevolg van een daling in de hoeveelheid onderhanden werk is dat de voorraden verkleinen en dat de afdeling onderdelenproductie overzichtelijker zal worden. Het verkleinen van de voorraden en de beheersing van de orderstromen kunnen de doorlooptijdreductie tot gevolg hebben.

Beperkingen

Er is echter wel een aantal beperkingen waar zeker rekening mee gehouden moet worden:

- Lang niet alle orderstromen worden afgedekt door het polcasysteem, hier moeten prioriteitsregels voor bedacht worden.
- Polca zorgt alleen voor aansturing van de productie tussen de cellen. Binnen de cellen is men zelf verantwoordelijk voor de aansturing.

- Invoering van polca vraagt veel medewerking van de operators. Zij krijgen meer verantwoordelijkheid en moeten de discipline opbrengen om de polcakaarten te laten circuleren.
- De bezettingsgraden van een aantal bewerkingen zijn te hoog om polca toe te kunnen passen. Polca vraagt namelijk enigszins overcapaciteit om flexibiliteit te kunnen creëren.
- De kennis van omstel- en wachttijden is niet voor alle orders betrouwbaar.

Verder onderzoek

Alvorens een beslissing te nemen over toepassing van polca is het Neopost aan te raden verder onderzoek te verrichten naar de volgende onderwerpen:

- De indeling van machines in de verschillende cellen en het aantal te vormen cellen is discutabel. Een verandering van het niveau waarop gekeken wordt, kan leiden tot andere inzichten.
- Een beter inzicht verkrijgen in de huidige bezettingsgraden, beschikbaarheid van machines en operators.
- Een deel van het ponswerk wordt uitbesteed. Onderzoek kan gedaan worden naar welke orders het best kunnen worden uitbesteed, zodanig dat het eigen proces het minst verstoord wordt.
- Onderzoek naar andere beheersingssystemen waarmee de gestelde doelen wellicht bereikt kunnen worden.
- Onderzoek naar de oorzaken van de problemen, wellicht kan bij een betere aansturing van de planning en vrijgave van orders een deel van het probleem al worden opgelost.

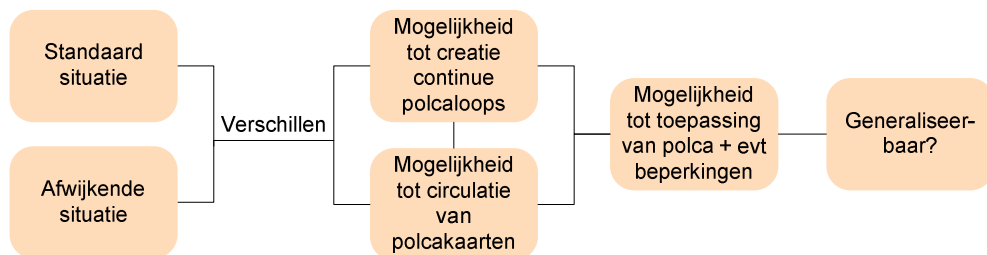
8. ANALYSE POLCA NAAR AANLEIDING VAN DE CASESTUDIES

8.1. Inleiding

In de hoofdstukken 6 en 7 is gekeken naar de toepasbaarheid van polca in de praktijk. Hierin zijn een aantal praktische situaties naar voren gekomen, waarvan de gevolgen voor het polcasysteem onbekend zijn. Ook in de beschikbare literatuur over polca worden de gevolgen van deze situaties niet besproken. De volgende elementen zijn uit de casestudies naar voren gekomen:

- Parallel tegengestelde productstromen
- Ongelijke productiemomenten
- 's Nachts onbemande productie
- Externe productie

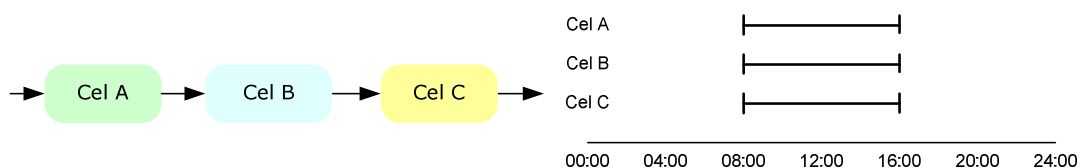
Dit hoofdstuk heeft tot doel om deze situaties en hun relatie met polca nader te bekijken. Is polca in deze situaties wel toepasbaar en welke aanpassingen worden gevraagd ten opzichte van de standaard inrichting? Per element zal eerst een voorbeeld uit de praktijk, zoals deze in de cases is gezien, genoemd worden. Vervolgens zullen in de analyse per element de aspecten uit figuur 49 behandeld worden, om uiteindelijk tot een uitspraak over de toepasbaarheid van polca in elk van de situaties te komen:



figuur 49 Analyse polca voor afwijkende situaties

De inhoud van de verschillende aspecten ziet er als volgt uit:

- Verschil met standaardsituatie: hoe ziet de afwijkende situatie eruit en wat zijn specifieke verschillen met de standaardsituatie zoals die in figuur 50 wordt weergegeven?
- Continuïteit van de loop: is het mogelijk een continue doorstroom van polcakaarten te creëren? Wat zijn eventuele obstakels en hoe kan hiermee worden omgegaan? De noodzaak van een vrij constante circulatiesnelheid van de polca's is besproken in paragraaf 7.2.3.
- Circulatie van de polcakaarten: hoe kan de circulatie van de polcakaarten worden georganiseerd?
- Deze twee punten geven gezamenlijk een mogelijk ontwerp voor de toepassing van polca in de afwijkende situatie, met daarbij de voordelen die te behalen zijn en de eventuele beperkingen.



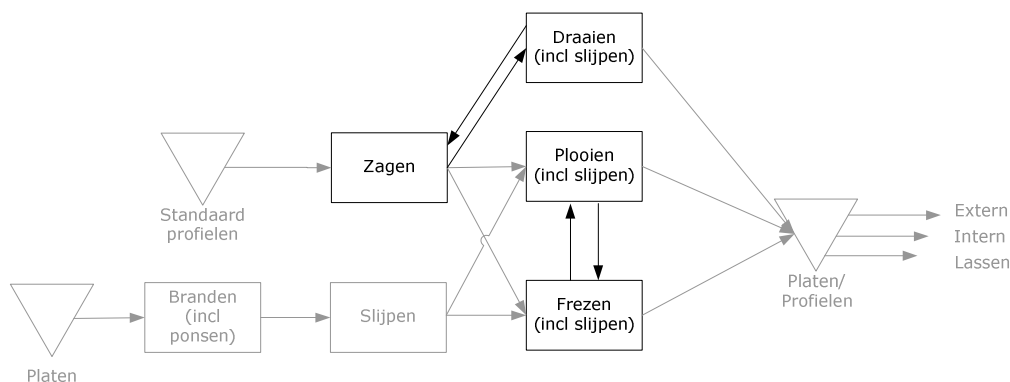
figuur 50 Standaardsituatie (lineaire, gelijktijdige productie)

- Generaliseerbaarheid: is de ontworpen oplossing afhankelijk van de plaats in het productieproces waar het desbetreffende element zich bevindt? En indien beantwoord met ja: welke vormen zijn nog meer mogelijk?

8.2. Parallel tegengestelde productstromen

8.2.1. Praktijk

In de casestudie van Bombardier Transportation zijn meerdere groepen aanwezig waartussen in beide richtingen een orderstroom loopt. In figuur 51 is dit zichtbaar tussen de groepen zagen en draaien en tussen de groepen plooiën en frezen. In deze paragraaf zal aandacht besteed worden aan vraag op welke manier polca in staat is met dit soort situaties om te gaan.

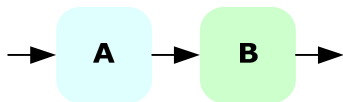


figuur 51 Materiaalstroom Bombardier

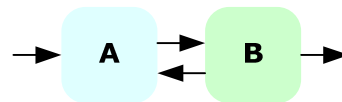
8.2.2. Analyse

Verschil met standaardsituatie

In de huidige literatuur wordt uitgegaan van lineaire productstromen als in figuur 52a. In een situatie met parallel tegengestelde productstromen heeft de productiestructuur een jobshopachtige uitstraling. Om in deze situatie toch polca toe te kunnen passen, moet het systeem in staat zijn met de parallel tegengestelde productstromen als in figuur 52b om te gaan.



figuur 52a Lineaire productstroom

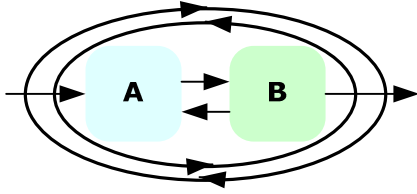


figuur 52b Parallel tegengestelde productstroom

Continuïteit van de loop

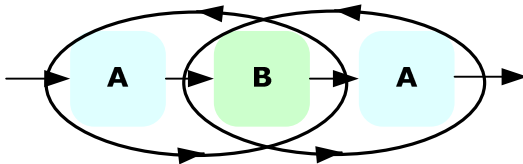
Toepassing van polca op een parallel tegengestelde productstroom levert twee gelijke polcaloops op, maar ieder met een tegengestelde richting, zie figuur 53. Beide loops hebben de volgende eigenschappen:

- De hoeveelheid onderhanden werk binnen de loops 'cel A - cel B' en 'cel B - cel A' is gelimiteerd (door het aantal polcakaarten).
- Er wordt alleen door een cel geproduceerd wanneer de volgende cel (door middel van een polcakaart) aangeeft binnenkort capaciteit vrij te krijgen.



figuur 53 Polcastructuur parallel tegengestelde productstroom

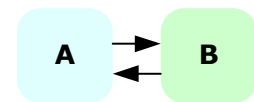
De verkregen polcastructuur lijkt complex, doordat er twee vrijwel gelijke loops zichtbaar zijn. Dit kan echter vereenvoudigd worden door de structuur in een lineaire vorm weer te geven, zie figuur 54. Het is nu eenvoudig een continue stroom van de polcaarten te garanderen, doordat de verandering ten opzichte van de standaard situatie geen nadelige gevolgen voor de doorstroming heeft opgeleverd. De polcastructuur kan worden vormgegeven door middel van twee overlappende loops. In werkelijkheid vormen de twee cellen A die in dit figuur zichtbaar zijn één cel, maar voor toepassing van polca kunnen ze als twee aparte delen worden gezien. Gevolg hiervan is dat bij de beheersing van het proces rekening gehouden kan worden met de invloed van cel A op cel B en met de invloed van cel B op cel A.



figuur 54 Polcastructuur parallel tegengestelde productstroom, uitgesplitst

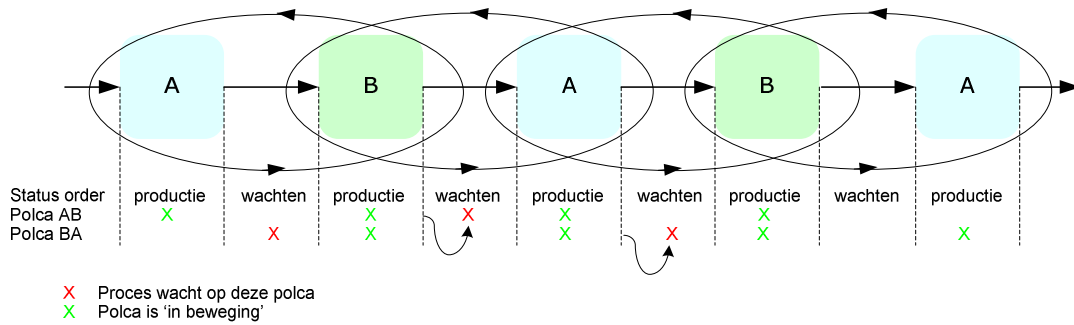
Beperking

Een probleem met betrekking tot de continuïteit van de loop kan zich voordoen wanneer twee cellen op een bepaald moment alleen voor elkaar produceren, en dus niet voor overige bestemmingen. Alle polca's A/B en B/A worden in dit geval door orders vastgehouden die volgens de regels niet verder verwerkt mogen worden, omdat er geen volgende polca beschikbaar is. Er ontstaat een vicieuze cirkel als in figuur 55.



figuur 55 Vicieuze cirkel

Om de oorzaak en de oplossing voor dit probleem te vinden, moet er verder op het proces worden ingezoomd, zie figuur 56. Wanneer het probleem nader bekeken wordt, blijkt dat het zich in de praktijk niet voor kan doen. Orders die zich in een cel A of cel B bevinden dragen namelijk altijd polca's met zich mee. Wanneer deze orders zijn afgerond komen de polca's weer vrij voor een andere order. In de geschetste vicieuze cirkel blijkt dat er in een goed werkende productie altijd polca's blijven vrijkomen. Oorzaak hiervan is dat een polca pas in beslag wordt genomen op het moment dat men in een bepaalde cel start met produceren.

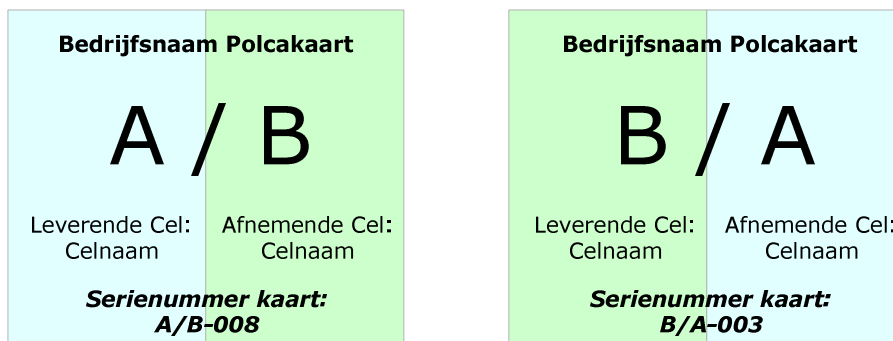


figuur 56 Vicieuze cirkel, gedetailleerd

In het geval van bijvoorbeeld een machinedefect is het mogelijk dat benodigde polca's uitblijven doordat, ondanks dat de status van de order productie is (zie figuur 56), de polca's niet in beweging zijn. Hierdoor komen er geen polca's beschikbaar en zal dit ook in de rest van het systeem merkbaar worden. Dit is een positief effect van het polcasysteem, omdat andere cellen door het uitblijven van polca's het defect opmerken en voor andere bestemmingen gaan produceren en/of de desbetreffende cel wellicht hulp kunnen bieden.

Circulatie van de polcakaarten

Er ontstaan dus twee loops: loop A/B en loop B/A met ieder hun eigen polcakaarten. Om verwarring op de werkvloer te voorkomen, moeten de polcakaarten duidelijke informatie met zich meedragen over aan welke loop zij toebehoren, bijvoorbeeld figuur 57. De kleurencombinatie is in beide gevallen gelijk, het verschil is alleen welke cel levert en welke afneemt.



figuur 57 Polcakaarten bij parallel tegengestelde productstromen

Generaliseerbaarheid

De bovenstaande uitleg van hoe met parallel tegengestelde productstromen kan worden omgegaan, is onafhankelijk van de positie waar het zich in het productieproces bevindt. Geconcludeerd kan worden dat parallel tegengestelde productstromen geen beperking voor de invoering van polca vormen.

8.3. Ongelijke productiemomenten

8.3.1. Praktijk

In de casestudies van Bombardier en Neopost bestaat de mogelijkheid dat verschillende cellen ongelijke productiemomenten hebben. Dit ontstaat bijvoorbeeld wanneer in een bepaalde cel in meer shifts dan gebruikelijk wordt gewerkt. Dit kan een standaard situatie

zijn, ofwel een capaciteitsmaatregel om tijdelijk extra capaciteit te verkrijgen. In deze paragraaf zal nader bekeken worden wat de gevolgen van ongelijke productiemomenten voor het polcasysteem zijn.

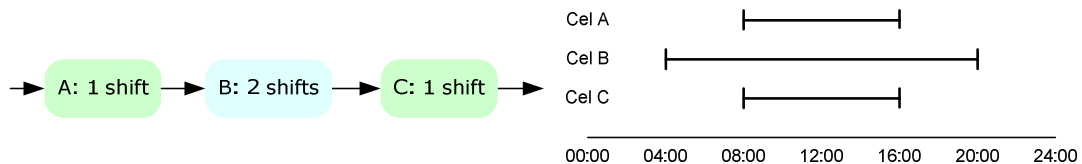
8.3.2. Analyse

Verschil met standaard situatie

In figuur 58 is op de tijdslijn weergegeven wanneer elk van de cellen produceert. Tussen 08:00 en 16:00 zijn alle cellen in bedrijf en is de situatie identiek aan de standaard situatie in figuur 50 (met gelijke productiemomenten). Afwijking van dit systeem ten opzichte van de standaard situatie is:

- Er wordt tussen 04:00 en 08:00 en tussen 16:00 en 20:00 door slechts één van de drie cellen geproduceerd.

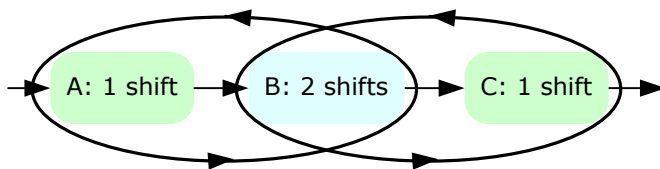
Tijdens deze periodes zijn er wel operators aanwezig om polcakaarten te kunnen circuleren.



figuur 58 Productiestructuur met ongelijke productiemomenten

Continuïteit van de loop

Tussen 08:00 en 16:00 kan gebruik gemaakt worden van het standaard polcasysteem, waarbij alledrie de cellen door middel van loops met elkaar verbonden zijn, zie figuur 59.



figuur 59 Polcastructuur van 08:00 tot 16:00

Door de verschillen in productiemomenten ontstaan er verschillen in doorlooptijden tussen orders tijdens de eerste en de tweede shift. Hierdoor is het niet mogelijk om met één polcasysteem loops met een continue doorstroming (tijdens beide shifts) te creëren. Dit is eerder al in paragraaf 7.2.3 genoemd. In die paragraaf zijn voor de situatie waarbij de 's nachts producerende cel de eerste cel in het productieproces is, 3 alternatieven ontworpen om hiermee om te kunnen gaan. Deze alternatieven zullen hier achtereenvolgens op de nieuwe situatie worden toegepast.

Alternatief 1

In alternatief 1 wordt gebruik gemaakt van dag- en nachtpolca's. In de bovengeschetste situatie wordt niet 's nachts geproduceerd en is het wellicht beter te spreken van polca's voor gelijke productiemomenten en polca's voor ongelijke productiemomenten.

De polcastructuur voor de situatie met gelijke productiemomenten zal er als gebruikelijk uitzien, zie figuur 59. In de situatie waarbij de ongelijk producerende cel zich aan het begin van het productieproces bevindt, zoals de groep branden in de case bij Neopost Technologies, ontving deze cel zijn orders direct vanuit de ordervrijgave. In de huidige

situatie hebben de orders echter al een eerdere bewerking ondergaan, en bevinden zij zich in een voorraadpunt tussen de eerste en tweede bewerking. De orders die zich in dit voorraadpunt bevinden, hebben voor het polcasysteem dezelfde functie als de orders na vrijgave in de eerste situatie. In het voorraadpunt wordt tijdens het gelijke productiemoment (tussen 08:00 en 16:00) door cel A een voorraad halffabrikaten geproduceerd welke tijdens de ongelijke productiemomenten (tussen 04:00 en 08:00 en tussen 16:00 en 20:00) in cel B verder bewerkt zullen worden.

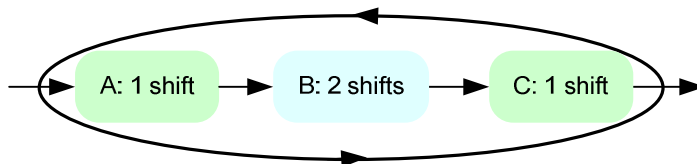
Wanneer gebruik gemaakt wordt van polca's voor ongelijke productiemomenten, zal hiermee ook in de tijdens deze perioden een maximum worden gesteld aan de hoeveelheid onderhanden werk in iedere loop. Op het moment dat de voorraad na de ongelijk producerende cel voldoende is, zullen er geen polcakaarten 'B-C' meer beschikbaar zijn en hoeft er dus niet meer geproduceerd te worden.

Alternatief 2

Wanneer alleen bij gelijke productiemomenten van polca gebruik gemaakt wordt, blijft de structuur gelijk met die van figuur 59. Tijdens ongelijke productiemomenten wordt de productie dan aangestuurd op basis van de planning. Dit houdt in dat de ongelijk producerende cel de orders in zijn buffer op basis van vrijgavedatum (of een andere prioriteitsregel) zal produceren. Verschil met alternatief 1 is dat er geen limiet aan de hoeveelheid onderhanden werk in elk van de loops gesteld wordt, er wordt tijdens de ongelijke productiemomenten alleen geproduceerd op basis van de externe vraag.

Alternatief 3

Het derde alternatief, waarbij de ongelijk producerende cel buiten het polcasysteem wordt gelaten, geeft bij dit productieproces een structuur in de vorm van figuur 60. Hierin is een 'uitgestrekte' polcaloop zichtbaar die loopt van de 1^e cel tot en met de 3^e.



figuur 60 Ongelijke productiemomenten, 1 uitgestrekte polcaloop

Het voordeel hiervan is dat de hoeveelheid onderhanden werk in de gehele loop van de 1^e tot en met de 3^e bewerking is gelimiteerd. Binnen deze groepen wordt er op basis van prioriteitsregels (bijvoorbeeld earliest due date) geproduceerd. Nadeel van een uitgestrekte loop is dat slechts de hoeveelheid onderhanden werk in het geheel beheerst wordt, er wordt geen onderscheid gemaakt in waar in het proces het onderhanden werk zich bevindt. De continuïteit kan in deze situatie echter niet gewaarborgd worden, doordat de circulatiesnelheid tussen de gelijke en ongelijke productiemomenten nog steeds verschilt. Het polcasysteem heeft in deze vorm alleen nog de functie om de totale hoeveelheid onderhanden werk te beperken en dit doel kan op deze manier wel bereikt worden.

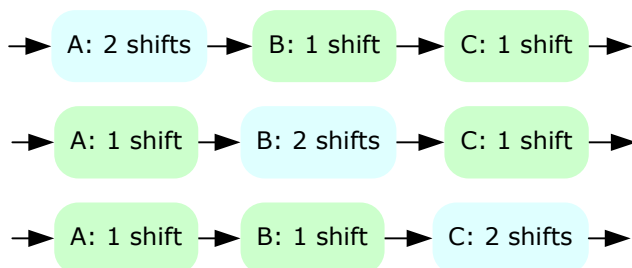
Circulatie van de Polcakaarten

Wat betreft de circulatie van polcakaarten is er in de situatie met ongelijke productiemomenten geen verschil met de standaardsituatie. Er zijn er tijdens de productie operators aanwezig welke de circulatie kunnen uitvoeren.

Generaliseerbaarheid

De gevolgen wanneer de eerste cel ongelijke productiemomenten heeft, zoals in figuur 61 (boven), zijn reeds genoemd in het voorbeeld van Neopost Technologies waar de cel branden de eerste cel in het productieproces was en in meerdere shifts produceerde.

Wanneer de ongelijk producerende cel zich aan het eind van het productieproces bevindt, figuur 61 (onder), wordt toepassing van polca eenvoudiger. In deze situatie hoeft er namelijk geen rekening te worden gehouden met een opvolgende productiecel. Omdat er geen vervolgbewerking is, bevindt de ongelijk producerende cel zich niet in twee overlappende loops. Hierdoor hoeft deze cel voordat hij gaat produceren nooit te wachten op de beschikbaarheid van een polca (interne vraag), maar slechts alleen op autorisatie vanuit de planning (externe vraag). Orders die aan het begin van cel C klaar liggen, kunnen dus op basis een bepaalde prioriteitsregel (bijvoorbeeld earliest due date) geproduceerd worden.



figuur 61 Ongelijke productiemomenten in verschillende productiestadia

Geconcludeerd kan worden dat toepassing van polca wanneer de ongelijk producerende cel zich aan het begin of aan het eind van het productieproces bevindt, gemakkelijker is dan wanneer deze zich in het midden bevindt. Voor de aansturing tijdens de ongelijke productiemomenten kunnen verschillen alternatieven worden toegepast.

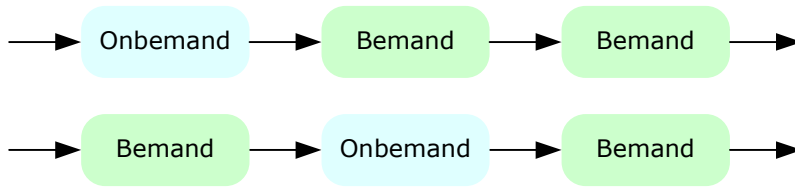
8.4. Onbemande productie

8.4.1. Praktijk

In de casestudie van Neopost is er binnen de cel ponsen sprake van de mogelijkheid tot 's nachts onbemand produceren. De volgende drie alternatieven zijn in paragraaf 7.2.3 aangegeven om hiermee om te gaan:

- Alternatief 1: gebruik maken van dag- en nachtpolca's.
- Alternatief 2: alleen overdag van polca gebruik maken.
- Alternatief 3: de 's nachts onbemand producerende cel volledig buiten het polcasysteem laten.

Deze alternatieven zijn ontworpen voor een situatie waarbij de onbemand producerende cel zich aan het begin van het productieproces bevindt, figuur 62 (boven). In deze paragraaf zal ingegaan worden op de consequenties als de 's nachts onbemand producerende cel zich niet aan het begin maar in het midden van het productieproces bevindt, figuur 62 (onder).



figuur 62 Onbemande productie in 1^e of 2^e cel

8.4.2. Analyse

Verskil met standaard situatie

In de standaardsituatie zoals die in de figuur 49 is geschetst, wordt geen rekening gehouden met de gevolgen van 's nachts onbemand produceren. Ook in de beschikbare literatuur over polca wordt deze mogelijkheid niet benoemd. Verschillen met de standaardsituatie zijn:

- Er wordt door 1 cel 's nachts geproduceerd.
- Er zijn op dat moment geen operators aanwezig die de polcakaarten kunnen circuleren.

Het feit dat er 's nachts geproduceerd wordt, is een voorbeeld van ongelijke productiemomenten, zoals deze in paragraaf 8.3 is genoemd. De gevolgen van het eerstgenoemde verschil zijn voor de toepassingsmogelijkheden van polca gelijk aan die in de vorige paragraaf. Het tweede genoemde verschil vormt echter een aanpassing daarop.

Continuïteit van de loop

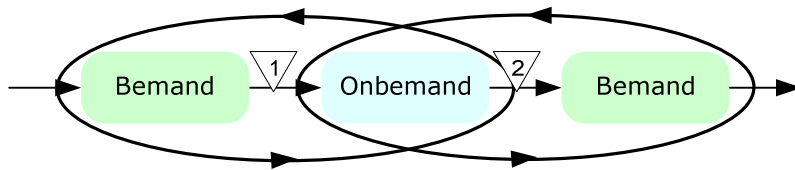
Wat betreft het garanderen van de continuïteit van de loops, is dit systeem dus gelijk aan dat van het systeem met de ongelijke productiemomenten. Beide hebben namelijk een bepaald moment dat er slechts één cel aan het produceren is. De alternatieven zijn daarom gelijk aan die in paragraaf 8.3.

Circulatie van de polcakaarten

Het tweede verschil ten opzichte van de standaardsituatie dat genoemd is, is dat er doordat er onbemand geproduceerd wordt, geen operators aanwezig zijn die de polcakaarten kunnen circuleren. Dit heeft voor de genoemde alternatieven alleen gevolgen voor het eerste en het derde alternatief. Bij het tweede alternatief wordt namelijk alleen overdag (wanneer er wel operators aanwezig zijn) van polca gebruik gemaakt.

Alternatief 1

Wanneer gebruik gemaakt wordt van nachtpolca's, wordt er ook 's nachts een maximum gesteld aan de hoeveelheid onderhanden werk in iedere loop. Op het moment dat de voorraad in voorraadpunt 2 (figuur 63) voldoende is, zullen er geen polcakaarten 'onbemand-bemand' meer beschikbaar zijn en hoeft er dus niet meer geproduceerd te worden. Omdat de overige cellen 's nachts niet produceren, is het aantal beschikbare polcakaarten 'onbemand-bemand' dat zich die nacht in voorraadpunt 1 bevindt, aan het begin van de nachtshift bekend. Hierdoor kan voordat de nachtshift begint, exact bepaald worden welke orders geproduceerd mogen worden.



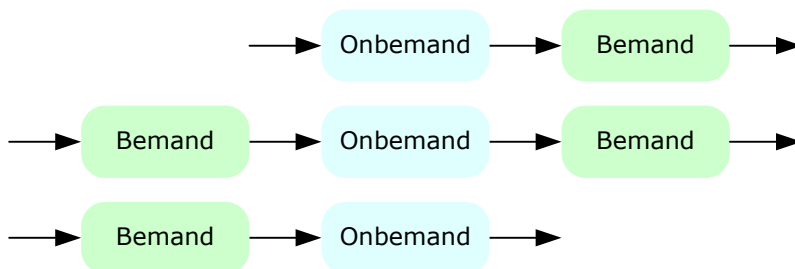
figuur 63 Onbemande productie, 2 polcaloops inclusief voorraadpunten

Alternatief 3

Bij het derde alternatief wordt 's nachts weliswaar ook polca toegepast, maar hoeft er in voorraadpunt 1 niet gewacht te worden op de beschikbaarheid van een polca, doordat de polcaloop over deze cel heen is uitgestrekt. Dit heeft tot gevolg dat er 's nachts geen wisseling van gekoppelde orders en polca's plaatsvindt.

Generaliseerbaarheid

De situatie zoals die hierboven geschetst is, gaat er vanuit dat de 's nachts onbemand producerende cel zich ergens in het midden van het productieproces bevindt. Wanneer de onbemand producerende cel de laatste bewerking van het productieproces is, zoals in figuur 64 (onder), wordt de toepassing van polca eenvoudiger. In deze situatie hoeft er, net als bij de ongelijke productiemomenten, geen rekening te worden gehouden met een productiecel die op de onbemand producerende cel volgt.



figuur 64 Onbemande productie in verschillende productiestadia

Geconcludeerd kan worden dat de gevolgen van een productieproces met een 's nachts onbemand producerende cel voor polca vrijwel gelijk zijn aan die van een productieproces met een ongelijk producerende cel.

8.5. Externe productie

8.5.1. Praktijk

In de casestudie van Neopost ondergaat een deel van de producten een bewerking die extern wordt uitgevoerd. Gevolg hiervan is dat de productstroom stafmateriaal vanwege het ontbreken van een sequentiële relatie niet verder is meegenomen in de analyse. In deze paragraaf wordt bekeken in hoeverre polca in een dergelijke omgeving toepasbaar is.

8.5.2. Analyse

Verschil met standaard situatie

Het productieproces in het voorbeeld in figuur 65 bestaat uit 3 stappen waarvan de middelste extern wordt uitgevoerd.



figuur 65 Productiestructuur met een externe bewerking

De eigenschappen van externe productie lijken op die van het 's nachts onbemand produceren. Overeenkomsten zijn:

- Er zijn momenten waarop er geen operators aanwezig zijn die de polcakaarten kunnen circuleren.
- Er moet van tevoren een buffer gevormd worden (voor extern of voor de nacht).
- Orders komen gegroepeerd terug (vanuit extern of vanuit de nacht).

Verschillen zijn:

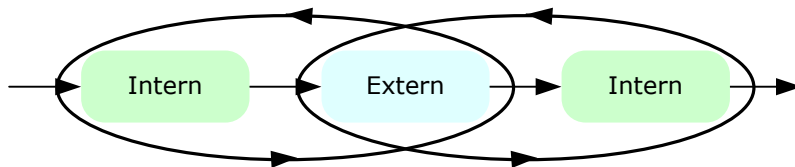
- Bij externe productie is er niet direct sprake van ongelijke productie momenten.
- Bij het onbemand produceren is er slechts tijdelijk bij een cel geen operator aanwezig ('s nachts), bij externe productie is er op geen enkel moment een operator aanwezig.

Continuïteit van de loop en Circulatie van de polcakaarten

De continuïteit van de loops wordt belemmerd door het feit dat de orders tijdelijk extern gaan. Hierdoor is er intern geen continue loop met deze cel te creëren. Daarnaast moet er voordat orders naar de externe producent vervoerd worden, worden gebufferd. Dit veroorzaakt variaties in de omlooptijden van de polca's. Wat betreft het ontwerp van de polcastructuur zijn er twee alternatieven mogelijk.

Alternatief 1

De externe productie kan beschouwd worden als een productiecel (die zich alleen extern bevindt). Op deze manier kan de polcastructuur eruit zien als in figuur 66. Met behulp van deze structuur kan de hoeveelheid onderhanden werk beperkt worden.

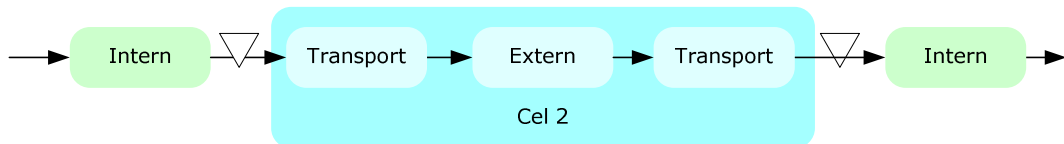


figuur 66 Externe productie, 2 polcaloops

De eerste loop kan functioneren door de uitgaande orders een polcakaart intern-extern in beslag te laten nemen. Deze inbeslagname kan letterlijk plaatsvinden, maar kan ook 'virtueel' gedaan worden door een aantal polcakaarten uit rolatie te nemen. De polcakaarten komen weer terug op de werkvloer wanneer de extern bewerkte order terugkomt.

Afwijking van dit systeem ten opzichte van het standaard polcasysteem is dat de externe producent niet kan of gaat wachten op de beschikbaarheid van een polca extern-intern alvorens hij gaat produceren. De tweede loop is hierdoor moeilijk uitvoerbaar. Het in beslag nemen van polca's extern-intern op het moment dat een order de deur uitgaat, kan een middel zijn om ook in de tweede loop de hoeveelheid onderhanden werk te beheersen. Wanneer dit gedaan wordt, wordt echter wel afgeweken van het algemene polcaprincipe dat men net voor productie de tweede polca in beslag neemt, hij wordt namelijk bij transport al in beslag genomen. Anders is het wanneer het transport als onderdeel van de

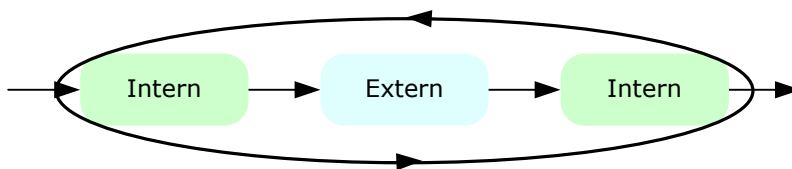
tweede bewerking wordt gezien. Dit wordt illustratief weergegeven in figuur 67. Toepassing van dit principe leidt ertoe dat voordat een order verzonden wordt ook polca's voor de tweede loop beschikbaar moeten zijn. Dit zorgt ervoor dat wanneer de orders terugkomen de 3^e cel capaciteit heeft om de orders verder te verwerken. Daarnaast wordt ook in de tweede loop de hoeveelheid onderhanden werk beperkt. Voor het bepalen van het juiste aantal polcakaarten is het wel noodzakelijk betrouwbare informatie over de doorlooptijden van cel 2 te hebben.



figuur 67 Externe productie, cel 2 ingezoomd

Alternatief 2

Een alternatief voor de bovengenoemde rolatieproblemen is het vormen van één uitgestrekte polcaloop, zie figuur 68. Hierbij wordt er over de drie cellen één loop gevormd, welke er voor zorgdraagt dat de totale hoeveelheid onderhanden werk beperkt blijft. Nadeel is dan dat het systeem geen rekening houdt met de plaats waar de hoeveelheid onderhanden werk zich bevindt.



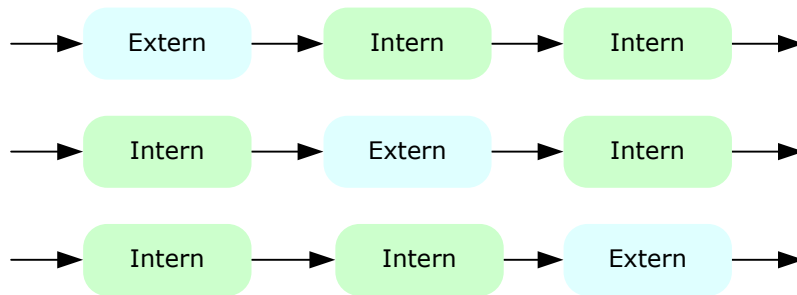
figuur 68 Externe productie, 1 uitgestrekte polcaloop

Buiten de afdeling

Een variant op externe productie is zichtbaar wanneer de externe productie niet door een andere organisatie wordt uitgevoerd, maar buiten de afdeling plaatsvindt. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan een spuitcabine die zich op een andere afdeling bevindt. Wanneer orders batchgewijs worden getransporteerd naar de andere afdeling is de situatie vergelijkbaar en kunnen bovenstaande alternatieven worden gebruikt. Enig verschil is dat er in deze situatie wel eigen operators aanwezig zijn en dat er waarschijnlijk een betere informatievoorziening (over bijvoorbeeld de status van orders) aanwezig is, wat de invoering makkelijker zal maken.

Generaliseerbaarheid

In de situatie zoals die hierboven beschreven wordt, is er van uitgegaan dat de extern producerende cel zich in het midden van het productieproces bevindt. Wanneer de extern producerende cel zich in aan het begin of aan het eind van het productieproces bevindt, zoals in figuur 69 (boven en onder), dan wordt de toepassing van polca eenvoudiger.



figuur 69 Externe productie in verschillende productiestadia

Extern als eerste cel

Wanneer het productieproces start met een externe bewerking, is de situatie eigenlijk gelijk aan het inkopen van halffabrikaten. Wanneer dan ook nog polca toegepast wenst te worden, kan dit door bij het bestellen van de halffabrikaten rekening te houden met het moment waarop de 2^e cel (dus de 1^e interne cel) capaciteit vrij krijgt. Op basis hiervan kan bepaalt worden wanneer welke bestelling gedaan moet worden. Er kan ook voor gekozen worden om het polcasysteem pas te starten met de eerste loop 'intern-intern'.

Extern als laatste cel

Wanneer de externe bewerking de laatste bewerking in het productieproces is, kan deze wel in het polcasysteem worden opgenomen. Maar wanneer dit een externe producent is, levert dit voor de organisatie zelf in principe geen voordelen op. Men beheerst dan namelijk de orderstroom richting extern. Er kan dan ook gekozen worden om de externe cel buiten het polcasysteem te laten waardoor de laatste loop 'intern-intern' zal zijn.

8.6. Conclusie

In dit hoofdstuk is de theorie over polca vergeleken met een viertal praktijksituaties zoals die in de casestudies zijn tegengekomen. Voor elk van deze situaties is nagegaan in hoeverre de situatie verschilt van de standaard situatie, die in de literatuur veelal als uitgangspunt wordt genomen. Vervolgens is bepaald in hoeverre deze verschillen hun invloed hebben op de creatie van continue loops en de circulatie van de polcaarten. Hiermee zijn aanpassingen op het polcasysteem gevormd die het mogelijk maken om polca toe te passen in de afwijkende situaties. Om een volledig beeld te geven, is eveneens gekeken of de genoemde oplossingen generaliseerbaar zijn voor het gehele productieproces.

Gebleken is dat de aanwezigheid van parallel tegengestelde productstromen geen enkele beperking voor het ontwerp van het polcasysteem hoeven te vormen. In principe vraagt het ook niet om een aanpassing van het polcasysteem (ten opzichte van de standaard situatie), de situatie lijkt alleen complex doordat er loops ontstaan met omgekeerde namen (bijvoorbeeld A-B en B-A). Bij 's nachts onbemande productie en bij de aanwezigheid van ongelijke productiemomenten moet onderscheid gemaakt worden tussen de 'normale productie' en de situatie waarin maar één cel operationeel is. Hiervoor zijn drie alternatieven ontworpen welke verschillen in de mate waarin deze cel of door polca of door de planning worden aangestuurd. Het blijkt dat wanneer deze cellen zich aan het begin of aan het eind van het productieproces bevinden, het gebruik van polca minder aanpassing vergt. Voor externe productie geldt eveneens dat het wanneer het de eerste of de laatste bewerking in het productieproces is, de aansturing het makkelijkst is. Dit komt doordat er op deze plaatsen geen overlappende loops ontstaan. Voor een externe cel in het midden van het productieproces zijn twee alternatieven met betrekking tot polca genoemd.

Er kan gesteld worden dat voor veel afwijkingen ten opzichte van de standaardsituatie het polcasysteem kan worden aangepast. Het systeem kan niet altijd in de originele vorm worden toegepast, maar het gaat erom dat profijt kan worden behaald uit de principes die eraan ten grondslag liggen.

9. CONCLUSIES & AANBEVELINGEN

9.1. Beantwoording van de onderzoeksvraag

9.1.1. Hoofdvraag

De hoofdvraag die in dit onderzoek centraal staat is:

Hoe kan de huidige polca scanningtool zodanig worden uitgebreid, dat ook product- en processpecifieke eigenschappen worden meegenomen in de beoordeling van de grenzen van toepasbaarheid van polca bij productiebedrijven, en wat zijn deze grenzen van toepasbaarheid?

Hierbij worden *productiebedrijven* bedoeld die zich kenmerken door danwel een grote variëteit aan producten en een veranderlijke vraag, danwel een custom engineered productieproces en zich bevinden in de Benelux. Onder *grenzen van toepasbaarheid* wordt verstaan: de mogelijkheden en beperkingen van polca ten opzichte van de product- en proceskenmerken van de in de casestudies behandelde organisaties en in productiebedrijven in het algemeen.

9.1.2. Deelvragen

Om tot een beantwoording van deze hoofdvraag te komen, zullen de hieruit afgeleide deelvragen achtereenvolgens beantwoord worden.

1. Hoe werkt polca als materiaalbeheersingssysteem?
Polca (*Paired-cell Overlapping Loops of Cards with Authorization*) is in 1998 ontwikkeld door de Amerikaanse wetenschapper Suri. Het is een materiaalbeheersingssysteem dat bestaat uit een combinatie van een ordervrijgavesysteem (push) en routegebonden productiecontrolekaarten (pull), de zogenoemde polca's. Een belangrijk verschil met kanban is dat een polcakaart beschikbare capaciteit aantoont, terwijl een kanbankaart een signaal ter vervanging van een voorraad van een bepaald product is. Hierdoor is polca goed in staat om variaties in capaciteit, vraag en productmix te managen. In hoofdstuk 2 is de werking van het polcasysteem aan de hand van een voorbeeld uitgewerkt.
2. Welke productkenmerken beïnvloeden de coördinatie van producten?
Door het bestuderen van verschillende cases zijn in hoofdstuk 3 verschillende productkenmerken naar voren gekomen die invloed hebben op de coördinatie van producten. Zij zijn onderverdeeld in de drie groepen: fysieke kenmerken, onderdelen en grondstoffen.
3. Met welke producteigenschappen moet rekening worden gehouden bij invoering van polca en welke vraagstellingen levert dat op?
De productkenmerken die van invloed worden geacht op het polcasysteem zijn als volgt onderverdeeld in bovengenoemde groepen:
 - Fysieke kenmerken: Grootte, gewicht en vorm van de producten.
 - Onderdelen: De complexiteit van producten en het gebruik van externe onderdelen.
 - Grondstoffen: Het gebruik van grondstoffen die om een speciale behandeling vragen en de kwaliteit van de grondstoffen.

In hoofdstuk 4 is hieruit de volgende vraagstelling gekomen:

Op welke wijze beïnvloeden kwaliteitseisen met betrekking tot grondstoffen de mogelijkheden tot het gebruik van polca?

4. Welke proceskenmerken beïnvloeden de coördinatie van producten?
Door het bestuderen van verschillende cases zijn in hoofdstuk 3 verscheidene proceskenmerken naar voren gekomen die invloed hebben op de coördinatie van producten. Deze zijn opgedeeld in productiekenmerken en proceskenmerken. Productiekenmerken zijn gedefinieerd als het statische deel van het proces: machines, operators, gereedschappen en transportinrichting. Bij proceskenmerken worden de meer dynamische factoren benoemd: setup tijden, lot sizes, flow pattern, transfer batches, bottlenecks, manufacturing quality en labor flexibility.
5. Met welke proceseigenschappen moet rekening worden gehouden bij invoering van polca en welke vraagstellingen levert dat op?
De productie- en proceseigenschappen die van invloed worden geacht op het polcasysteem zijn ingedeeld in bovengenoemde kenmerken. Dit levert de volgende resultaten:
 - Machines: Uitwisselbaarheid van machines, mate van automatisering en afgezonderde machines.
 - Operators: Flexibiliteit van operators.
 - Gereedschappen: Uitwisselbaarheid van gereedschappen.
 - Transportinrichting: Layout van de afdeling.
 - Setup tijden: Variatie in omsteltijden.
 - Lot sizes: Variatie in batchgroottes.
 - Flow pattern: Complexe stromen en externe bewerkingen.
 - Bottlenecks: Variatie in bottlenecks.
 - Manufacturing quality: Kwaliteitseisen.
 - Labor flexibility: Uitwisselbaarheid van operators.Een aantal hiervan zijn de basis voor de volgende vraagstellingen:
Hoe beïnvloedt het type machines (mate van automatisering, uitwisselbaarheid en noodzaak tot isolatie van de rest van het proces) dat in de organisatie aanwezig is, de mogelijkheden tot het gebruik van polca in die organisatie?
Hoe beïnvloedt de huidige layout van het productieproces (met betrekking tot bufferlocaties) de mogelijkheden tot het gebruik van polca?
6. Hoe moet de huidige scanningtool worden aangepast om product- en proceskenmerken mee te nemen in de beoordeling, zodanig dat de vraagstellingen worden beantwoord?
De drie gevormde vraagstellingen leiden elk tot een aantal toevoegingen aan de bestaande scanningtool wat is weergegeven in bijlage 1. Hierdoor is het mogelijk om, na het toepassen van de scanningtool op de casestudiebedrijven, een uitspraak te doen over de antwoorden op de vraagstellingen.
7. In hoeverre is polca een oplossing voor de casestudie-bedrijven?
In de casestudies bij Bombardier Transportation en Neopost Technologies is gebleken dat zij beide in principe voldoen aan de voorwaarden voor gebruik van polca. Analyse van de situaties heeft aangetoond dat polca in beide gevallen positief kan bijdragen om de doelstellingen te bereiken. Er zijn, met name bij Bombardier, echter nog wel een aantal organisatorische beperkingen zoals het ontbreken van from-to matrices. Daarnaast biedt polca voor een aantal in de casestudies herkenbare situaties nog geen oplossing (deelvraag 8).

8. Voor welke praktijksituaties biedt het huidige polcasysteem nog geen oplossing?
Er zijn in hoofdstuk 8 vier praktijksituaties uit de cases uitgewerkt waaraan in de huidige polcaliteratuur geen aandacht wordt besteed. In deze uitwerking worden de volgende product- en proceskenmerken behandeld:
- Parallelle tegengestelde productstromen
 - Ongelijke productiemomenten
 - Onbemande productie
 - Externe productie
- In elk van de vier situaties zijn alternatieven aangedragen om toch het polcasysteem toe te kunnen passen.
9. Welke antwoorden op de vraagstellingen volgen er uit de casestudies?
Het blijkt dat het type machines dat zich het productieproces bevindt, veel invloed heeft op de toepassingsmogelijkheden van polca. Wanneer een deel van de machines geautomatiseerd is, moet het polcasysteem hierop aangepast worden. Enkele mogelijkheden hiervoor zijn in hoofdstuk 8 genoemd. De uitwisselbaarheid van machines zorgt binnen cellen voor extra flexibiliteit. Cellen zijn dan namelijk beter in staat het orderaanbod te verwerken. Wanneer ze echter ook tussen cellen uitwisselbaar zijn, is dit alleen een voordeel wanneer de planning of werkvoorbereiding op korte termijn de mogelijkheden heeft routings te variëren. Cellen die zich fysiek buiten de afdeling bevinden, kunnen gezien worden als een vorm van externe productie. Ook deze situatie is in hoofdstuk 8 uitgewerkt.
In de casestudies blijken kwaliteitseisen met betrekking tot het product en het productieproces weinig invloed te hebben op de toepassing van polca. Daar waar kwaliteitscontroles voorkomen, levert dit geen beperkingen op.
Ook de layout van de afdelingen geeft in de cases geen beperkingen voor de invoering van polca. Er zijn in beide cases voldoende mogelijkheden tot het vormen van buffers.
10. Welke kenmerken maken de invoering van polca (vooralsnog) lastig?
Uit de casestudies blijkt dat er verschillende kenmerken zijn die de invoering van polca lastig maken. Dit geheel kan gezien worden als een deel van de grens van toepasbaarheid van polca voor deze organisaties.
Uit de antwoorden op de vraagstellingen blijkt dat vooral machinekenmerken beperkend kunnen werken. Hieruit volgt dat een goede inventarisatie van de eigenschappen van de machines die zich binnen de organisatie bevinden, erg belangrijk is. Met name op dit onderdeel is de scanningtool dan ook succesvol verbeterd.
In de analyse van polca naar aanleiding van de casestudies blijkt dat tevens ongelijke productiemomenten beperkend werken op de mogelijkheden om polca toe te passen. In deze gevallen kan de continuïteit van de polcaloops niet gegarandeerd worden en moeten variaties in het systeem worden aangebracht om polca functioneel te houden.

9.1.3. Algemene conclusie

Geconcludeerd kan worden gesteld dat de toepassingsmogelijkheden van polca als materiaalbeheersingssysteem sterk afhankelijk zijn van verschillende product- en proceskenmerken. Voor elke organisatie zal het verschillend zijn in hoeverre het principe van polca in zijn huidige vorm kan worden toegepast. In dit onderzoek zijn een aantal varianten aangedragen voor afwijkende situaties. Wanneer situaties echter te veel van de in de literatuur gebruikte standaard gaan afwijken, zal toepassing van polca dusdanig veel aanpassingen vragen dat het geheel complex wordt en ook niet meer op polca lijkt.

Ook al zal polca in de huidige vorm misschien niet op grote schaal toegepast gaan worden, het principe van het reageren op zowel interne als externe vraag blijft natuurlijk zeer bruikbaar. Iedere onderneming zal, afhankelijk van zijn eigen bedrijfskarakteristieken, moeten bepalen welk beheersingssysteem voor haar het meest optimaal is, en kan daarbij wellicht (onderdelen van) polca voor gebruiken.

9.1.4. Reflectie

In dit onderzoek is gekeken naar de invloed van product- en proceskenmerken op de toepasbaarheid van polca. De herkomst van deze kenmerken is echter niet eenduidig en volledig. Het is slechts een eerste uiteenzetting om tot een aantal vervolgvragen te komen. Een volledige analyse van alle in de literatuur genoemde product- en proceskenmerken leek niet zinvol, omdat ze slechts bedoeld zijn als input voor het vormen van een aantal vraagstellingen. Om de compleetheid van deze kenmerken echter te vergroten, moet uitgebreider onderzoek gedaan worden naar de invloed van product- en proceskenmerken op de beheersing van het productieproces.

9.2. Suggesties voor verder onderzoek

Bij uitvoering van de casestudies is de aanwezigheid van afwijkende productstromen gedeeltelijk genegeerd. Een belangrijk punt voor verder onderzoek is daarom een verdieping in de gevolgen van storende routings in het productieproces. Op welke wijze moet er geprioriteerd worden tussen orders die een polcarouting volgen en orders die een andere route volgen? Inzage hierin is eveneens van belang voor het bepalen van het aantal polcakaarten per loop. Wanneer er namelijk storende orders zijn, kan niet alle capaciteit van een cel aan de polcakaarten toegewezen worden.

Een toekomstige uitbreiding van het polcasysteem kan wellicht gemaakt worden door het systeem te gebruiken om informatie over het productieproces te verkrijgen en op te slaan. Polcakaarten circuleren met de orders mee en kunnen daardoor als informatiebron gebruikt worden. Informatie kan bijvoorbeeld worden opgeslagen door aan de polcakaarten RFID-chips (*Radio Frequency IDentification*) te koppelen. Op deze wijze is men in staat orders te traceren en specifieke informatie over bijvoorbeeld doorlooptijden en bewerkingsvolgordes op te slaan. Deze kennis kan vervolgens gebruikt worden om het productieproces verder te optimaliseren. De mogelijkheid tot het gebruik van geheugenchips moet in verder onderzoek bepaald worden.

In dit onderzoek is voornamelijk gekeken naar de gevolgen van specifieke product- en proceskenmerken voor de toepassing van polca in het algemeen. Verder onderzoek, op een lager niveau, kan zich toespitsen op het ontwikkelen van een generiek model waarmee polcacellen gevormd kunnen worden. Hierbij kunnen bevindingen uit dit onderzoek gebruikt worden, maar om succesvol gebruik te maken van deze input zal diepgaander onderzoek verricht moeten worden naar welke factoren op welke wijze invloed hebben op de vorming van polcacellen.

LITERATUUR

Boeken

Hopp, W.J. & Spearman, M.L. 1996. *Factory Physics: The Foundations of Manufacturing Management*. Chicago: Irwin.

Hyer, N. & Wemmerlöv, U. 2002. *Reorganizing the Factory; Competing through Cellular Manufacturing*. Portland, Oregon: Productivity Press Inc.

Nicholas, J.M. 1998. *Competitive Manufacturing Management: Continuous Improvement, Lean Production and Customer-Focused Quality*. McGraw-Hill.

Riezebos, J. 2001. *Design of a Period Batch Control Planning System for Cellular Manufacturing*. Rijksuniversiteit Groningen.

Suri, R. 1998. *Quick Response Manufacturing: A Companywide Approach to Reducing Lead Times*. Portland, Oregon: Productivity Press Inc.

Artikelen*

Bonvik, A.M., Couch, C.E. & Gershwin, S.B. 1997. *A comparison of production-line control mechanisms*. International journal of production research. Vol 35 (3).

Fernandes, N.O. & do Carmo-Silva, S. 2005. *Generic POLCA – A production and materials flow control mechanism for quick response manufacturing*. International journal of production economics. July 2005.

Hopp, W.J. & Spearman, M.L. 2004. *To Pull or Not to Pull: What Is the Question?* Manufacturing & service operations management. Vol. 6 (2), spring 2004.

Lödding, H., Yu, K.W. & Wiendahl, H.P. 2003. *Decentralized WIP-oriented manufacturing control (DEWIP)*. Production planning & control. Vol. 14 (1).

Pieffers, J. & Riezebos, J. 2006. *Polca als innovatief materiaalbeheersingssysteem*. Brochure Polca, Rijksuniversiteit Groningen. Februari 2006.

Spearman, M.L., Woodruff, D.L. & Hopp, W.J. 1990. *CONWIP: a pull alternative to kanban*. International journal of production research. Vol 28 (5).

Suri, R. 1998. *Don't push or pull: POLCA*. APICS – The performance advantage. Vol. 8.

Suri, R. & Krishnamurthy, A. 2003. *How to Plan and implement POLCA: A Material Control System for High-Variety or Custom-Engineered Products*. Technical Report, Center for Quick Response Manufacturing. May 2003.

Suri, R. 2003. *QRM and Polca: A Winning Combination for Manufacturing Enterprises in the 21st Century*. Technical Report, Center for Quick Response Manufacturing. May 2003.

* Naar niet alle genoemde artikelen wordt in het verslag expliciet verwezen. Het is echter wel bruikbare literatuur die gebruikt is om dit verslag tot stand te laten komen.

Suri, R. 2005. *A Lean Strategy for Job Shops*. Gear Technology. Nov-Dec 2005.

Vandaele, N.J. *A generic concept of a manufacturing system for various planning and execution systems*. University of Antwerp, department of Technology Management.

Vandaele, N.J., Claerhout, D. & van Niewenhuyse, I. *E-POLCA to control multi-product, multi-machine job shops*. University of Antwerp, Faculty of Applied Economics.

Verslagen

Brink, Kaspar van den. *Lijn in de lijn. Onderzoek naar de arbeidsinrichting van een montagelijijn bij Neopost Industrie B.V.* Afstudeerverslag TBW, Rijksuniversiteit Groningen. Februari 2005.

Epping, E.M. 2005. *Let's Polca!* Afstudeerverslag TBW, Rijksuniversiteit Groningen. Augustus 2005.

Heijden, Charlotte van der. *Tangram voor gevorderden. Layoutstudie naar de onderdelenfabricage bij Neopost Technologies*. Bachelorthesis TBK, Rijksuniversiteit Groningen. 2005.

Mulder, Mark. *The effect of new production concepts on the adoption of practices: an empirical review*. Masterthesis TM, Rijksuniversiteit Groningen. Augustus 2006.

Pieffers, J. 2005. *Let's Polca?* Afstudeerverslag TBW, Rijksuniversiteit Groningen. Augustus 2005.

Stoit, Jos. *Logistieke besturing van een job-shop*. Afstudeerverslag TM, Rijksuniversiteit Groningen. Mei 2006.

Wind, Harry. *Inrichting van assemblagelijnen – ontwerp en methode*. Afstudeerverslag TBW, Rijksuniversiteit Groningen. Oktober 2006.

BIJLAGE

Bijlage 1: Vernieuwde polca scanningtool	- 107 -
Bijlage 2: Bezettingsgraden Bombardier Transportation	- 112 -
Bijlage 3: From-to tabellen Neopost Technologies.....	- 113 -
Bijlage 4: Bezettingsgraden machines Neopost.....	- 114 -

Bijlage 1: Vernieuwde polca scanningtool

Inleiding: Doel van de Scanningtool

Deze *Polca Scanningtool* maakt het mogelijk om op korte termijn te onderzoeken in hoeverre een productiebedrijf klaar is voor implementatie van Polca. Het instrument kan worden beschouwd als praktisch hulpmiddel voor het verkennen van de basisvoorwaarden voor implementatie van Polca en de bedrijfsspecifieke omstandigheden die bij implementatie van Polca belangrijk zijn. De *Scanningtool* is zodanig samengesteld dat tijdens de verkenning van de implementatiemogelijkheden van Polca geen cruciale zaken over het hoofd worden gezien.

De *Scanningtool* bestaat uit 5 fasen. Per fase staan een aantal stappen beschreven, welke in de vermelde volgorde dienen te worden uitgevoerd. Een afzonderlijke stap (•) kan een vraag betreffen, waarop een antwoord dient te worden gevonden, óf een handvat zijn, waarmee tijdens verkenning rekening mee dient te worden gehouden. Elke geformuleerde stap wordt kort toegelicht.

Verwacht wordt dat de gebruiker van deze Tool op de hoogte is van de algemene principes en uitgangspunten van Polca (zie eventueel de brochure: *Polca als innovatief materiaalbeheersingssysteem*).

Fase 1: Vaststellen doelstelling Polca

- **Voor welke problemen t.a.v. het productieproces biedt Polca een oplossing?**
- **Wat is de achtergrond van deze problemen?**

Deze stappen zijn gericht op het achterhalen van de problemen waarmee de organisatie te maken heeft in de aansturing en beheersing van materiaalstromen en waarvoor Polca uiteindelijk een oplossing kan zijn. Het inzichtelijk maken van deze problemen en de achtergrond ervan biedt uitkomst voor het nader te ontwerpen Polca-raamwerk (zie Fase 4).

- **Wat zijn de belangrijkste doelstellingen voor implementatie van Polca?**

Het voor ogen hebben van realistische managementdoelstellingen draagt bij aan het creëren van draagvlak bij betrokken verantwoordelijken (management). Tevens kan hiermee het nut van (een eventuele) Polca implementatie op eenduidige wijze worden gecommuniceerd richting betrokkenen (materiaalplanners, teamleiders, logistieke medewerkers,...).

- **Hoe kunnen de prestaties van Polca meetbaar worden gemaakt?**

Ter evaluatie van het Polca systeem is het nuttig alvast inzicht te hebben in de belangrijkste prestatieindicatoren van Polca. (bijvoorbeeld: leverbetrouwbaarheid, doorlooptijd- en voorraadreductie).

Fase 2: Identificatie van Polca-cellen

- **Welke machines bevinden zich in de te construeren polcacellen?**
- **Zijn deze machines geautomatiseerd en/of uitwisselbaar?**
- **Vragen de machines om een speciale behandeling die afgezonderd moet worden uitgevoerd?**

Hieruit volgt een opsomming van de machines die zich bevinden in de te vormen polcacellen met daarbij enkele karakteristieken. Het resultaat wordt als volgt weergegeven:

Machinenaam	Geautomatiseerd?	Uitwisselbaar?	Afgezonderd?
-------------	------------------	----------------	--------------

- **Waar in de te vormen polcacellen bevinden zich kwaliteitscontrolepunten?**
- **Hoe vaak (en waar) zijn repairs noodzakelijk?**

Hieruit volgt een overzicht van de controlepunten die zich in het proces bevinden. Met daarbij informatie over de frequentie van en de plaatsen waar repairs plaatsvinden.

- **Wat is de huidige layout van het betreffende proces?**
- **Waar in het proces zijn buffermogelijkheden?**

Hieruit volgt inzicht in de huidige layout met daarin de plaatsen aangegeven waar het mogelijk is producten op voorraad te houden.

- **Welke Polca-productiecellen kunnen worden geïdentificeerd?**

Het vroegtijdig opsporen van polca-cellen is noodzakelijk voor de uitvoering van de stappen uit fasen 3, 4 en 5.

Er is sprake van een Polca-cel indien deze:

1. is samengesteld uit één of meerdere lokaal georganiseerde machines/werkstations of een hele productieafdeling ten behoeve van een bepaald type bewerking (richtlijn 1);
2. gerelateerd is aan één of meerdere producerende en/of afnemende polca-cellen (richtlijn 2);
3. verantwoordelijk is voor de bewerking van een productfamilie of een familie onderdelen of halffabrikaten (richtlijn 3).

Fase 3: Checken van de basisvoorwaarden

Realisatie HL/MRP

- **Zijn de gemiddelde doorlooptijden van de polca-cellen betrouwbaar genoeg voor het realiseren van een HL/MRP systeem?**

Voor de samenstelling van een adequaat HL/MRP systeem dienen de gemiddelde doorlooptijden, van alle geïdentificeerde polca-cellen uit fase 2, betrouwbaar te zijn. De gemiddelde doorlooptijden dienen zodanig gekozen te worden, dat er genoeg ruimte is om alle mogelijke ordervarianten tijdig af te leveren. (De interne levertijden van alle ordervarianten dienen dus kleiner te zijn dan deze geplande celdoorlooptijd.)

- **Zijn de huidige productielijsten geschikt voor Polca?**

Celgebonden productielijsten dienen zodanig te worden samengesteld, dat het voor operators relatief eenvoudig is om:

1. autorisatietijden van verschillende productieorders af te lezen of te communiceren;
2. te bepalen welke polca-cel in de productieroute de volgende is (de productielijsten moeten dus communiceren binnen welke Polca loops de cel zich bevindt);
3. de werkinhoud per productieorder te bepalen. (Een geschikte eenheid is bijvoorbeeld de bewerkingstijd in minuten/uren. Deze werkinhoud kan bij implementatie van Polca worden gebruikt voor de berekening van een geschikte kwantiteitseenheid voor Polca kaarten.)

Capaciteitsbeheersing

- **Check de betrouwbaarheid van het capaciteitsplan, door gegevens te verzamelen over gemiddelde bezettingsgraden* van de productiecellen.**

Voor optimale prestaties van de Polca loops (ofwel de beschikbare capaciteit van 2 opeenvolgende cellen) kan worden uitgegaan van een bezettingsgraadnorm die ligt tussen 30-80%. Toelichting:

- Polca zorgt er voor dat de aanwezige capaciteit van de cellen optimaal wordt ingezet voor productie, maar indien de gemiddelde bezettingsgraden juist laag zijn (< 30%), dan biedt Polca weinig uitkomst. Capaciteit is immers altijd voorhanden en orders kunnen gemakkelijk doorstromen;
- Indien de gemiddelde bezettingsgraad juist te hoog wordt (>80%), dan is theoretisch gezien de kans groot dat dit een negatieve invloed heeft op de doorlooptijd van productieorders.

- **Kunnen capaciteitsmaatregelen worden genomen?**

Ter verbetering van de prestaties van eventuele aanwezige capaciteitsbottlenecks (cellen met een bezettingsgraad > 80%) kan de organisatie overwegen corrigerende capaciteitsmaatregelen te nemen. Geschikte maatregelen zijn:

- het vroegtijdig plannen van strategische overcapaciteit in MRP;
- multi-inzetbaarheid van medewerkers (medewerkers aansturen op basis van de vraag);
- tijdelijke uitbreiding van de capaciteit d.m.v. overwerken.

- **Elke polca-cel dient gerelateerd te zijn aan één of meerdere andere cellen.**

Voor het plannen van de Polca loops (zie fase IV) is het noodzakelijk dat elke cel gerelateerd is aan minimaal één andere cel in het productietraject.

Fase 4: Ontwikkeling van het Polca-raamwerk

Ontwerp Polca-raamwerk

Dit raamwerk kan worden gebruikt als bril waarmee naar het huidige productieproces wordt gekeken en komt tot stand via het:

- **In kaart brengen van de relevante polca-cellen en de bijbehorende from-to-relaties;**

De lay-out van dit raamwerk dient zodanig gekozen te worden, dat het mogelijk is om de belangrijkste relaties tussen cellen op te sporen. Een techniek hiervoor is het rangschikken van de geïdentificeerde polca-cellen in de opeenvolgende productiestadia (stroomopwaarts → stroomafwaarts)

- **In kaart brengen van de belangrijkste productroutings;**

Een routing betreft hier de volgorde waarin cellen moeten worden aangedaan voor de productie van een specifieke order. De belangrijkste routings kunnen worden vastgesteld door gebruik te maken van de gegevens uit het plannings- en informatiesysteem (MRP). De gevonden routings kunnen vervolgens worden gebruikt voor het plannen van de Polca loops (zie hieronder).

- **Zijn storende productroutings aanwezig?**

* Onder "bezettingsgraad" wordt verstaan: de verwachte waarde van het quotiënt van de gevraagde capaciteit (op basis van bewerkingstijd in uren) en de beschikbare capaciteit (normale capaciteit van cellen in uren/week).

Dit betreft de aanwezigheid van productstromen, die tot stand komt via bewerking op slechts één cel. Voor het creëren van stabiele Polca loops is het noodzakelijk dat men inzicht heeft in het aantal producten dat tot stand komt via dergelijke routings (zie fase 5 voor nadere toelichting hierop).

Plannen van de Polca Loops

- **Creëren van functionele Polca loops**

Door gebruik te maken van het ontworpen raamwerk kan worden gezocht naar oplossingen voor de beschreven problemen uit fase 1. Om hiertoe te komen dienen de Polca loops zodanig ingericht en gepland te worden, dat de aansturing en beheersing van de materiaalstromen tussen cellen kan worden verbeterd. (De Polca loops dienen hiermee een bijdrage te leveren aan de realisatie van de geformuleerde doelstellingen uit fase 1.)

Dit volledige raamwerk dient vervolgens als basis voor het verkrijgen van inzicht in de effectiviteit en toepasbaarheid van het Polca systeem (zie fase 5).

Fase 5: Beoordeling effectiviteit van Polca.

Indien wordt voldaan aan de basisvoorwaarden uit fase 3 dan zou implementatie van Polca in principe mogelijk zijn. Om ook nog een uitspraak te doen over de effectiviteit van het ontworpen Polcaraamwerk kan in deze fase worden gecheckt of de organisatie voldoet aan de randvoorwaarden.

- **Biedt het Polca-raamwerk mogelijkheden voor het creëren van productieflexibiliteit?**

Onder productieflexibiliteit wordt verstaan: het vermogen van het bestaande productieproces om alternatieve productroutings te creëren, door af te wijken van bestaande productroutings. Het kunnen creëren van productieflexibiliteit draagt bij aan de prestaties van het Polca systeem.

- **Doen zich binnen het Polca-raamwerk convergente productietrajecten voor?**

Convergente productietrajecten leveren namelijk een belangrijke beperking op voor Polca.

Convergentie ontstaat in geval van assemblage. Hierbij zijn veelal meerdere halffabrikaten en onderdelen nodig (afkomstig van meerdere producerende cellen) voor één bepaalde assemblage (dus één afnemende cel). De Polca loops bieden in deze situatie geen oplossing voor vrijgave van de juiste typen en aantallen componenten in de producerende cellen. Om dit toch mogelijk te maken dient de organisatie te beschikken over een geschikt informatieplan (bijvoorbeeld aansturen vanuit MRP).

- **Is het mogelijk om productspecifieke celdoorlooptijden te berekenen?**

De effectiviteit van het HL/MRP systeem kan worden gegarandeerd, indien het voor iedere cel mogelijk is productspecifieke autorisatietijden te berekenen. Voor het berekenen van deze autorisatietijden dient men inzicht te hebben in de productspecifieke *bewerkings*-, *wacht*- en *machineomstelt*tijden. Deze doorlooptijden dienen betrouwbaar te zijn en mogen niet al te sterk fluctueren.

- **Is het mogelijk om productspecifieke inter-celdoorlooptijden te berekenen?**

Voor het realiseren van productspecifieke autorisatietijden in HL/MRP dienen niet alleen celdoorlooptijden betrouwbaar te zijn, maar ook de doorlooptijden tussen cellen. (Dit is dus de wachttijd van een order die zich bevindt tussen twee cellen in.)

Stabiele Polca Loops

Stabiele Polca loops worden gerealiseerd dankzij een juiste schatting van het aantal Polca kaarten tussen twee opeenvolgende cellen. Voor het kunnen berekenen van het geschikte aantal kaarten is men afhankelijk van:

- **betrouwbare (inter-)celdoorlooptijden;**

Zie hiervoor de toelichting op de vorige twee stappen.

- **betrouwbare voorspellingen van het verwachte aantal orders binnen de geïdentificeerde product routings;**
- **betrouwbare voorspellingen van het verwachte aantal orders binnen de storende product routings.**

Voor het creëren van een stabiel Polca loop is het noodzakelijk dat men inzicht heeft in het aantal producten dat tot stand kan komen via storende routings. Het is handig dit aantal mee te nemen in de berekening van het aantal Polca kaarten. Zodoende wordt het totale (verwachte) werkaanbod voor een loop afgestemd op de beschikbare capaciteit binnen de loop (ofwel de capaciteit van twee opeenvolgende cellen).

Indien een van de bovenstaande voorwaarden ontbreekt of blijkt dat hier niet volledig aan kan worden voldaan dan kan de organisatie overwegen deze mee te nemen in een nader te ontwikkelen Polca- implementatieprogramma.

Bijlage 2: Bezettingsgraden Bombardier Transportation

Cel	Afkorting	Machinenaam	Gemiddelde ordertijd (uren/week)	Beschik-baarheid (uren/week)	# Capaciteits eenheden	Capaciteit (uren/week)	Bezettingsgraad van de machines	Gemiddelde bezetting (# personen)	Gemiddelde bezetting (manuren/week) *	Bezettingsgraad incl operators
Branden	BRA2	laser		40	1	40				
	BRA1	messer		40	1	40				
	BRH2	handbranden		40	1	40				
	PHS3	conventioneel ponsen	129	40	1	40	54%	5	172	75%
	SNC1	cnc schaar (snijden)		40	1	40				
	PEC	Trumph cnc ponsmachine		40	1	40				
Draaien	DRA1	draaien conventioneel	11	40	3	120	9%	1	34,4	32%
Frezen	BTR1	aciera coördinaten (boren)	0	40	1	40	0%			
	BTR2	boren caser/donou	7	40	1	40	18%			
	BTR3	boren	7	40	1	40	18%	3	103,2	83%
	BTR4	vloeiboren	10	40	1	40	25%			
	FRE1	frezen huron		40	1	40				
	FRE2	frezen/boren sip7	62	40	1	40	52%			
	FRE3	dixi frezen		40	1	40				
Lassen	LAA4	lassen alu	6	40	2	80	8%	3	103,2	33%
	LAI4	lassen inox	28	40	2	80	35%			
Plooien	BUH1	centerwals		40	1	40				
	PLO1	plooien 50t	64	40	2	80	40%	4	137,6	47%
	PLO2	plooien 300t		40	1	40				
Slijpen	OBR1	grindingmaster ontbramen		40	1	40				
	OBR3	bandschuurmachine	81	40	1	40	41%	3	103,2	79%
	SLA4	slijpen alu		40	1	40				
	SLH1	slijpen handmolen staal		40	1	40				
	SLS4	slijpen staal		40	1	40				
	SLI4	slijpen inox	1	40	1	40	3%			
Zagen	ZAL1	alu snelzaag		40	1	40				
	ZCI2	zagen katenbach	16	40	1	40	13%	2	68,8	23%
	ZLI4	lintzaag doal		40	1	40				

* op basis van een 40-urige werkweek, rekening houdend met 14% ziekte en verlof.

Bijlage 3: From-to tabellen Neopost Technologies

From-to tabel Neopost (in # orders)

	persen	kanten	ponsen	verspanen	draaien cnc	slijpen/lassen	overig	extern	afwerken
persen	1718	859	0	438	0	756	205	61	239
kanten	938	829	0	14	0	1078	168	20	1029
ponsen	491	2181	0	1129	0	720	1295	4	59
verspanen	358	388	0	1041	0	521	508	501	39
draaien cnc	41	0	0	439	0	405	58	3317	9
slijpen/lassen	519	440	0	136	0	228	279	251	665
overig	537	1119	0	46	0	247	456	118	91
extern	105	0	0	23	0	130	10	4	1
afwerken	70	7	0	0	0	8	65	0	1291
50 tot 499	50	499							
500 tot 999	500	999							
> 1000	1000								

From-to tabel Neopost (in percentages)

percentage van de hoeveelheid orders dat ergens heengaat (zegt niets over aantal)	persen	kanten	ponsen	verspanen	draaien cnc	slijpen/lassen	overig	extern	afwerken
persen	40%	20%	0%	10%	0%	18%	5%	1%	6%
kanten	23%	20%	0%	0%	0%	26%	4%	0%	25%
ponsen	8%	37%	0%	19%	0%	12%	22%	0%	1%
verspanen	11%	12%	0%	31%	0%	16%	15%	15%	1%
draaien cnc	1%	0%	0%	10%	0%	9%	1%	78%	0%
slijpen/lassen	21%	17%	0%	5%	0%	9%	11%	10%	26%
overig	21%	43%	0%	2%	0%	9%	17%	5%	3%
extern	38%	0%	0%	8%	0%	48%	4%	1%	0%
afwerken	5%	0%	0%	0%	0%	1%	5%	0%	90%
10 tot 14	0,1	0,14							
15 tot 24	0,15	0,24							
> 25	0,25								

Bijlage 4: Bezettingsgraden machines Neopost

Afdeling	Omschrijving	Totale ordertijd (uren/jaar)	Beschikbaarheid (uren/dag)	# Capaciteits-eenheden	Capaciteit (uren/dag)	Capaciteit (uren/jaar) berekend met 210 dagen/jr	Bezettingsgraad
405	Haerger persstift	1227,57	8	1	8	1680	73%
410	Pers 20 ton	200,84	8	1	8	1680	12%
420	Pers 60 en 80 ton	2190,93	8	3	24	5040	43%
440	Schaar	373,56	8	1	8	1680	22%
460	Hoekvormmachine	53,79	8	1	8	1680	3%
470	Kantbank	11216,38	8	6	48	10080	111%
480	Trumpf 260	3176,54	24	1	24	5040	63%
485	Trumpf 500	5431,53	24	1	24	5040	108%
490	Trumpf 600	4040,26	24	1	24	5040	80%
500	Braungart	1045,44	8	1	8	1680	62%
510	Colchester	115,13	8	1	8	1680	7%
520	Schaublin	750,48	8	1	8	1680	45%
530	Index	6999,98	24	1	24	5040	139%
550	Star KNC25	12359,39	24	2	48	10080	123%
560	Star SV20	7637,92	24	1	24	5040	152%
570	Rollenslijpen	443,47	8	1	8	1680	26%
610	Bankwerken	987	8	2	16	3360	29%
611	Klinken	1890,05	8	2	16	3360	56%
612	Richten assen	97,89	8	1	8	1680	6%
613	Stiftlassen	711,27	8	1	8	1680	42%
614	Luchtpersen	792,81	8	1	8	1680	47%
616	Zagen	82,23	8	1	8	1680	5%
617	Lijmen	1829,38	8	1	8	1680	109%
620	Boren	3071,91	8	4	32	6720	46%
630	Freesbank	336,59	8	1	8	1680	20%
640	Vlakschuren	1353,48	8	1	8	1680	81%
660	Tappen	1336,1	8	1	8	1680	80%
670	Puntlassen	2069,7	8	2	16	3360	62%
700	Inolieen + ontvetten	104,04	8	1	8	1680	6%
710	Slijpen	342,38	8	1	8	1680	20%
720	Trommelen	1699,6	8	1	8	1680	101%
730	Zwarten	2255,1	-	-	-	-	-
740	Spuiten	1535,66	8	1	8	1680	91%
750	Tamponneren	1478,72	8	1	8	1680	88%
770	Spuitwerk nabewerken	410,12	8	1	8	1680	24%

LIJST VAN FIGUREN

figuur 1 Conceptueel model van het onderzoek	- 8 -
figuur 2 Productiecellen	- 12 -
figuur 3 High Level MRP	- 13 -
figuur 4 Polcaloops	- 14 -
figuur 5 Polcaloop V1/M1	- 16 -
figuur 6 Polcaloops V1/M1 en M1/A2	- 16 -
figuur 7 Polcakaart	- 17 -
figuur 8 Cyclustijd polca	- 18 -
figuur 9 Convergente structuur	- 21 -
figuur 10 Divergente structuur	- 21 -
figuur 11 Samenvoegen van orders	- 29 -
figuur 12 Conceptueel model van de casestudies	- 35 -
figuur 13 Materiaalstroom profielen	- 41 -
figuur 14 Materiaalstroom plaatbewerkingen	- 42 -
figuur 15 Materiaalstroom lassen	- 42 -
figuur 16 Materiaalstroom CM lasverzameling tram3000	- 42 -
figuur 17 Materiaalstroom totaal	- 43 -
figuur 18 Materiaalstroom lassen	- 48 -
figuur 19 Polcastructuur profielen	- 51 -
figuur 20 Polcastructuur plaatbewerkingen, optie 1	- 53 -
figuur 21 Polcastructuur plaatbewerkingen, optie 2	- 54 -
figuur 22 Polcastructuur branden, optie 1	- 54 -
figuur 23 Polcastructuur branden, optie 2	- 55 -
figuur 24 Polcastructuur slijpen, optie 1	- 56 -
figuur 25 Polcastructuur slijpen, optie 2	- 57 -
figuur 26 Polcastructuur frezen	- 58 -
figuur 27 Polcastructuur plooiën	- 59 -
figuur 28 Polcastructuur totaal	- 59 -
figuur 30 Primair proces (fabrieks niveau)	- 63 -
figuur 31 Primair proces (afdelings niveau)	- 64 -
figuur 32 Ordertransporten per jaar	- 65 -
figuur 33 Hoeveelheid OHW bij directe vrijgave en uitgestelde vrijgave	- 69 -
figuur 34 Circulatiesnelheid van polca's AB	- 73 -
figuur 35 Variatie in buffergrootte als gevolg van onbemand produceren	- 73 -
figuur 36 Polcastructuur plaatwerk (>1000 orders/jr)	- 76 -
figuur 37 Polcastructuur ponsen	- 77 -
figuur 38 Polcastructuur ponsen, alternatief	- 78 -
figuur 39 Polcastructuur verspanen	- 79 -
figuur 40 Polcastructuur verspanen, alternatief	- 80 -
figuur 41 Polcastructuur kanten	- 80 -
figuur 42 Polcastructuur kanten, alternatief	- 81 -
figuur 43 Polcastructuur overige	- 82 -
figuur 44 Polcastructuur slijpen/lassen	- 82 -
figuur 45 Polcastructuur persen	- 83 -
figuur 46 Polcastructuur afwerken	- 83 -
figuur 47 Polcastructuur totaal, optie 1	- 84 -
figuur 48 Polcastructuur totaal, optie 2	- 84 -
figuur 49 Analyse polca voor afwijkende situaties	- 87 -

Lijst van figuren

figuur 50 Standaardsituatie (lineaire, gelijktijdige productie)	- 87 -
figuur 51 Materiaalstroom Bombardier	- 88 -
figuur 52 Lineaire productstroom en parallel tegengestelde productstroom	- 88 -
figuur 53 Polcastructuur parallel tegengestelde productstroom	- 89 -
figuur 54 Polcastructuur parallel tegengestelde productstroom, uitgesplitst.....	- 89 -
figuur 56 Viciuze cirkel, gedetailleerd	- 90 -
figuur 57 Polcaarten bij parallel tegengestelde productstromen.....	- 90 -
figuur 58 Productiestructuur met ongelijke productiemomenten	- 91 -
figuur 59 Polcastructuur van 08:00 tot 16:00.....	- 91 -
figuur 60 Ongelijke productiemomenten, 1 uitgestrekte polcaloop	- 92 -
figuur 61 Ongelijke productiemomenten in verschillende productiestadia	- 93 -
figuur 62 Onbemande productie in 1 ^e of 2 ^e cel.....	- 94 -
figuur 63 Onbemande productie, 2 polcaloops inclusief voorraadpunten	- 95 -
figuur 64 Onbemande productie in verschillende productiestadia	- 95 -
figuur 65 Productiestructuur met een externe bewerking	- 96 -
figuur 66 Externe productie, 2 polcaloops	- 96 -
figuur 67 Externe productie, cel 2 ingezoomd.....	- 97 -
figuur 68 Externe productie, 1 uitgestrekte polcaloop.....	- 97 -
figuur 69 Externe productie in verschillende productiestadia	- 98 -