

University of Groningen

Planning of Combined Make-to-Order and Make-to-Stock Production

Beemsterboer, Bartholomeus Jacobus

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:

2016

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

Citation for published version (APA):

Beemsterboer, B. J. (2016). *Planning of Combined Make-to-Order and Make-to-Stock Production*. [Thesis fully internal (DIV), University of Groningen]. University of Groningen, SOM research school.

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

Inleiding

Productiebedrijven worden dagelijks geconfronteerd met de uitdaging om te produceren tegen zo laag mogelijke kosten, terwijl klanten tegelijkertijd een hoge leverbetrouwbaarheid verwachten. Daarnaast hebben bedrijven te maken met een onzekere vraag naar producten. Om die reden staat de planning van productie voortdurend onder de aandacht bij productiebedrijven en vormt dit ook al enkele decennia een belangrijk onderzoeksgebied.

Twee hoofdstrategieën kunnen worden onderscheiden ten aanzien van omgang met een onzekere vraag naar producten. Zo is het mogelijk om vooraf te produceren, zodat klanten uit voorraad kunnen worden geleverd. Deze strategie staat bekend als 'make-to-stock' productie (MTS). Een andere mogelijkheid is om te produceren op bestelling, zodat het bedrijf niet vooraf hoeft te investeren in de productie. Het bedrijf belooft klanten dan om voor een vastgestelde datum te leveren. Deze strategie wordt 'make-to-order' productie (MTO) genoemd. Beide strategieën hebben een aantal kenmerkende eigenschappen, die een cruciale impact hebben op de manier waarop de productieplanning georganiseerd is.

Bij het vooraf produceren streeft men gewoonlijk naar het voortdurend op voorraad hebben van producten, zodat klanten niet hoeven te wachten op een levering of het product elders bestellen. Dit is eenvoudig te bereiken door hoge voorraden aan te houden, maar dat gaat gepaard met hoge kosten. De uitdaging bij het plannen van de productie is om de juiste balans te vinden tussen voorraadkosten en leverbetrouwbaarheid.

Bij het produceren op bestelling worden voorraadkosten (grotendeels) vermeden, maar daarmee ontstaat wel druk op de leverbetrouwbaarheid. In het digitale tijdperk verwachten klanten steeds snellere leveringen, maar desondanks de flexibiliteit om uit verschillende producteigenschappen te kiezen. Dergelijke

productie is gevarieerder dan productie van (gestandaardiseerde) voorraadartikelen, wat de planning gecompliceerder maakt.

Wellicht is het belangrijkste verschil tussen de twee productiestrategieën de mate van vrijheid van de planner. Als op bestelling wordt geproduceerd is de keuzevrijheid beperkt. De producten, producteigenschappen, hoeveelheden en de datum waarvoor geleverd moet worden liggen allemaal vast. Bij voorraadproductie heeft een planner meer vrijheid, niet alleen ten aanzien van het moment van produceren, maar ook ten aanzien van de geproduceerde hoeveelheden. Omdat in veel gevallen machines moeten worden omgesteld als ze switchen van het ene naar het andere product, is het efficiënt om in grotere hoeveelheden te produceren. Dit leidt echter tot een spanningsveld. Als machines langer met hetzelfde product bezig zijn, moeten andere producten voor een langere periode uit voorraad worden geleverd, waardoor hogere voorraden nodig zijn, wat dan weer hogere kosten met zich meebrengt.

Als beide productiestrategieën worden toegepast binnen één productiesysteem, spreken we van *hybride productie*. Omdat echter de manier van plannen van beide productiestrategieën zo verschillend is, ligt het niet voor de hand hoe de productie in een hybride productiesysteem georganiseerd moet worden. In dit proefschrift onderzoeken we dit.

Ook anderen hebben zich verdiept in de vraag hoe hybride productie het best gepland zou kunnen worden. Carr & Duenyas (2000) en Iravani et al. (2012) definiëren abstracte modellen en leiden hieruit structurele inzichten af door middel van 'Markov Decision Processes'. Soman et al. (2004, 2006, 2007) verdiepen zich in de toepassing van hybride productie in de voedselindustrie. Na een uitgebreide literatuurstudie (Soman et al., 2004) onderzoeken ze de prestaties van verschillende planningsmethoden voor voorraadproductie als deze worden uitgebreid naar hybride productie (Soman et al., 2006). De auteurs vervolgen hun onderzoek met een praktijkstudie waarin ze een uitgebreide planningsmethode voorstellen (Soman et al., 2007). Chang et al. (2003) en Wu et al. (2008) ontwikkelen beide een uitgebreide planningsprocedure voor de hybride productie van halfgeleiders. Schönsleben (2011) stelt een geavanceerde planningsmethodiek voor, voor hybride productie in productiesystemen met veel werkstations en veel variatie (Engels: 'job shops'). De methodiek is gebaseerd op de planning van productie op bestelling. Het plannen van de productie op voorraad wordt hiermee geïntegreerd door fictieve deadlines vast te stellen.

Ondanks deze en andere bijdragen is de hoeveelheid onderzoek op het gebied van de planning van hybride productie nog beperkt. Bovendien wordt in eerder onderzoek, en ook in de praktijk, vaak één van de productiestrategieën als basis gebruikt. Dit proefschrift richt zich op planningsmethoden waarin recht wordt gedaan aan de cruciale verschillen tussen de beide productiemethoden.

Het proefschrift bestaat uit een viertal hoofdstukken, elk gebaseerd op een wetenschappelijke publicatie of manuscript onder review.

Hoofdstuk 2

Beemsterboer, B., Land, M., & Teunter, R. (2016). Hybrid MTO-MTS production planning: An explorative study. *European Journal of Operational Research*, 248, 453-461.

Hoofdstuk 3

Beemsterboer, B., Land, M., & Teunter, R. (2016). Flexible lot sizing in hybrid make-to-order/make-to-stock production planning. *Paper under review*.

Hoofdstuk 4

Beemsterboer, B., Land, M., & Teunter, R. (2016). Integrating make-to-order and make-to-stock in job shop control. *Paper under review*.

Hoofdstuk 5

Beemsterboer, B., Teunter, R., & Riezebos, J. (2016). Two-product Storage-capacitated Inventory Systems: A Technical Note. *International Journal of Production Economics*, 176, 92-97.

Hoofdstuk 2: Hybride MTO-MTS-productieplanning: een verkennende studie

Hoofdstuk 2 verkent de potentiële winst van een hybride planningsmethode. We presenteren een abstract model van een hybride productiesysteem. Het model is periodiek en per periode kan er of één MTO- of één MTS-product worden geproduceerd. In het productiesysteem worden het voorraadniveau van het MTS-product en het orderboek van het MTO-product bijgehouden. Het orderboek bevat, naast het aantal orders, ook het gegeven hoe lang deze nog te gaan hebben tot ze geleverd moeten worden. Met deze eigenschap, die we beschouwen als een cruciaal aspect van MTO-productie, wijkt het model af van de modellen

gepresenteerd door Carr & Duenyas (2000) en Iravani et al. (2012).

Ondanks deze uitbreiding is het model zeer eenvoudig gehouden, wat het mogelijk maakt om het te analyseren door middel van een Markov Decision Process. Deze berekent voor elke mogelijke staat, ofwel voor elke mogelijke combinatie van voorraadniveau en orderboek, welk van de twee producttypen de optimale keuze is om te gaan produceren. De uitkomst van model bevestigt de resultaten van Carr & Duenyas en Iravani et al. dat de keuze sneller op het produceren van het MTS-product zal vallen als het voorraadniveau lager is, en sneller op het andere product als het voorraadniveau hoger is. Met andere woorden, de optimale keuze ‘switcht’ bij een bepaald voorraadniveau. Het niveau waarop deze switch plaatsvindt hangt echter af van het orderboek. Hoe meer orders in het systeem en/of hoe minder tijd er resteert om deze te produceren, hoe lager het voorraadniveau waarop de optimale keuze switcht van MTS naar MTO, zoals verwacht.

Anders dan veel van de in eerder onderzoek voorgestelde productiemethoden, heeft deze methode geen perspectief van en/of vooraf bepaalde voorkeur voor één van de beide producttypen. Om de potentiële winst van een dergelijke planmethode te verkennen, hebben we een kostenvergelijking gemaakt tussen de optimale keuzes van het Markov Decision Process en twee referentiemethoden, één met een voorkeur voor MTO en één die, vanuit het perspectief van MTS, een vast voorraadniveau hanteert waarop de keuze switcht van MTS naar MTO. We hebben deze drie methoden vergeleken voor uiteenlopende waarden van de totale vraag, variërend van 60% tot 100% van de productiecapaciteit, en variërende waarden van de vraagverhouding tussen MTO en MTS. Uit de resultaten blijkt dat de kostenbesparing varieert van enkele procenten tot maar liefst 25%. De besparing is met name hoog als de productiecapaciteit maar net voldoende is om aan alle vraag te voldoen en als beide producttypen in ongeveer gelijke mate in deze vraag zijn vertegenwoordigd.

Hoofdstuk 3: Flexibele seriegroottes in hybride make-to-order/make-to-stock productieplanning

Hoofdstuk 3 vormt een vervolg op het onderzoek van Hoofdstuk 2. Eén van de cruciale verschillen tussen MTO en MTS is het al dan niet kunnen kiezen van de seriegrootte, ofwel hoeveel producten er tegelijk worden geproduceerd. Als de machines tussen verschillende producten moeten worden omgesteld, dan kan het

efficiënt zijn om veel MTS-producten achter elkaar te produceren. Dit kan echter tot conflicten leiden als op hetzelfde productiesysteem ook MTO-producten worden geproduceerd, die niet uit voorraad kunnen worden geleverd en die bovendien voor een strikte deadline moeten worden geleverd. De keuze voor de seriegrootte is daarom specifiek relevant voor hybride productie. In dit hoofdstuk onderzoeken we de voordelen van het flexibel houden van deze seriegrootte. Hiervoor breiden we het model uit Hoofdstuk 2 uit.

We nemen aan dat zodra het productiesysteem switcht naar een ander product, er één periode nodig is om het systeem om te stellen. Als het systeem echter bij hetzelfde product blijft is er geen omstelling nodig. MTS-producten worden vooraf gemaakt en zijn gestandaardiseerd, dus het voortzetten van MTS-productie vereist geen nieuwe omstelling. Daarentegen zijn MTO-producten aangepast aan de keuzes van een klant en zijn dus allemaal uniek, dus bij MTO is voor elk product een aparte omstelling nodig.

We stellen een planmethode voor waarin per periode wordt besloten welk product wordt geproduceerd. Dat houdt in dat er niet vooraf een seriegrootte hoeft te worden ingesteld bij het produceren van MTS. We maken een kostenvergelijking met een tweetal andere referentiemethoden waarin de seriegrootte vaststaat op het moment van het starten van de serie. Eén van deze methoden maakt gebruik van een seriegrootte die mag afhangen van de staat van het systeem; de andere methode maakt gebruik van een volledig vaste seriegrootte. Uit de vergelijking blijkt dat het flexibel houden van de seriegrootte tot 23% van de kosten kan besparen. De besparing is met name relatief groot in situaties met een matige totale vraag, met daarbinnen een hoog aandeel van MTS.

Hoofdstuk 4: Integreren van make-to-order en make-to-stock in de operationele planning van job shops

Hoofdstuk 4 kijkt naar de integratie van de operationele planning van MTO en MTS in job shops. Job shops zijn productiesystemen met een hoge variëteit aan werkstations en producten. Job shops worden gewoonlijk gedomineerd door MTO-producten en bestaande planningsmethoden zijn om die reden vaak gericht op het behalen van leveringsdeadlines. Een veelgebruikte operationele planningsmethode is het voor orders vaststellen van 'werkstationsdeadlines'. Dit zijn tussentijdse deadlines bij elk werkstation waar de order langs moet. Bij het kiezen van orders uit de wachtrij van een werkstation kan dan, naast uiteraard de

leveringsdeadline, ook met alle toekomstige bewerkingen van de order en de eventuele wachttijd rekening worden gehouden.

We stellen vier methoden voor om MTS te integreren in deze planningsmethode. We vergelijken deze integratiemethoden door middel van simulatie. We nemen daarbij aan dat er voor MTS een vaste voorraadpositie wordt gehanteerd, zodat elk product dat wordt geleverd een 'aanvullingsorder' van één product genereert. We nemen verder aan de vraag naar een MTS-product verloren is als er niet uit voorraad kan worden geleverd. We vergelijken aan de hand van leverbetrouwbaarheid. Voor MTO is dit het deel van de vraag dat op tijd wordt geleverd. Voor MTS is dit het deel van de vraag dat uit voorraad wordt geleverd.

Een voor de hand liggende manier om MTS te integreren is het vaststellen van *vaste MTS deadlines* (methode 1) bij het moment van 'bestellen' van het MTS-aanvullingsorder. De methode berekent de werkstationsdeadlines vervolgens op dezelfde manier als voor MTO-orders. Omdat deze deadlines van de MTS-aanvullingsorders fictief zijn, zou je deze ook op elk gewenst moment kunnen herberekenen. Door dit telkens bij het kiezen van een order uit de wachtrij van een werkstation te doen krijgen we *dynamische MTS deadlines* (methode 2). De methode baseert de leveringsdeadline op de verwachte tijd die het zal duren voordat het MTS-product gevraagd zal worden, hierbij rekening houdend met het actuele voorraadniveau en de andere MTS-aanvullingsorders die op de werkvloer liggen en eerder klaar zullen zijn. Een variant op deze methode berekent werkstationsdeadlines gebaseerd op de *dynamische MTS tijd per resterend werkstation* (methode 3). Tenslotte stellen we een methode voor vanuit het perspectief van MTO, door MTS slechts te selecteren bij een werkstation als alle MTO-orders in de wachtrij voldoende tijd te gaan hebben tot hun werkstationsdeadline. Dit wordt bereikt door aan MTS *rollende MTS werkstationsdeadlines* (methode 4) toe te kennen. Ter vergelijking gebruiken we hiernaast twee referentiemethoden die altijd voorrang geven aan respectievelijk MTO en MTS.

Om een vergelijking te kunnen maken op grond van leverbetrouwbaarheid dienen we rekening te houden met de leverbetrouwbaarheid van zowel MTO als MTS. Deze zijn echter verschillend van aard en bovendien ligt er een trade-off aan ten grondslag: het zal altijd mogelijk zijn om een hogere leverbetrouwbaarheid van MTO te bereiken ten koste van die van MTS en vice versa, behalve in extreme gevallen. Om deze reden vergelijken we de beide vormen van leverbetrouwbaarheid simultaan. We maken voor elke integratiemethode een tweedimensionale weergave met 'prestatielijnen', waarbij een punt op de lijn een combinatie van

leverbetrouwbaarheid van MTO en MTS vertegenwoordigt. We kunnen vervolgens de methoden onderling vergelijken op basis van deze prestatielijnen.

We vergelijken de methoden voor gevarieerde waarden van de MTS-voorraadpositie, de MTO-deadlines, de belasting van het systeem en de vraagverhouding tussen MTO en MTS. Uit de analyse blijkt dat, hoewel de prestaties logischerwijs verschillen per situatie, de prestatieverhoudingen tussen de methoden goed met elkaar overeenkomen in de verschillende situaties. De beste leverbetrouwbaarheid wordt behaald door de beide dynamische methoden (2 en 3). Deze presteren over de hele linie goed, waarbij het geringe verschil tussen de twee in het voordeel van dynamische MTS tijd per resterend werkstation uitvalt. De laagste leverbetrouwbaarheid wordt behaald met het hanteren van een vaste MTS-leveringsdeadline (methode 1). Methode 4, rollende MTS werkstationsdeadlines, presteert goed als we de methode richten op de leverbetrouwbaarheid van MTO. De prestaties zijn in dat geval vergelijkbaar met die van de beide dynamische methoden. De methode blijkt echter nauwelijks in staat om de leverbetrouwbaarheid van MTS omlaag te brengen als daar op wordt gefocust.

Het meest opvallend is de winst die kan worden behaald ten opzichte van de in de praktijk en literatuur populaire methode van het altijd voorrang geven aan MTO. Uiteraard presteren de integratiemethoden niet beter ten aanzien van de MTO-leverbetrouwbaarheid, maar uit de resultaten blijkt dat methoden 2 en 3 door slim te plannen tot 60% minder verloren MTS-orders bereiken, terwijl de leverbetrouwbaarheid van MTO vrijwel perfect blijft.

Om het verschil in prestaties te kunnen verklaren, hebben we het gedrag van methode 1 en methode 3 door de tijd heen bestudeerd. We vergelijken situaties waarin ze vergelijkbaar presteren op het aantal MTS-producten dat wordt geleverd. De MTO-leverbetrouwbaarheid van methode 3 blijkt veel beter te zijn dan die van methode 1. Uit nadere analyse blijkt dat dit te maken heeft met beslissingen in drukke periodes. De dynamische methode legt in drukke periodes net genoeg MTS-producten op voorraad om een goede leverbetrouwbaarheid te behalen, zodat de capaciteit snel weer kan worden aangewend om MTO te produceren. De methode met vaste deadlines, die geen actuele informatie van het voorraadniveau meeweegt bij prioriteitskeuzes op de werkvloer, laat zo nu en dan de voorraad voor langere tijd leeg. Op andere momenten legt de methode onnodig veel MTS op voorraad, zelfs als er daardoor voortdurend MTO-orders te laat geleverd worden. De dynamische methode is dus beter dan de vaste methode in staat om 'in te spelen' op de meest actuele situatie en behaalt daardoor

een betere leverbetrouwbaarheid.

Hoofdstuk 5: Voorraadsystemen met twee producten en een beperkte capaciteit: een technische noot

Hoofdstuk 5 is als het ware de ‘vreemde eend in de bijt’. We behandelen nog steeds het delen van capaciteit tussen verschillende producten, maar in plaats van productiecapaciteit tussen MTO en MTS betreft het hier het verdelen van voorraadcapaciteit.

Net als in Hoofdstukken 2 en 3 bestuderen we een abstracte omgeving met twee producten. We richten ons op het afleiden van optimaal bestelbeleid. We bekijken hierbij situaties waarin de opslagcapaciteit beperkt is, zodanig beperkt dat de voorraadkosten geen rol van betekenis spelen. Het doel is het minimaliseren van de kosten per tijdseenheid. Deze kosten bestaan enkel uit de bestelkosten. Een aspect waarin we afwijken van gebruikelijke methoden is het kunnen variëren van de bestelde hoeveelheden.

We analyseren eerst ‘simpele cyclussen’, waarin de bestelhoeveelheid van één van de twee producten constant wordt gehouden. We tonen voor deze situatie aan dat in een optimaal bestelbeleid met elke bestelling de volledige vrije opslagcapaciteit wordt gevuld en dat er nooit een product wordt bijbesteld als er nog voorraad van is. Deze twee eigenschappen stellen ons in staat om het volledige bestelbeleid, bestaande uit bestelmomenten en hoeveelheden, analytisch af te leiden als gekozen is welk product een vaste bestelgrootte heeft en hoeveel bestellingen er van het andere product plaatsvinden per cyclus. Deze twee resterende keuzes kunnen eenvoudig numeriek worden geoptimaliseerd. Met het resultaat geven we een tweedimensionale weergave van deze optimale bestelkeuzes, afhankelijk van respectievelijk de vraag- en bestelkostenverhouding tussen de producten. We vergelijken de methode met enkele bestaande methoden en laten zien dat die tot 33% hogere kosten kunnen leiden. Tenslotte staan we kort stil bij ‘algemene cyclussen’, waarin de beperking dat één van de producten een vaste bestelgrootte heeft wordt losgelaten. We laten zien dat het kostenverschil tussen simpele en algemene cyclussen beperkt is.

Conclusie

Make-to-order en make-to-stock zijn verschillende manieren om om te gaan met een onzekere vraag. Het toepassen van beide methoden binnen één productiesysteem staat bekend als hybride productie. Omdat echter de wijzen van plannen van MTO en MTS veel van elkaar verschillen, ligt het niet voor de hand hoe een hybride productiesysteem gepland moet worden.

Uit dit onderzoek is gebleken dat van groot belang is om rekening te houden met de verschillen tussen MTO en MTS. Voor MTO gelden strikte deadlines, en door rekening te houden met de resterende tijd tot een deadlines kunnen situaties met urgente van minder urgente orders worden onderscheiden. In deze laatste situatie kan MTS worden geproduceerd om lege voorraden te voorkomen. Tegelijkertijd dient de prioriteit van MTS te worden bepaald op grond van actuele voorraadniveaus. Kortom, beslissingen moeten worden genomen op grond van de actuele staat van beide productietypen. Als machines in een productiesysteem dienen te worden omgesteld tussen verschillende producten, is het van belang om regelmatig te monitoren hoe lang een MTS-productieserie wordt voortgezet. Als de MTS-voorraad minder snel leeg raakt en/of er worden meer MTO-producten besteld dan voorzien, dient sneller te worden geswitcht naar MTO, en andersom. Ook als we kijken naar hybride job shops pleiten de verschillen tussen de twee productiesystemen voor een hybride planningsaanpak. Zolang een MTS-aanvullingsorder in productie is, komt er meer informatie beschikbaar over de vraag tijdens de productie en daarmee over de tijd waarop de order nodig zal zijn. Het voortdurend overeenkomstig aanpassen van de fictieve MTS-leveringsdeadline kan leiden tot grote verbeteringen van de leverbetrouwbaarheid. Het daaraan verbonden belang van variatie in de MTS batchgrootte zien we ook terug als we niet productiecapaciteit maar voorraadcapaciteit moeten verdelen over producten.

Alles overziend concluderen we dat het rekening houden met karakteristieke verschillen tussen MTO en MTS cruciaal is bij het organiseren van de planning van hybride productiesystemen.

