

## University of Groningen

### Shop floor design

Bokhorst, J.A.C.

**IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.**

*Document Version*

Publisher's PDF, also known as Version of record

*Publication date:*

2005

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

*Citation for published version (APA):*

Bokhorst, J. A. C. (2005). *Shop floor design: layout, investments, cross-training, and labor allocation*. [Thesis fully internal (DIV), University of Groningen]. s.n.

**Copyright**

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

**Take-down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

*Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.*

## Samenvatting

De onderwerpen die in de zes artikelen van dit proefschrift worden behandeld vallen binnen het brede veld van “Operations Management” (OM) en relateren in het bijzonder aan procesontwerp. Het proefschrift behandelt thema’s die binnen de drie volgende specifieke procesontwerpactiviteiten vallen: (1) Lay-out, (2) Procestechnologie en (3) Job design. Aangezien deze activiteiten de werkvloer betreffen, zullen we ze “shop floor design” activiteiten noemen. De thema’s die we in dit proefschrift behandelen zijn:

- De keuze van een basis lay-out
- Investeringsbeslissingen
- Training van mensen
- Toewijzingsregels voor mensen

Bij de shop floor design activiteit “lay-out” gaat een eerste ontwerpbeslissing over de keuze van een processtructuur, een tweede ontwerpbeslissing over de keuze van een basis lay-out en een derde ontwerpbeslissing over een gedetailleerd ontwerp van de lay-out. Het artikel “Decision support framework for the selection of a manufacturing layout” richt zich op de keuze van een basis lay-out (de tweede ontwerpbeslissing). Dit is een belangrijke ontwerpbeslissing voor een bedrijf en vaak is deze beslissing niet voor de hand liggend. Eerder onderzoek heeft alternatieve lay-outs vergeleken (bijvoorbeeld groepsgewijze lay-outs versus functionele lay-outs), maar daarin richt men zich vaak slechts op een klein aantal factoren. Verder ondersteunt dat onderzoek mensen uit de praktijk niet expliciet bij het maken van een keuze tussen alternatieve lay-outs in hun specifieke situatie. Onze bijdrage is de formulering van een generiek beslissingsondersteunend raamwerk voor de keuze van een productie lay-out, waarbij het beslissingsprobleem hiërarchisch is opgedeeld. Deze opdeling vereenvoudigt het beslissingsprobleem en maakt het mogelijk dat werknemers efficiënt en effectief kunnen participeren. In de lay-out keuze worden sterktes en zwakten van elke lay-out gerelateerd aan de prestatiedoelen van het bedrijf. Hiervoor zijn antwoorden nodig op de volgende drie vragen: (1) Wat zijn de relatieve scores van de alternatieve lay-outs op de aspecten genoemd in het beslissingsraamwerk? (2) Wat is het relatieve belang van de verschillende aspecten behorende bij een prestatiedoel? en (3) Wat is het relatieve belang van de verschillende prestatiedoelen voor het bedrijf? De prestatiedoelen die in het raamwerk zijn opgenomen zijn: prijs, kwaliteit, snelheid, flexibiliteit (product/service, mix, en volume/vraag), betrouwbaarheid en kwaliteit van de arbeid. De aanpak is integraal in die zin dat er een brede set prestatiedoelen wordt meegenomen en er sprake is van kwalitatieve en kwantitatieve aspecten. We gebruiken de AHP (Analytic Hierarchy Process) aanpak, die geschikt is voor multi-criteria beslissingsituaties waar intuïtieve, kwalitatieve en kwantitatieve aspecten een rol spelen. Het raamwerk is in een aantal praktische situaties toegepast en wij zijn van mening dat de beslissingshiërarchie zoals gepresenteerd in het artikel en de toepassing van AHP in veel situaties een robuust raamwerk vormt voor de keuze van een lay-out.

Binnen “procestechnologie” als shop floor design activiteit kijken we naar materiaalverwerkende technologieën en in het bijzonder naar conventionele machine technologie en “Computer Numerically Controlled” (CNC) technologie. Het artikel “An integrated model for part-operation allocation and investments in CNC technology” gaat over investeringsbeslissingen in CNC machines waarbij tevens rekening wordt gehouden met een optimale toewijzing van onderdelen en bewerkingen gedurende de periode waarin wordt geïnvesteerd. Deze toewijzingsbeslissing is de beslissing om de onderdelen en bewerkingen ofwel aan de conventionele machines toe te wijzen, ofwel aan de nieuwe CNC machines. Het kan worden beschouwd als een middellange termijn of zelfs lange termijn beslissing die samen met investeringsbeslissingen moet worden genomen. Een belangrijke overweging bij het (her)ontwerpen van processen is welke technologie toegepast gaat worden in de transformatie van inputs naar outputs. Elke alternatieve technologie of alternatieve variant van dezelfde technologie heeft verschillende karakteristieken en zal een andere bijdrage hebben aan de effectiviteit van het productiesysteem. CNC machines dragen in essentie bij tot een toename in de drie belangrijke prestatiecriteria efficiency, flexibiliteit en kwaliteit. Karakteristieken waarmee CNC machines zich onderscheiden zijn dat ze computer gestuurd zijn, dat ze verscheidene bewerkingen integreren en dat ze automatische handling en transport faciliteiten kunnen hebben. Het investeren in nieuwe machines (vervanging of uitbreiding) betekent dat de effectiviteit van het productiesysteem verandert en de mate van verbetering wordt beïnvloed door de toewijzingsbeslissing van onderdelen en bewerkingen. We presenteren een mixed integer programming model om te bepalen (i) welke onderdelen (volledig of gedeeltelijk) gemaakt moeten worden op nieuwe en/of huidige machines, (ii) welke nieuwe CNC machines aangeschaft dienen te worden en wanneer, en (iii) welke huidige machines van de hand gedaan moeten worden en wanneer. Het optimaliteitscriterium is gebaseerd op een maximalisatie van de netto contante waarde (Net Present Value, NPV) over een bepaalde planningshorizon. De toepassing van het model wordt geïllustreerd met behulp van een numeriek voorbeeld. De belangrijkste bijdrage van het artikel is dat het duidelijk maakt dat de toewijzingsbeslissing van onderdelen en bewerkingen een belangrijke overweging is in de evaluatie van winstgevendheid door het investeren in CNC technologie. Volgens ons en overeenkomstig met ons model zou de investeringsbeslissing gebaseerd moeten zijn op een integrale kijk op het effect van de toewijzingsbeslissing van onderdelen en bewerkingen op de effectiviteit van het productiesysteem. Tevens worden CNC machines vaak ingezet als multi-machine systemen en elke CNC machine vervangt typisch meer dan één traditionele machine. Gebruik makend van een gefaseerde implementatie aanpak zou de tijdshorizon van de investeringsprocedure (waarin niet alleen beslist wordt welke nieuwe machines aangeschaft moeten worden, maar ook welke huidige machines van de hand gedaan moeten worden) een aantal jaar moeten zijn, waarin verschillende alternatieve investeringsopties overwogen kunnen worden.

Voor wat betreft job design als shop floor design activiteit richten we ons op twee thema's: (1) training van mensen en (2) toewijzingsregels voor mensen. We besteden twee artikelen aan elk thema in respectievelijk hoofdstuk drie en hoofdstuk vier. Voor het thema training is de belangrijkste onderzoeksvraag wie getraind moet worden voor welke machine. Uiteraard moeten tenminste een aantal bedieners meer dan één machine kunnen bedienen in een “Dual Resource Constrained” (DRC) systeem, waar het aantal bedieners kleiner is dan het aantal machines. De vraag is echter hoeveel training nodig is en wie getraind moet worden. Verschillende onderzoeken hebben aangetoond dat een toename in het aantal trainingen een positief effect heeft op de prestatie van het systeem. Verder laat onderzoek

zien dat het grootste deel van de positieve effecten al behaald wordt zonder naar het extreem van volledige flexibiliteit te gaan, waar iedereen alles kan. Echter, zelfs met een vast aantal vaardigheden in een systeem zijn er vele mogelijke verdelingen van vaardigheden over mensen. In ons onderzoek ontwikkelen we modellen die trainingsbeslissingen ondersteunen. Een belangrijke aanname in onze modellen is dat de verdeling van vaardigheden een gelijke verdeling van werklast over de mensen mogelijk moet maken, om het creëren van ketens “chaining” te bevorderen. Eerder onderzoek heeft aangetoond dat chaining een effectief beleid is. Om een keten te krijgen moet flexibiliteit op zo'n manier worden toegevoegd dat er een pad wordt gecreëerd dat elke bediener direct of indirect met elke machine verbindt. Verder willen we ervoor zorgen dat de resulterende vaardigheden-configuratie in staat is om effectief om te gaan met fluctuaties. Dit kunnen fluctuaties in de vraag naar werk zijn, of in het aanbod van bedieners. Dit laatste kan bijvoorbeeld door absentie van bedieners worden veroorzaakt.

In het artikel “Cross-training in a cellular manufacturing environment” gaan we in op de vraag “Wie moet getraind worden voor welke machine?” in een groepsgewijze fabricage omgeving met mixvariëaties in de vraag naar werk en fluctuaties in het aanbod van bedieners. We hebben een integer programming (IP) model ontwikkeld dat gebruikt kan worden om bedieners te selecteren voor training op bepaalde machines, zodat absentie hanteerbaar wordt, fluctuaties in de vraag opgevangen kunnen worden en de beschikbare vaardigheden zo efficiënt mogelijk aangewend kunnen worden. We houden rekening met trainingskosten en efficiëncyniveaus die bedieners uiteindelijk kunnen bereiken op de machines. Verder formuleren we randvoorwaarden die betrekking hebben op een maximum en/of minimum niveau van multifunctionaliteit en redundantie. De basis aanname in onze aanpak is dat training moet leiden tot een situatie waarin alle bedieners gelijk belast kunnen worden in verschillende omstandigheden. Dit creëert de mogelijkheid ketens te vormen (chaining). Het model is behulpzaam indien een afweging gemaakt moet worden tussen trainingskosten en de werklastbalans van bedieners in een fabricage cel. De werklastbalans duidt de bruikbaarheid van flexibiliteit van mensen in een bepaalde situatie aan. Een numeriek voorbeeld illustreert de diverse elementen en kenmerken van het model.

Het artikel “Development and evaluation of cross-training policies for manufacturing teams” gaat in op de vraag “Wat is een effectief trainingsbeleid?” Een trainingsbeleid kan worden gezien als een set regels om de verdeling van vaardigheden van bedieners te bepalen. In dit artikel bediscussiëren we welke aspecten belangrijk zijn in de ontwikkeling van een trainingsbeleid, ontwikkelen we enkele alternatieven en evalueren we deze alternatieven met behulp van een simulatiestudie. Het concept van “chaining” is in alle alternatieven meegenomen. De verschillende alternatieven zijn gebaseerd op verschillende keuzes die gemaakt zijn met betrekking tot de aspecten multifunctionaliteit, redundantie en collectieve verantwoordelijkheid. Multifunctionaliteit heeft betrekking op het aantal machines dat een bediener kan bedienen, redundantie is gedefinieerd als het aantal bedieners dat een bepaalde machine kan bedienen en collectieve verantwoordelijkheid wordt gemeten door de som van alle overlappende werklasten te meten. Voor het Integer Goal Programming (IGP) model moeten keuzes worden gemaakt met betrekking tot het gewenste aantal additionele trainingen, de minimale niveaus van multifunctionaliteit en redundantie, of gelijke multifunctionaliteit en gelijke redundantie al dan niet nagestreefd moet worden en of de collectieve verantwoordelijkheid geminimaliseerd of gemaximaliseerd moet worden. Voor de evaluatie door middel van simulatie gebruiken we de gemiddelde doorlooptijd vanuit de optiek van productiemanagement en de standaard deviatie van de verdeling van werklast vanuit de optiek van personeelsmanagement. Verder

worden drie routing structuren onderzocht: een parallelle routing structuur, een seriële routing structuur en een job shop routing structuur. In een parallelle structuur doen onderdelen slechts één machine uit een set van niet-identieke machines met verschillende bewerkingstijden aan. Elke machine heeft zijn eigen wachtrij, onafhankelijk van andere machines. In de seriële structuur moeten onderdelen alle machines in een vaste volgorde bezoeken, wat een asynchrone lijn representeert. In de job shop structuur zal zowel het aantal machines dat een onderdeel moet bezoeken als de volgorde waarin de machines moeten worden bezocht verschillen over onderdelen. Absenteïsme is meegenomen in de simulatiemodellen om de prestaties te evalueren in situaties waarbij het aanbod van bedieners fluctueert. Voor wat betreft fluctuaties in de vraag naar werk gaan we ervan uit dat elke machine een andere, maar constante gemiddelde bezettingsgraad heeft. In dit geval kan balanceren van capaciteit dus een doel van training worden. De aankomst van het werk is Poisson verdeeld en de verschillen in bezettingsgraden worden gemodelleerd door een verschillende gemiddelde bewerkingstijd per machine te specificeren. De bewerkingstijden zijn 2-erlang verdeeld. De gemiddelde vraag per machine zal dus niet veranderen, maar op elk willekeurig moment kunnen er grote verschillen in het aantal onderdelen in de wachtrij en in de bewerkingstijden van onderdelen zijn. In zulke systemen zal ook het bufferen van variabiliteit een belangrijk doel van training worden. De resultaten laten zien dat het binnen de parallelle en de job shop structuur belangrijk is om gelijke multifunctionaliteit en gelijke redundantie na te streven om een optimale gemiddelde doorlooptijd te bereiken. Binnen de seriële structuur moet meer aandacht worden besteed aan de bottleneck machines door ongelijke redundantie en maximale collectieve verantwoordelijkheid na te streven. Binnen alle routing structuren lijkt een gelijke multifunctionaliteit gecombineerd met een maximale collectieve verantwoordelijkheid een rechtvaardige verdeling van de werklast over bedieners mogelijk te maken. Deze maat relateert aan de sociale dimensie van een productieteam.

Het ontwerpen van toewijzingsregels voor mensen is een andere job design activiteit. De twee artikelen in hoofdstuk vier van dit proefschrift gaan in op dit thema, waarbij de vraag wordt gesteld welke regels ontworpen zouden moeten worden om mensen zodanig aan te nemen dat het systeem goed presteert. Toewijzingsregels zijn nodig in productieomgevingen waar mensen sequentieel op meer dan één machine moeten werken. In arbeidsgelimiteerde systemen zou het kunnen gebeuren dat er genoeg machinecapaciteit is op een bepaalde werkplek, maar dat onderdelen moeten wachten omdat er onvoldoende arbeidscapaciteit is. Dit kan veroorzaakt worden door het feit dat mensen druk zijn op andere werkplekken, of dat ze niet de juiste vaardigheden hebben om op de specifieke werkplek te werken. Toewijzingsregels maken het mogelijk om een bediener op een bepaald moment van zijn/haar huidige activiteit naar een andere activiteit met een hogere prioriteit te sturen. Het ontwerpen van regels die bedieners op het juiste moment en naar de juiste plaats sturen verbetert de performance van het systeem vergeleken met minder verfijnde toewijzingsregels. Studies over toewijzingsregels hebben zich meestal gericht op de “when-rule” en de “where-rule”, die respectievelijk bepalen wanneer een bediener in aanmerking komt voor een toewijzing en waar hij/zij dan aan toegewezen moet worden. Verder beschouwen de meeste studies homogeen personeel, oftewel bedieners met dezelfde karakteristieken. Onze studies bekijken tevens een andere toewijzingsregel (de “who-rule”) en onderzoeken systemen waarin bedieners verschillen. De who-rule bepaalt wie toegewezen moet worden indien meer dan één bediener beschikbaar is.

Het artikel “On the who-rule in Dual Resource Contstrained (DRC) manufacturing systems” richt zich op de who-rule. Het artikel begint met een praktijkvoorbeeld dat een

empirische inbedding vormt voor de experimentele factoren die in de simulatiestudie zijn gekozen en dat het probleem motiveert dat behandeld wordt in dit artikel. Ofschoon de who-rule een rol lijkt te spelen in de dagelijkse praktijk van toewijzing van mensen, is het niet systematisch behandeld in simulatiestudies gepresenteerd in de huidige literatuur. De studies tot dusver hebben de who-rule niet benoemd of hebben het als een vaste regel beschouwd. Dit vormt het startpunt voor een beschrijvende studie over de rol van de who-rule in simulatiestudies. De who-rule zou toegepast kunnen worden in simulatie als een onderdeel bij een leeg werkcentrum arriveert, of als een bediener beschikbaar komt voor toewijzing. Het artikel beschrijft dit in detail. Verder wordt een individueel gebaseerde toewijzingsaanpak onderscheiden van een teamgebaseerde toewijzingsaanpak. In een individueel gebaseerde toewijzingsaanpak wordt enkel de bediener die beschikbaar komt meegenomen in de toewijzingsbeslissing. De teamgebaseerde toewijzingsaanpak bekijkt ook of er nog andere gekwalificeerde bedieners zijn die aan de machine toegewezen kunnen worden. Gebaseerd op de beschrijvende studie worden twee simulatie experimenten gedaan om de mogelijke invloed van het gebruik van verschillende who-rules te bepalen in simulatiestudies die een beperkte flexibiliteit van bedieners modelleren en verschillen tussen bedieners. Factoren die vermoedelijk de mate van het effect van de who-rule beïnvloeden worden ook als experimentele variabelen meegenomen. In het eerste experiment kijken we voor wat betreft verschillen tussen bedieners naar single-level flexibiliteit (elke bediener kan hetzelfde aantal werkcentra bedienen) en multi-level flexibiliteit (bedieners kunnen een verschillend aantal werkcentra bedienen). Verder beschouwen we homogeen personeel met betrekking tot taakbekwaamheid in het eerste experiment (geen verschillen in het niveau van bekwaamheid van bedieners) versus heterogeen personeel met betrekking tot taakbekwaamheid in het tweede experiment. Tenslotte beschouwen we in beide experimenten zes verschillende configuraties van ongelijkheid in de werklasten van werkcentra in het systeem. Het eerste experiment modelleert DRC systemen met homogeen personeel met betrekking tot taakbekwaamheid, single-level of multi-level flexibiliteit en zes configuraties van ongelijkheid in de werklasten van werkcentra binnen drie gemiddelde bezettingsgraad niveaus van bedieners. De drie who-rules in dit experiment zijn (1) de “Longest Idle Time” (LIT) who-rule, de “Random” (RND) who-rule en de “Priority” (PRIO) who-rule. De LIT who-rule wijst de bediener toe die het langst gewacht heeft. De RND who-rule wijst willekeurig een bediener toe en de PRIO who-rule is specifiek ontworpen voor het door ons gemodelleerde systeem en geeft altijd prioriteit aan één van de twee bedieners. Het tweede experiment modelleert een DRC systeem met heterogeen personeel met betrekking tot taakbekwaamheid, single-level flexibiliteit en zes configuraties van ongelijkheid in de werklasten van werkcentra binnen een gemiddelde bezettingsgraad van bedieners van 60%. De who-rules in dit experiment zijn (1) de RND who-rule en (2) de “Most Efficient” (MEF) who-rule, die de bediener toewijst die de machine het meest efficiënt bedient. De resultaten van de studie laten zien dat de karakteristieken van het DRC systeem de impact van de who-rule beïnvloeden. De impact is groter bij lagere gemiddelde bezettingsgraden van bedieners dan bij hogere gemiddelde bezettingsgraden. Verder laat het eerste experiment zien dat bij lage gemiddelde bezettingsgraden van bedieners het effect van de who-rule relatief groter is indien er multi-level flexibiliteit is en indien er bij configuraties van ongelijkheid in werklasten grotere verschillen bestaan in termen van unieke werklasten van bedieners. Het tweede experiment dat heterogeen personeel met betrekking tot taakbekwaamheid modelleert laat grotere effecten van de who-rule zien dan het eerste experiment. Hoe hoger de werklast van het gedeelde werkcentrum, hoe meer de who-rule wordt toegepast en hoe vaker de meest efficiënte bediener wordt toegewezen. Verder laten we zien dat de

teamgebaseerde toewijzingsaanpak betere resultaten oplevert dan de individueel gebaseerde toewijzingsaanpak die tot nu toe werd gebruikt.

Het artikel "Labour allocation rules in Dual Resource Constrained (DRC) manufacturing systems with worker differences" bekijkt doorlooptijd effecten van de "when-rule", de "where-rule" en de "who-rule" in systemen met beperkte flexibiliteit van mensen voor wat betreft het aantal machines dat ze kunnen bedienen. We stellen dat vaardigheden van bedieners gezien moeten worden als een individuele menselijke factor en daarom modelleren we bedieners die verschillen in hun taakbekwaamheid en/of het aantal vaardigheden waarover ze beschikken. Verschillende configuraties van een DRC systeem met 5 bedieners, 10 machines en 30 vaardigheden worden in drie experimenten gesimuleerd. Het eerste experiment richt zich op de where-rule en de who-rule in drie configuraties met een toenemend verschil in taakbekwaamheid van mensen. De resultaten laten zien dat indien er verschillen zijn in taakbekwaamheid, where-rules en who-rules die hun keuze baseren op deze verschillen betere doorlooptijden geven dan een simpele First In System First Served (FISFS) where-rule en een random (RND) who-rule. Het tweede experiment richt zich op de who-rule in drie configuraties met toenemende verschillen in het aantal vaardigheden van bedieners. De resultaten laten zien dat indien er relatief grote verschillen in het aantal vaardigheden van bedieners zijn, een who-rule die de bediener met het minste aantal vaardigheden toewijst ("Fewest Number of Skills: FNS) in een betere doorlooptijd performance resulteert dan een RND who-rule. Het derde experiment richt zich op de when-rule, de where-rule en de who-rule in een configuratie met een groot verschil in taakbekwaamheid en een groot verschil in het aantal vaardigheden van bedieners. De resultaten laten zien dat een centrale when-rule beduidend beter presteert dan een decentrale when-rule. Verder presteren de where-rule en de who-rule die hun keuze baseren op taakbekwaamheid beter dan een FISFS where-rule en een FNS en RND who-rule, respectievelijk. Tenslotte lijkt het effect van de where-rule en de who-rule groter te zijn in geval van een centrale when-rule.

In dit proefschrift zijn verschillende thema's aan de orde geweest: de keuze van een basis lay-out, investeringsbeslissingen, training van mensen en toewijzingsregels voor mensen. Deze thema's zijn – op een hoog niveau – gerelateerd door hun procesontwerp focus binnen Operations Management. Verder behandelen de artikelen ontwerpbeslissingen die door bedrijven gemaakt moeten worden met betrekking tot de werkvloer. Dit zijn tenminste tactische beslissingen en sommige beslissingen zouden zelfs invloed op strategisch niveau kunnen hebben. Een andere overeenkomst van de meeste artikelen is de aandacht voor de menselijke factor en de integrale aanpak. De behandelde thema's zijn aan elkaar gerelateerd, ook al zijn ze min of meer onafhankelijk van elkaar behandeld in de verschillende artikelen. Het zou zinvol kunnen zijn om sommige of al deze thema's integraal te bestuderen. De vier artikelen over training van mensen en toewijzingsregels voor mensen tonen de meeste samenhang. Deze thema's vallen binnen job design en zijn gerelateerd aan flexibiliteit van mensen. Het aantal trainingen en de verdeling van trainingen heeft invloed op de flexibiliteit van het personeel en zo ook de toewijzingsregels voor mensen om bedieners aan machines toe te wijzen. Een interessante richting voor verder onderzoek is het integraal bestuderen van de shop floor design activiteiten van het trainen van mensen en de toewijzingsbeslissingen voor mensen. Een integrale studie naar lay-out en investeringsbeslissingen, of naar lay-out en training van mensen zou ook zinvol kunnen zijn. Het bestuderen van relaties tussen deze thema's zou het onderzoek naar shop floor design kunnen verrijken.





