



**UHASSELT**

KNOWLEDGE IN ACTION

## Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master in de handelswetenschappen

### **Masterthesis**

**Productvariëteit en productiecomplexiteit: beheersingsstrategieën en praktische toepassingen**

#### **Jarne Smets**

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de handelswetenschappen, afstudeerrichting supply chain management

#### **PROMOTOR :**

Prof. dr. Inneke VAN NIEUWENHUYSE



**UHASSELT**

KNOWLEDGE IN ACTION

[www.uhasselt.be](http://www.uhasselt.be)  
Universiteit Hasselt  
Campus Hasselt:  
Martelarenlaan 42 | 3500 Hasselt  
Campus Diepenbeek:  
Agoralaan Gebouw D | 3590 Diepenbeek

**2018**  
**2019**



# Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master in de handelswetenschappen

## ***Masterthesis***

***Productvariëteit en productiecomplexiteit: beheersingsstrategieën en praktische toepassingen***

### **Jarne Smets**

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de handelswetenschappen, afstudeerrichting supply chain management

### **PROMOTOR :**

Prof. dr. Inneke VAN NIEUWENHUYSE



# **Productvariëteit en productiecomplexiteit: Beheersingsstrategieën en praktische toepassingen**

Smets Jarne

Handelwetenschappen

Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen, Universiteit Hasselt

Deze masterproef geeft een brede waaier van strategieën die de negatieve invloeden van productvariëteit en productiecomplexiteit verminderen. Een grote variëteit aan eindproducten kan hoge kosten met zich meebrengen binnen het productiegedeelte van een bedrijf. Toch is voor vele bedrijven het aanbieden van een voldoende hoge variëteit aan producten noodzakelijk om klanten aan te trekken. Eerst zullen de verschillende soorten orderstrategieën besproken worden, vervolgens alle product-gerelateerde beheersingsstrategieën. Per onderwerp komen zowel de voor- en nadelen als één of meerdere praktijkvoorbeelden aan bod. Tot slot worden de bevindingen na het algemene literatuuronderzoek geformuleerd en stellen we ons de vraag of er wel een ideale universele beheersingsstrategie bestaat.

*Kernwoorden:* product variety, production complexity, make-to-stock, assemble-to-order, make-to-order, engineer-to-order, spackling, modulariteit, postponement, late configuration, option bundling, component commonality, platform sharing, mutable support structures, mass customization, additive manufacturing, supply chain management.

---

## **1. Inleiding**

Deze masterproef heeft als onderwerp "Productvariëteit en productiecomplexiteit: beheersingsstrategieën en praktische toepassingen". Het doel is een brede classificatie van strategieën te maken die de negatieve invloeden van productvariëteit en productiecomplexiteit verminderen. Het aanbieden van een hoge variëteit aan eindproducten wordt tegenwoordig gezien als een vereiste voor ieder bedrijf, echter brengt dit vaak hoge kosten met zich mee aangezien de productie complexer wordt (Pil, 2004). Klanten krijgen tegenwoordig ook de kans om hun producten naar eigen wensen aan te passen, in dit geval zijn de productvarianten vrijwel oneindig (Stäblein, 2011). De term customization zal dan ook veel opduiken in deze literatuurstudie.

Er zijn reeds veel theoretische concepten ontwikkeld om dit probleem aan te pakken en er worden eveneens veel strategieën in de praktijk toegepast om de productie zo efficiënt mogelijk te laten verlopen (Pil, 2004). Het doel is dat de verschillen tussen de strategieën duidelijk worden weergegeven in deze masterproef.

Een complexe productie maakt het bedrijven en managers niet alleen moeilijk om de kosten te drukken, de klant verwacht eveneens dat de producten tijdig geleverd worden (Xiao, 2016). Bedrijven hebben met andere woorden veel baat bij de juiste productiestrategie. Een efficiënte en geoptimaliseerde supply chain waarbij productie- en voorraadkosten veroorzaakt door productvariëteiten gedrukt worden, is het streefdoel van vele bedrijven (ElMaraghy, 2013). Een

literatuurstudie die een volledige opsomming maakt van efficiënte praktische toepassingen en beheersingsstrategieën om negatieve effecten te reduceren, is dus zeer interessant binnen het supply chain-domein. Onderzoeksvragen die in deze literatuurstudie beantwoord zullen worden zijn:

- Binnen welke sectoren worden bepaalde beheersingsstrategieën ook in de praktijk toegepast?
- Wat zijn de voordelen van het implementeren van bepaalde concepten/strategieën?
- Zijn er reeds nieuwe concepten/technologieën ontwikkeld die in de toekomst toegepast zullen worden?
- Wat zijn mogelijke obstakels en nadelen bij het implementeren van theoretische concepten in de praktijk?

Deze literatuurstudie bundelt dus de bestaande literatuur over beheersingsstrategieën in één overzicht. Het geeft de lezer een duidelijk beeld over alle mogelijke methoden die er voor handen zijn en welke voor- en nadelen deze methoden ten opzichte van elkaar hebben.

In sectie 2 van deze masterproef wordt de methodologie besproken. De aanpak bij het verzamelen van wetenschappelijke literatuur wordt hier kort toegelicht. In het volgende onderdeel, sectie 3 van deze masterproef, worden de resultaten van het literatuuronderzoek behandeld. Dit deel kan op zijn beurt worden opgesplitst in orderstrategieën en andere beheersingsstrategieën. De orderstrategieën bepalen voor een groot deel hoe het proces van een bedrijf eruitziet, de verschillende vormen die onderscheiden kunnen worden zijn make-to-stock, assemble-to-order, make-to-order, engineer-to-order en spackling. In het tweede deel van sectie 3 wordt de focus gelegd op de andere beheersingsstrategieën. Deze zijn respectievelijk modularity, postponement, option bundling, component commonality, platform sharing, mutable support structures, mass customization en additive manufacturing. Tenslotte kunnen in sectie 4 de conclusies die gekoppeld worden aan de literatuurstudie worden teruggevonden. In de vijfde en laatste sectie kunnen alle geraadpleegde bronnen geconsulteerd worden.

## 2. Methodologie

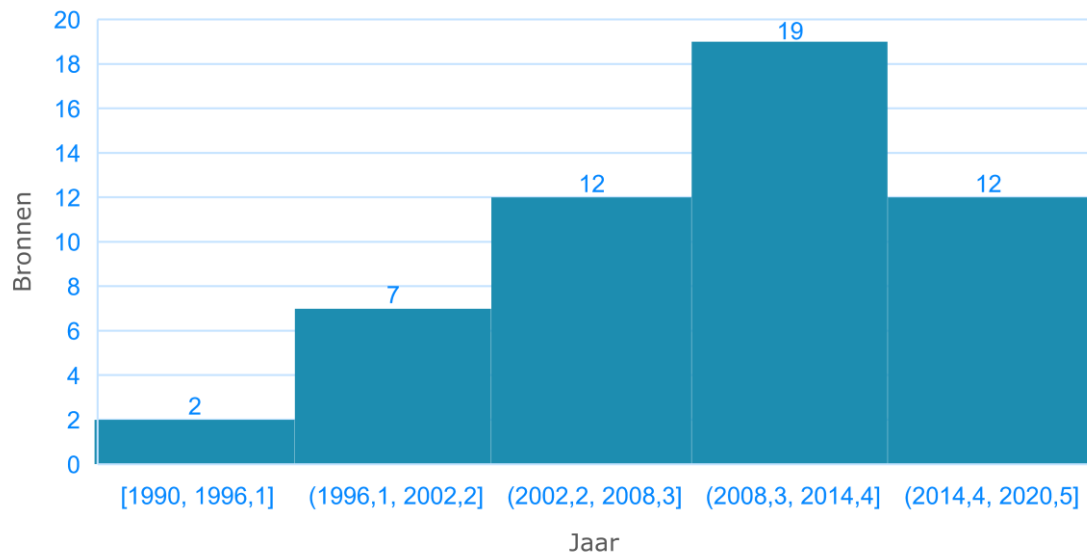
Bij het maken van deze literatuurstudie werden voornamelijk de databanken van de Universiteit Hasselt en Google Scholar gebruikt. In de eerste plaats werd er getracht algemene artikels terug te vinden die oplossingen aanreiken bij een hoge productvariëteit en productiecomplexiteit. Voor de literatuurstudie werd er vertrokken van de artikels van F. K. Pil en M. Holweg (2004) en van ElMaraghy (2013). Deze artikels handelen over product variety management en sluiten bijgevolg nauw aan bij deze studie. In de artikels komen termen als modulariteit, postponement, component commonality, mutable support structures, option bundling en mass customization zeer vaak aan bod. Deze termen werden dan ook als trefwoorden gebruikt bij de zoektocht naar nieuwe literatuur.

Ook zullen product platforms een rol spelen in deze masterproef. Bedrijven gokken bijna nooit op één product maar ontwikkelen vaak hele productfamilies, deze delen vaak dezelfde technologieën en componenten waardoor ondanks de grotere diversiteit in eindproducten er toch kosten bespaard kunnen worden. De termen product platforms, productfamilies en platform sharing zijn zoektermen die dan ook regelmatig gebruikt werden. Een laatste strategie die aan bod komt in het literatuuronderzoek is additive manufacturing, dit is een heel recente strategie waar men de productie tracht te vereenvoudigen met behulp van 3D-printers.

Verder werden ook de verschillende orderstrategieën als zoektermen gebruikt, deze zijn make-to-stock, assemble-to-order, make-to-order en engineer-to-order. Vooral deze laatste drie strategieën zijn belangrijk wanneer men mikt op variëteit en flexibiliteit. De verschillende orderstrategieën en het klantorder-ontkoppelpunt komen reeds in het begin van de literatuurstudie aan bod.

In totaal zijn er in deze literatuurstudie 52 wetenschappelijke artikels verwerkt. Indien mogelijk werd er ook gezocht naar artikels van het laatste decennium, met als doel een zo duidelijk mogelijk beeld te schetsen over de huidige stand van zaken wat betreft beheersingsstrategieën. Enkel bij sommige praktijkvoorbeelden en strategieën die al lang in de omgang zijn, werden er soms bronnen gebruikt rond het jaar 2000. Figuur 1 geeft de gebruikte artikels weer. De jaartallen van publicatie zijn gesorteerd in blokken van 6 jaar.

**Figuur 1. Gepubliceerde artikels per 6 jaar.**



### 3. Resultaten

#### 3.1. Orderstrategieën

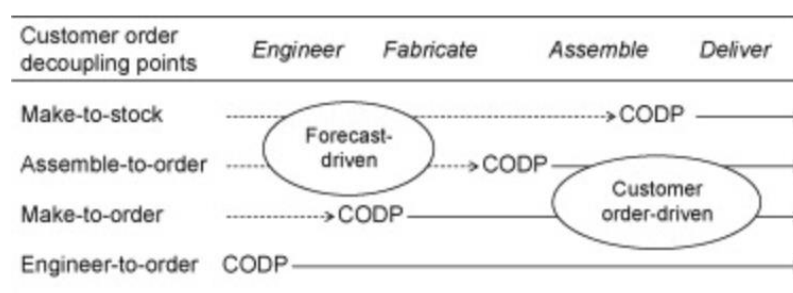
##### 3.1.1. Klantorder-ontkoppelpunt

Er bestaan verschillende orderstrategieën: i.e., strategieën die bepalen wanneer het order van een klant in rekening wordt genomen door het bedrijf. Het moment waarop dit gebeurt wordt het klantorder-ontkoppelpunt genoemd. Vanaf dit punt wordt een product gelinkt aan het order van een bepaalde klant (Rafiei, 2011). De plaats van het klantorder-ontkoppelpunt in de supply chain van een bedrijf zal dus bepalen welke strategie er gehanteerd wordt en hoe de supply chain er grotendeels uitziet. Sommige bedrijven beginnen bijvoorbeeld pas producten te maken nadat er een order geplaatst is, bij andere bedrijven daarentegen liggen alle onderdelen reeds in voorraad en moet het product enkel nog geassembleerd en opgestuurd worden (Olhager, 2003). Het gebruik van een flexibele orderstrategie kan zorgen voor de eliminatie van afval door overproductie en van grote voorraden, bijgevolg kunnen er veel kosten gespaard worden. Ook zorgen de verhoogde reactiesnelheid en marktgevoeligheid door bijvoorbeeld de late plaatsing van het klantorder-ontkoppelpunt niet alleen voor de mogelijkheid tot customization, maar ook voor een hogere winstgevendheid per eenheid (Holweg, 2001).

Er zijn vier belangrijke orderstrategieën die onderscheiden kunnen worden afhankelijk van de plaats van het klantorder-ontkoppelpunt: make-to-stock, assemble-to-order, make-to-order en engineer-to-order (zie Figuur 2). Onder de make-to-stock strategie worden alle producten geproduceerd in anticipatie op de toekomstige vraag (Youssef, 2018). Bij de assemble-to-order strategie worden er meerdere eindproducten gemaakt bestaande uit verschillende componenten. De componenten worden pas geassembleerd nadat het bedrijf de informatie van een bepaald klantorder heeft ontvangen (Atan, 2017). Make-to-order is de tegenovergestelde strategie van make-to-stock, wanneer deze methode gehanteerd wordt door een bedrijf begint het pas met de productie van een goed nadat het een order van de klant heeft ontvangen (Youssef, 2018). Bij de engineer-to-order strategie bevindt het klantorder-ontkoppelpunt zich in de designfase van het product. Bij het order beslist de klant met andere woorden nog over het volledige design van het product dat hij koopt (Gosling, 2009).

Sommige van deze strategieën zijn een goede hulp bij het verwerken van een groot aantal gevarieerde producten (Olhager, 2003). Deze strategieën zullen dan ook beknopt besproken worden in deze literatuurstudie, net als de voordelen of nadelen die ze al dan niet met zich meebrengen en in welke situaties ze het best tot hun recht komen.

**Figuur 2. De verschillende klantorder-ontkoppelpunten (Olhager, 2010).**





Figuur 2 maakt duidelijk dat de 4 orderstrategieën verschillen door de plaatsing van het klantorder-ontkoppelpunt (CODP: customer order decoupling point) in de supply chain (Olhager, 2003). Op dit punt worden de productspecificaties in de meeste gevallen bevroren, maar belangrijker is dat er na het klantorder-ontkoppelpunt geen voorraad meer bijgehouden wordt (Olhager, 2010).

Door het klantorder-ontkoppelpunt kan de productie van een bedrijf opgesplitst worden in twee delen: push en pull (Olhager, 1990). Alle handelingen die het bedrijf stelt alvorens men het order van de klant weet worden aangeduid als "push" handelingen. Het bedrijf anticipeert en produceert onderdelen van een product, of soms zelfs volledige producten, zonder dat men de exacte vraag ernaar weet. Langs de andere kant spreekt men van de pull-benadering wanneer het order van de klant wel in rekening wordt gebracht. De activiteiten die plaatsvinden na het klantorder-ontkoppelpunt, wanneer de orders gelinkt worden aan de producten, worden "pull" handelingen genoemd. Dit is eerder reactief. Na dit punt worden producten gemaakt of aanpassingen doorgevoerd volgens de wens van de klant. Kortom hanteert men dus de push-methode vóór het klantorder-ontkoppelpunt en de pull-methode na dit punt. De 'push/pull-grens' wordt ook wel gebruikt als een andere benaming voor het klantorder-ontkoppelpunt (Olhager, 1990).

Tenslotte zijn er heel wat factoren die de ligging van het klantorder-ontkoppelpunt bepalen; deze factoren kunnen markt-, product- of productiegerelateerd zijn. Deze factoren zijn vaak de uitdagingen die een bedrijf moet trachten te overwinnen om zo goed mogelijk de klantvraag te kunnen beantwoorden. Tabel 1 geeft een overzicht van deze factoren.

**Tabel 1. Invloed op ligging klantorder-ontkoppelpunt (Olhager, 2003).**

Marktgerelateerd	Productgerelateerd	Productiegerelateerd
Levertijd	Modulair productontwerp	Doorlooptijd
Volatiliteit van de vraag	Aanpassingsmogelijkheden	Aantal planningspunten
Volume van de vraag	Complexiteit en structuur	Flexibiliteit productieproces
Productaanbod		Plaats van de bottleneck
Seizoensgebonden vraag		

Ten eerste zullen de marktgerelateerde factoren kort besproken worden. De vereiste levertijd van een product bepaalt hoe ver terug het klantorder-ontkoppelpunt kan worden geplaatst. Een korte vereiste lead time kan het bedrijf doen kiezen voor een make-to-stock strategie en bijgevolg het klantorder-ontkoppelpunt vroeg in rekening brengen (Rafiei, 2011). Ten tweede is er de volatiliteit van de vraag. Bij een sterk schommelende vraag bijvoorbeeld is het beter om de pull-methode te hanteren en een eerder reactieve productie te hebben met als doel voorraadschommelingen te vermijden (Rafiei, 2011). Ook het volume van de vraag is bepalend, zo gebruikt men bij een hoge vraag vaak de push-methode aangezien het moeilijk is om elk product aan een verschillend order te linken. Ten vierde is er het productaanbod, wanneer men namelijk een grote waaier van producten aanbiedt, gebruikt men beter strategieën als assemble-to-order of make-to-order in plaats van make-to-stock. Tenslotte is een seizoensgebonden vraag ook bepalend voor het kiezen van de juiste orderstrategie. Zo kan het zijn dat een bedrijf stock aanlegt om in een drukke periode de klantvraag te kunnen blijven beantwoorden, maar de rest van het jaar een andere productiemethode toepast waar geen stock bij te pas komt (Olhager, 2003).

Ook productgerelateerde factoren kunnen een invloed hebben op de plaats van het klantorder-ontkoppelpunt (Olhager, 2003). Zo is er het modulaire productdesign. Indien deze methode toegepast wordt, gebruikt het bedrijf assemble-to-order als orderstrategie (Tsai, 2014). Modularity zal later in het literatuuronderzoek nog verder besproken worden. Ten tweede bepalen de aanpassingsmogelijkheden van een product waar het klantorder-ontkoppelpunt zal liggen. Indien de klant honderden mogelijkheden heeft om zijn product te personaliseren is het voor het bedrijf nogal moeilijk om bijvoorbeeld de make-to-stock strategie toe te passen (Rafiei, 2011). Het bedrijf zou dan namelijk voor elke mogelijke productvariant een voorraad moeten aanleggen (Olhager, 2003). Tenslotte kan de complexiteit en de structuur van een product ook bepalen voor welke onderdelen er al dan niet een stock moet zijn. Complexe producten met lange doorlooptijden vereisen vaak een voorraad en kunnen dus ook een invloed hebben op de orderstrategie (Olhager, 2003).

Tot slot zijn er enkele productiegerelateerde factoren die de plaats van het klantorder-ontkoppelpunt kunnen bepalen. Zo is er reeds aangehaald dat er beter een voorraad voorzien wordt voor producten die een lange doorlooptijd hebben. Ook kan het aantal planningspunten in een productieproces doorslaggevend zijn voor de implementatie van klantorder-ontkoppelpunten. Planningspunten zijn, kort gezegd, delen van de productie zoals bijvoorbeeld bepaalde werkcellen of afdelingen. Als de productie in veel planningspunten is opgedeeld, kunnen er dus ook veel orderstrategieën voor verschillende onderdelen worden toegepast (Olhager, 2003). Een volgende factor is het hebben van een flexibel productieproces. Dit laat het toe om het order van een klant snel in rekening te brengen. Korte set-up tijden en een snelle doorstroom van producten laten het toe om strategieën als assemble-to-order en make-to-order te gebruiken (Holweg, 2001). Ook de bottleneck in het productieproces kan bepalend zijn bij de juiste implementatie van het klantorder-ontkoppelpunt. Enerzijds is het voordelig om de bottleneck aan de push-zijde van het productieproces te hebben aangezien deze dan niet onderhevig is aan een schommelende vraag. Anderzijds is het ook interessant om de bottleneck aan de pull-zijde van het klantorder-ontkoppelpunt te hebben aangezien deze dan enkel producten moet verwerken die al gelinkt zijn aan een klant (Olhager, 2003; Rafiei, 2011).

### 3.1.2. Make-to-stock

Onder de make-to-stock (MTS) strategie worden alle producten geproduceerd ter anticipatie van de toekomstige vraag, de producent heeft dus nog geen weet van welke orders de klanten zullen plaatsen. De afgewerkte producten worden in voorraad gehouden en bij een order worden deze onmiddellijk aan de klant geleverd (Youssef, 2018). De voor- en nadelen van de make-to-stock strategie kunnen teruggevonden worden in Tabel 2.

**Tabel 2. Voordelen en nadelen make-to-stock.**

Voordelen	Nadelen
Minder gevoelig aan vraagschommelingen	Voorraadkosten
Eenvoudige productieplanning	Inschatten toekomstige vraag
Lage lead time	Ongeschikt voor gevarieerd productaanbod
Schaalvoordelen	
Leereffecten	

De MTS-methode wordt vaak aanzien als efficiënt aangezien schommelingen in de vraag minder snel gevoeld worden door het bedrijf. In tijden met een beperkte vraag gaan meer producten naar de voorraad, maar wanneer de vraag dus stijgt kan deze ook eenvoudiger beantwoord worden door meer producten uit de stock te verkopen. De productie kan dus relatief eenvoudig gepland worden en volgens een vast schema. Nadelig aan MTS is dat er veel voorraadkosten bij komen kijken en bovendien is de toekomstige vraag nog onzeker. Men zal op voorhand nooit exact weten hoeveel producten er geproduceerd dienen te worden. Dit is ook de reden waarom bedrijven de make-to-stock strategie meestal gebruiken voor bulkgoederen, eenvoudige producten met weinig vraagonzekerheid of risico. Het feit dat de afgewerkte producten steeds voorradig zijn, kan er ook een lage lead time aan klanten gegarandeerd worden. Wanneer een bedrijf echter veel gevarieerde producten tracht aan te bieden kiest het beter voor een alternatieve strategie (Youssef, 2018).

Make-to-stock stelt bedrijven wel in staat om te genieten van schaalvoordelen (Günalay, 2010), dit wil zeggen dat de prijs per eenheid van een goed daalt naarmate er meer eenheden worden gevraagd. Bij make-to-stock produceert men toch volgens een vast schema waardoor men efficiënter en sneller kan werken, werknemers raken omzeggens gespecialiseerd in de productie van een bepaald item. Het product kan dus relatief goedkoop worden geproduceerd, zeker naarmate de productiehoeveelheid verhoogt, waardoor men een kostenvoordeel kan verkrijgen ten opzichte van de concurrentie (Cachon, 2002).

Omdat men bij de productie nog niet zeker is van de toekomstige vraag, zal men bij de make-to-stock strategie zich moeten verdiepen in de planning van de voorraad, de grootte van de bestelling en het voorspellen van de vraag (Atan, 2017). Aangezien de make-to-stock strategie minder geschikt is voor een gevarieerde en complexe productie in vergelijking met andere orderstrategieën, zal hier niet dieper op worden ingegaan in dit onderzoek.

### 3.1.3. Assemble-to-order

Bij de assemble-to-order (ATO) strategie worden er meerdere eindproducten gemaakt bestaande uit verschillende componenten. De componenten worden pas geassembleerd nadat het bedrijf de informatie van een bepaald klantorder heeft ontvangen. Bedrijven moeten echter nog steeds zelf inschatten hoeveel onderdelen er op voorhand geproduceerd moeten worden om aan de vraag te kunnen voldoen (Atan, 2017).

**Tabel 3. Voordelen en nadelen assemble-to-order.**

Voordelen	Nadelen
Productvariëteit	Inschatten toekomstige vraag
Daling voorraadkosten	Moeilijke productieplanning
Gebruik van gemeenschappelijke componenten	
Lage lead time	

Dit systeem heeft als grote voordeel dat een bedrijf verschillende soorten producten kan aanbieden die de klant zelf kan samenstellen, zonder dat het een voorraad van eindproducten moet bijhouden (Tabel 3). Enkel de verschillende componenten moeten in stock liggen zodat de

assemblage onmiddellijk kan worden gestart bij het binnenkomen van een order (Atan, 2017). Vaak komen dezelfde componenten ook in verschillende varianten van producten voor, hierdoor kunnen de kosten van een hoge productvariëteit toch nog gedrukt worden. Dit heet component commonality en zal later in deze literatuurstudie verder besproken worden. Een bedrijf dat de assemble-to-order strategie hanteert kan eveneens sneller reageren op een klantorder want alle componenten liggen reeds klaar in stock, enkel de uiteindelijke assemblage is uitgesteld. Vooral wanneer componenten een hoge lead time hebben is het handig dat deze ter anticipatie op de vraag geproduceerd worden, in vergelijking met de make-to-order en engineer-to-order strategieën is dit een groot voordeel (Benjaafar, 2006).

Bij ATO moeten wel nog beslissingen worden gemaakt over de bestellingen van de verschillende onderdelen. Het ene onderdeel zal misschien meer besteld of geproduceerd moeten worden dan het andere omdat het in meerdere eindproducten verwerkt kan zitten. Bovendien kunnen alle onderdelen ook nog eens verschillende lead times hebben. Zeker als de producent van plan is om alle onderdelen in één keer te bestellen moet er sterk rekening worden gehouden met de timing, de hoeveelheid en de synchronisatie van de bestellingen (Atan, 2017).

### 3.1.4. Make-to-order

Make-to-order (MTO) is de tegenovergestelde strategie van make-to-stock, wanneer deze methode gehanteerd wordt door een bedrijf begint het pas met de productie van een goed nadat het een order van de klant heeft ontvangen (Youssef, 2018). Het klantorder-ontkoppelpunt valt dus vroeg in het productieproces en een groot deel van de activiteiten vallen bijgevolg onder de pull-benadering (Su, 2010).

**Tabel 4. Voordelen en nadelen make-to-order.**

Voordelen	Nadelen
Geen voorraadkosten	Hoge lead time
Productvariëteit	Moeilijke productieplanning

Het voordeel van de MTO-strategie is dat er geen voorraadkosten bij te pas komen en dat de producten naar de wensen van de klant aangepast kunnen worden (Tabel 4). Het is voor de producent dus mogelijk om veel verschillende producten aan te bieden. Anderzijds heeft MTO ook nadelen, ten eerste wordt door de vroege plaatsing van het klantorder-ontkoppelpunt de levertijd vergroot aangezien de volledige productie nog moet plaatsvinden nadat een klant zijn bestelling heeft geplaatst. Vandaag zijn klanten echter niet bereid om lang te wachten op de door hun bestelde producten, zelfs niet indien ze deze naar wens hebben aangepast, en is een snelle levertijd de 'order winner' voor vele bedrijven. Deze trend wordt ook wel de 'customization-responsiveness squeeze' genoemd (Su, 2010).

Bijkomende nadelen die MTO met zich meebrengt zijn bijvoorbeeld problemen bij het plannen van de productie, opeenhoping van de vraag in drukkere periodes en de moeilijke inschatting van de leverdatum. Ook bij deze orderstrategie zal men dus goed moeten afwegen of het al dan niet de geschikte methode is voor de productieaanpak, al zijn bedrijven die hun klanten veel vrijheid geven

bij de personalisatie van een product vrijwel verplicht om deze ordermethode te hanteren. Gelukkig hoeven bedrijven zich niet te binden tot het gebruik van slechts één orderstrategie (Günalay, 2010).

Eenzelfde bedrijf kan dus verschillende orderstrategieën toepassen. Zo zal het MTS moeten gebruiken voor standaardproducten waarvan de klant verwacht dat ze snel geleverd worden. Dit zorgt ervoor dat mogelijke wachtrijen vermeden worden. Anderzijds zijn er producten die snel geproduceerd kunnen worden en die het dus toelaten om de MTO-strategie te gebruiken, vaak zijn deze de prioritaire producten van een bedrijf. Het gebeurt overigens zelden dat een bedrijf de extreme keuze maakt om slechts één strategie toe te passen aangezien dit meestal niet optimaal is (Youssef, 2018). De combinatie van bepaalde orderstrategieën komt in sectie 3.1.6 nog aan bod onder de naam 'spackling'.

### 3.1.5. Engineer-to-order

Bij de engineer-to-order (ETO) strategie bevindt het klantorder-ontkoppelpunt zich in de designfase van het product. Bij het order beslist de klant met andere woorden nog over het design van het product dat hij koopt, dit gebeurt vaak bij grote en complexe projecten. Het volledig ontwerpen en opbouwen van een boot of een huis zijn voorbeelden van een engineer-to-order strategie (Gosling, 2009).

**Tabel 5. Voordelen en nadelen engineer-to-order.**

Voordelen	Nadelen
Hoge vraagprijzen	Hoge productiekosten
Productvariëteit	Hoge productiecomplexiteit
Geen voorraadkosten	Hoge lead time
	Moeilijke productieplanning

Aangezien de producten van een bedrijf dat de engineer-to-order strategie gebruikt grotendeels verschillen, kunnen de kosten bij deze methode hoog oplopen (Tabel 5). De supply chain is eveneens vaak complex door de hoge mate waarin klanten aanpassingen kunnen doorvoeren, de complexiteit van de producten en de zware materialen die gebruikt worden. Langs de andere kant kan men wel hoge prijzen aanrekenen aangezien de klant tot in detail kan beslissen over de ontwikkeling van zijn of haar product. Bij ETO is het eveneens moeilijk om op voorhand de kosten en de winsten van een project te bepalen en dus ook welke omzet het bedrijf zal halen. Tenslotte is het vanzelfsprekend dat de lead time van deze producten zeer hoog is. Langs de andere zijde biedt dit als voordeel dat bedrijven meer speelruimte hebben om wat betreft lead time beter te doen dan concurrenten, mits een goede aanpak. Er worden voor ETO dan ook veel inspanningen en onderzoeken gedaan om het proces nog steeds te verbeteren en de supply chain zo 'lean' mogelijk te maken (Strandhagen, 2018).

### 3.1.6. Spackling

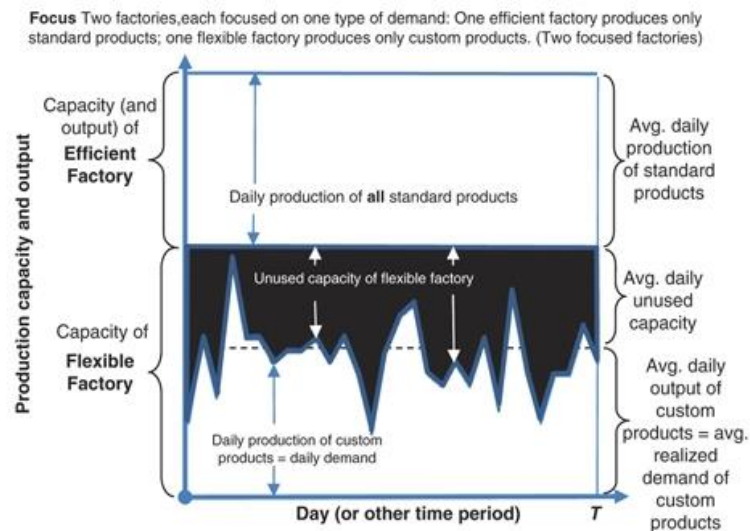
Er bestaat tenslotte ook nog de mogelijkheid om zowel de productie van standaardproducten als de productie van gepersonaliseerde producten te combineren in eenzelfde productieproces, dit wordt in een artikel van K. D. Cattani, E. Dahan en G. M. Schmidt (2010) de spackling strategie genoemd. De focus wordt dus niet op slechts één methode gevestigd binnen een gegeven

productiesysteem. Een bedrijf kan bijvoorbeeld flexibiliteit en effectiviteit combineren door zowel gebruik te maken van een make-to-order als een make-to-stock productiefaciliteit. Spackling is echter een recente ontwikkeling waarbij deze twee ordermethoden binnen eenzelfde productiesysteem worden toegepast (Cattani, 2010; Zhang, 2013). Eerst zullen de voordelen van spackling besproken worden, daarna zullen de focus en de pure-spackling strategie behandeld worden en vervolgens komt de layered-spackling strategie in deze literatuurstudie aan bod.

Spackling heeft als voordeel dat de productiecapaciteit van een bedrijf beter benut wordt. Concreet betekent deze term dat de volatiele vraag naar gepersonaliseerde producten opgevuld wordt met de vraag naar standaardproducten om zo een constante output te verkrijgen. Bij het gebruik van spackling is de flexibele productie van de "customized" producten prioritair, men produceert dus voornamelijk via het make-to-order systeem. De voortdurend schommelende vraag is echter een nadeel bij gepersonaliseerde producten. Men zal in bepaalde periodes veel meer moeten produceren dan in andere, de productiecapaciteit wordt met andere woorden soms niet volledig benut. Wanneer men daarentegen eenvoudige productieschema's kan volgen zoals bij een make-to-stock strategie zou men niet geconfronteerd worden met dit capaciteitsprobleem. Samenvattend tracht spackling het beste van deze twee methoden te combineren. Het bedrijf maakt eerst gebruik van de flexibele productiecapaciteit om alle gepersonaliseerde producten te produceren en gebruikt nadien de overblijvende capaciteit om standaardproducten te produceren op de make-to-stock manier en zo het productieschema op te vullen (spackling) (Cattani, 2010).

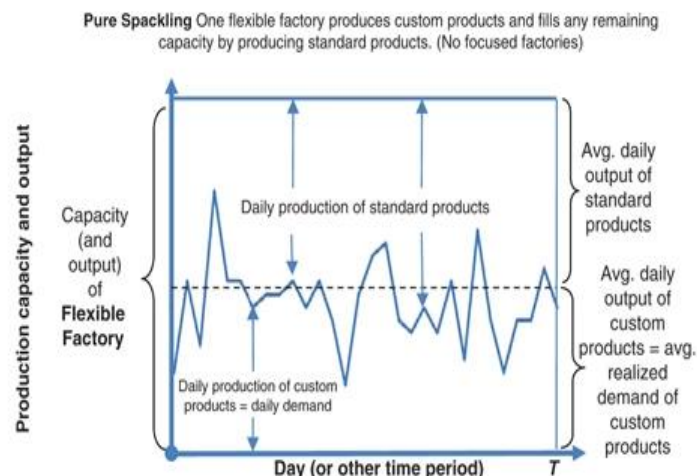
Er zijn bedrijven die in de praktijk een andere invulling hebben kunnen geven aan de spackling-strategie. Spackling is ideaal voor een bedrijf dat verschillende soorten klanten wil aanspreken, ongeacht of de make-to-order productie wordt opgevuld met make-to-stock. Dit kan eenvoudig verduidelijkt worden met een voorbeeld van Dell Computer Inc.; zij focusten zich in het verleden voornamelijk op de productie van customized PC's. Recent produceert Dell echter ook gestandaardiseerde personal computers voor de verkoop in traditionele retail outlets. Dell gebruikt de spackling strategie bovendien niet alleen om de verkoop van aangepaste en gestandaardiseerde producten te combineren. Dell is erin geslaagd om in één lokale en flexibele fabriek tijdsgevoelige orders de eerste prioriteit te geven en vervolgens het productieschema op te vullen (spackling) met minder dringende orders. Dit zijn bijvoorbeeld orders met een lead time van vijf dagen, orders die op een exacte datum in de toekomst geleverd dienen te worden of orders waarbij klanten een korting krijgen indien zij flexibel zijn wat betreft lead time en leverdatum. Door dit model te hanteren gebruikt Dell haar capaciteit zo efficiënt mogelijk terwijl het de verwachtingen van al haar verschillende klantgroepen kan inlossen (Cattani, 2010). De onderstaande passage over de focusstrategie, pure spackling en layered spackling, focust zich in tegenstelling tot het voorbeeld van Dell wel op de traditionele spackling-strategie.

**Figuur 3. De focusstrategie (Cattani, 2010).**



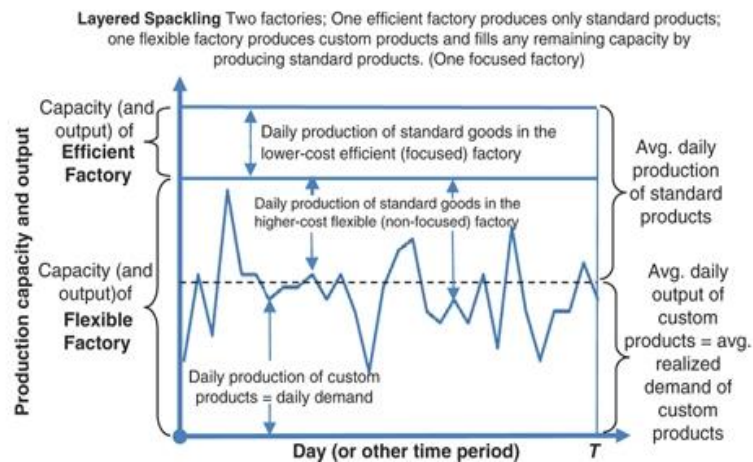
Een focusstrategie (Figuur 3) gebruikt beide ordermethodes op een gespecialiseerde manier. Enerzijds voldoet de flexibele fabriek aan de dagelijkse vraag voor custom producten door gebruik te maken van de make-to-order strategie. Deze fabriek heeft nood aan een voldoende hoge capaciteit om pieken in de vraag ook te kunnen beantwoorden. Anderzijds is er de efficiënte fabriek die standaardproducten produceert via een MTS-proces. MTS heeft, zoals reeds gezegd, als voordeel dat vraagschokken beter opgevangen worden, al riskeert men wel om kosten op te lopen bij een aanbodoverschot of -tekort. Op de grafiek ziet men duidelijk dat er een ongebruikte capaciteit is bij de focusstrategie, wanneer men de vergelijking maakt met spackling is focus dus niet de beste methode (Cattani, 2010).

**Figuur 4. De pure spackling strategie (Cattani, 2010).**



Bij het toepassen van de pure spackling strategie (Figuur 4) gebruikt een bedrijf één fabriek om zowel gepersonaliseerde als standaard- producten te produceren. De focus ligt voornamelijk op flexibiliteit. Zoals reeds gezegd treedt er geen verlies in capaciteit op, alle capaciteit die verloren gaat bij de make-to-order productie wordt opgevuld door de extra productie van standaardproducten via de make-to-stock methode (Cattani, 2010).

**Figuur 5. De layered spackling strategie (Cattani, 2010).**



Bij layered spackling (Figuur 5) wordt er naast een flexibele fabriek die de spackling methode hanteert ook nog additionele fabriek gebruikt die zich enkel focust op de productie van standaardgoederen. Bovenop de pure spackling strategie, wordt er met andere woorden ook nog de make-to-stock strategie toegepast. Zoals reeds gezegd heeft deze orderstrategie als voordeel dat men de productie beter kan plannen en makkelijker orders kan beantwoorden dankzij een voorraad die wordt aangelegd. Kortom ligt de focus van de ene fabriek dus op flexibiliteit terwijl de andere fabriek meer aanzien wordt als een efficiënte fabriek (Cattani, 2010).

Er kan geconcludeerd worden dat zowel pure spackling als layered spackling voordelig zijn ten opzichte van de focusstrategie aangezien de productiecapaciteit optimaal benut wordt. Toch is spackling niet voor elk bedrijf even wenselijk. Om dit te illustreren gebruiken we het voorbeeld van RBKCustom.com. Dit is een website waarin klanten de mogelijkheid krijgen om schoenen van Reebok te personaliseren naar eigen wens. Deze schoenen worden geproduceerd door een team in China dat zich enkel diende te focussen op de personalisatie van deze sneakers, deze faciliteit bevond zich binnen de grotere Reebok fabriek. Ondanks het feit dat dat de productiestappen om de schoenen te produceren gelijkaardig waren aan die van standaard Reeboks, heeft het management toch moeten beslissen om deze faciliteit af te scheiden van de standaardproductie aangezien het vond dat werknemers die aan de gepersonaliseerde items werkten als meer geschoolde en getrainde werknemers behandeld moesten worden. In dit geval kon dus geen gebruik van spackling gemaakt worden aangezien men de beslissing heeft moeten maken om de twee productieprocessen te scheiden. Reebok dient dus de focusstrategie te hanteren en heeft bijgevolg geen optimale benutting van de productiecapaciteit (Cattani, 2010).

### 3.2. Andere beheersingsstrategieën

In dit onderdeel worden de volgende beheersingsstrategieën met hun mogelijke voordelen, nadelen en enkele praktijkvoorbeelden besproken: modulariteit, postponement, option bundling, component commonality, platform sharing, mutable support structures, mass customization en additive manufacturing.



### 3.2.1. Modulariteit

Product modulariteit is het gebruiken van gestandaardiseerde modules zodanig dat deze eenvoudig opnieuw in elkaar kunnen worden gezet, herschikt kunnen worden in verschillende vormen of gedeeld worden over verschillende productielijnen (Zhang, 2019). Een module is een subassemblage die op zijn beurt ook uit meerdere onderdelen bestaat en de prestaties van een groter geheel aanstuurt. Elke module staat in voor de werking van één functie in het grotere geheel (Pil, 2004). Een modulair productontwerp wordt onder andere gekenmerkt door modules die mogelijk ook toepasbaar zijn op andere producten en door functies die dankzij de verschillende modules met elkaar verbonden zijn. Ook de standaardisatie van de interface is een kenmerk, zodat de koppelingen van de verschillende modules met elkaar overeenstemmen waardoor deze eenvoudig aangesloten kunnen worden (Zhang, 2019).

**Tabel 6. Voordelen en nadelen modulariteit.**

Voordelen	Nadelen
Schaalvoordelen	Gevaar voor gebrekkige integratie
Minder complexiteit	Gevaar voor onvoldoende differentiatie
Flexibel wat betreft klantbehoeften	
Meer productvariëteit	
Betere lead time	
Lagere voorraad	
Testen, ontwerpen en herstellen eenvoudiger	

In dit onderdeel zullen alle mogelijke voordelen van modulariteit aan bod komen, deze kunnen teruggevonden in bovenstaande Tabel 6. Ten eerste stelt modulariteit fabrikanten in staat producten te ontwikkelen van subsystemen (modules) die onafhankelijk van elkaar kunnen worden ontworpen. Deze modules kunnen opnieuw worden geïntegreerd in nieuwe producten, wat schaalvoordelen over productlijnen oplevert. Bovendien wordt de hoofdassemblagelijijn vaak minder complex aangezien de complexiteit verschuift naar de subassemblagelijijnen van de modules of naar externe leveranciers. Productvariëteit heeft bij modulariteit bijgevolg weinig impact op het gehele productieproces aangezien deze variëteit minder voelbaar is in de assemblagelijijnen van de afzonderlijke modules (Pil, 2004).

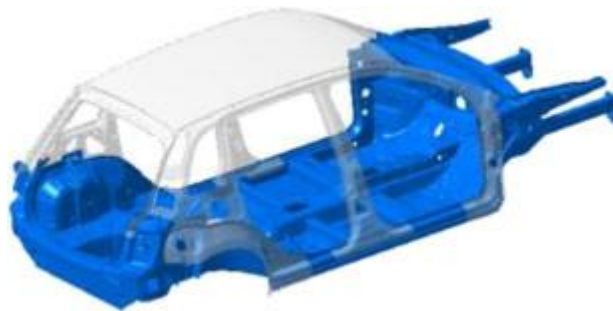
Dankzij product modulariteit kunnen fabrikanten ook omgaan met snel veranderende klantbehoeften en toenemende technische complexiteit in productieprocessen en supply chains. Bedrijven kunnen dus flexibel opereren en snel antwoorden op de klantvraag (Zhang, 2019).

Een ander voordeel van modulariteit is dat bedrijven de productvariëteit kunnen verhogen uit een beperkte reeks van modules. Klanten kunnen namelijk een eindproduct creëren dat volledig naar hun wensen is dankzij de 'mix and match' van modules. Door het beperkte aantal onderdelen wordt ook de lead time van een bestelling ingekort (Gershenson). Het feit dat modules tegelijkertijd geproduceerd kunnen worden, en dus niet opeenvolgend, draagt eveneens bij tot de reductie van de lead time (Pollard, 2016). Ook zullen er minder modules op voorraad blijven liggen wanneer ze in verschillende producten verwerkt zitten (Paralikas, 2011). Tot slot kan het ontwerpen, testen,

hergebruiken of herstellen van een modulaair product eenvoudiger verlopen dankzij de ontkoppeling van de modules (Gershenson, 2003). De nadelen van modulariteit zullen in de casestudy die hierop volgt besproken worden.

De impact van modulariteit zal nu verduidelijkt worden met een casestudy uit een artikel van J. Paralikas (2011). In volgend voorbeeld wordt een modulaair ontwerp in de auto-industrie vergeleken met een traditioneel ontwerp, op het vlak van invloed op het assemblagesysteem, productiesnelheid, investeringskosten (Paralikas, 2011). Voor deze casestudy werd een wagenbodem van een Body-in-White (BiW) geselecteerd. BiW in de automobielinindustrie verwijst naar de plaatwerkcomponenten van een carrosserie die vóór het verven zijn samengevoegd. De wagenbodem is één van de meest kritieke componenten van zo'n BiW (Figuur 6). De assemblagesystemen van zowel de modulaire als de traditionele, integrale wagenbodem zullen nu aan bod komen (Paralikas, 2011).

**Figuur 6. BiW en wagenbodem (Paralikas, 2011).**



De wagenbodem draagt en verbindt vele belangrijke auto-onderdelen, zoals motor, transmissie en ophanging, wat aanzienlijk bijdraagt aan de 'stijfheid' van de auto. Bovendien wordt een integrale wagenbodem (Figuur 7, links) over het algemeen gekenmerkt door een hoge complexiteit: elke verandering aan de bodem zal ook een invloed hebben op omliggende delen die verbonden zijn aan dit onderste deel van de wagen. Meestal vereisen dergelijke veranderingen een nieuwe inspanning van de ontwerpers en productieplanners. Door deze inflexibiliteit zijn er vaak geen alternatieve ontwerpvarianten van een wagenbodem. Bij het ontwerpen van een tweede wagenbodem zou het een te grote inspanning vergen om alle aan te sluiten modules aan deze tweede wagenbodem aan te passen. Met als gevolg dat er meestal slechts één enkele variant wordt geproduceerd door een assemblagelijne. Men kan zich dus de vraag stellen of een modulaair concept niet efficiënter is (Paralikas, 2011).

**Figuur 7. Integrale en modulaire wagenbodem (Paralikas, 2011).**



Een modulaair ontwerp van een wagenbodemplaatje (Figuur 7, rechts) kan bijvoorbeeld bestaan uit 3 grote modules: een vloer-, een voorkant- en een achterkantmodule. Dankzij deze vorm van modulariteit kunnen er verschillende wagenbodemplaatjes worden gecreëerd door de varianten van elke module met elkaar te mixen en vervolgens met andere modules te matchen. Van 2 wagenbodemplaatjes, bestaande uit elk 3 modules, kunnen bijvoorbeeld 8 ( $= 2^3$ ) verschillende varianten worden gecreëerd door deze te combineren. Door het gebruik van verschillende modules kan ook gespeeld worden met de lengte van de wagenbodemplaatje aangezien er nu slechts een deel van de onderkant van de wagen moet aangepast worden. Op deze manier kan bijvoorbeeld dankzij het verwisselen van enkele modules de wagenbodemplaatje van een sedan, een hatchback of een minivan gemaakt worden, in plaats van 3 verschillende en inflexibele wagenbodemplaatjes met bijhorende onderdelen te produceren (Paralikas, 2011).

Het gebruik van modulaire systemen heeft ook enkele nadelen. Uit de case van de wagenbodemplaatjes blijkt namelijk dat deze hogere flexibiliteit kan resulteren in een tragere productie door fluctuaties in de marktvaart. Bijgevolg daalt ook de reactiesnelheid op de vraag. Dit komt omdat één module vaak geïntegreerd is in verschillende automodellen, hierdoor kan een productielijn de klantorders in bepaalde periodes niet volgen. Bijgevolg komen er vertragingen. Het doel van een bedrijf is dus om voldoende productiecapaciteit te voorzien bij het toepassen van een modulariteit als strategie. Traditionele en dus integrale wagenbodemplaatjes daarentegen kunnen eenvoudiger vraagshokken opvangen aangezien er voor elk bodemtype een productielijn is voorzien. Anderzijds is dit minder kostenefficiënt en kunnen er meer producten in voorraad blijven liggen wanneer de vraag voor de verschillende aangeboden automodellen sterk verschilt (Paralikas, 2011).

Er zijn nog enkele negatieve effecten die modulariteit met zich kan meebrengen. Zo kan de nood om modules te ontwerpen bedrijven mogelijk verhinderen om deze te optimaliseren binnen één geheel (Lau, 2010). Een module is met andere woorden niet altijd volledig afgestemd op het product waar het deel van uitmaakt. Een laatste negatief effect van modulariteit is dat het gebruik van standaardmodules kan leiden tot een gebrek aan differentiatie tussen de verschillende eindproducten. Dit is vooral relevant wanneer de verwerkte modules zichtbaar zijn voor de klant (Lau, 2010). De nadelen van product modulariteit kunnen ook teruggevonden worden in Tabel 6.

Een tweede praktijkvoorbeeld over modulariteit is dat van The Goldewijk Case, een constructiebedrijf. Met dit voorbeeld kan worden aangetoond dat modules niet alleen functioneel zijn in een computer- of autosector. De designafdeling van Goldewijk maakt ontwerpen met beperkte variaties en optimale voorwaarden voor het bouwproces, terwijl de klant en een technisch adviseur de afwerkingsmaterialen in de showroom kiezen. Het ontwerp van het huis komt overeen met de conventionele voorkeuren van de klanten. Kopers kunnen kiezen uit verschillende basisvarianten van woningen, die ze met talrijke accessoires verder kunnen verbeteren. De buitenkant en de meeste delen van het interieur zijn vastgesteld, hier kunnen klanten niets aan wijzigen. Het modulaire systeem en de beperkte variatiemogelijkheden maken dat mensen toch een ruim huis met goede materialen kunnen aanschaffen tegen een lage kost. De indeling en afmetingen zijn vast (de buitenkant) en de klant kan alleen kiezen wat betreft stenen, tegels en sanitaire voorzieningen. De ontwerpfdeling heeft ook duurdere ontwerpen van huizen ontwikkeld. Deze ontwerpen worden gekenmerkt door meer variatie en een grotere complexiteit. Modulariteit in de constructiesector heeft als voordeel dat de units, die later ter plekke aan elkaar gekoppeld worden, afzonderlijk gefabriceerd

kunnen worden. De modules waarin het huis wordt opgebouwd zijn nauw met elkaar verbonden. Functies in een huis worden gecombineerd in integrale componenten, met andere woorden heeft elke module geen afzonderlijke watertoevoer of elektriciteit maar alles is nauw met elkaar verbonden. Er zijn overigens geen gestandaardiseerde interfaces: dit wil zeggen dat de koppelingen waar modules mee aan elkaar verbonden worden verschillen. Er kunnen met andere woorden geen modules onderling verwisseld worden waardoor het huis een andere structuur krijgt. Dit heet "slot modularity" (Voordijk, 2006).

### 3.2.2. Postponement / Late configuration

Het doel van postponement of late configuration is om het product zo lang mogelijk zijn neutrale status te laten behouden in het productieproces. Het klantorder-ontkoppelpunt wordt dus uitgesteld en men probeert de push-methode zo lang mogelijk te gebruiken. Ondanks dat het bedrijf veel verschillende producten aanbiedt, blijft een groot deel van de supply chain redelijk eenvoudig dankzij postponement. De productielijn hoeft namelijk maar afgestemd te zijn op één of enkele producten tot het punt waarin aanpassingen in vorm of identiteit wel worden doorgevoerd; ditzelfde geldt voor de voorraden (Pagh, 1998). De voordelen van postponement kunnen in Tabel 7 teruggevonden worden.

**Tabel 7. Voordelen postponement.**

Voordelen
Eenvoudige productie en voorraden
Korte lead time
Risicospreiding
Lagere voorraadkost

Tevens wordt dankzij postponement, ook wel delayed differentiation genoemd, de 'customization-responsiveness squeeze'-trend aangepakt. Deze trend werd reeds besproken in sectie 3.1.4 en komt erop neer dat klanten zowel een snelle levertijd als customized producten verwachten, dit maakt het lastig voor de producent. Door het klantorder-ontkoppelpunt zo lang mogelijk uit te stellen, hoeven er na het order soms nog maar enkele aanpassingen te gebeuren. Hierdoor kan de levertijd drastisch ingekort worden (Su, 2010).

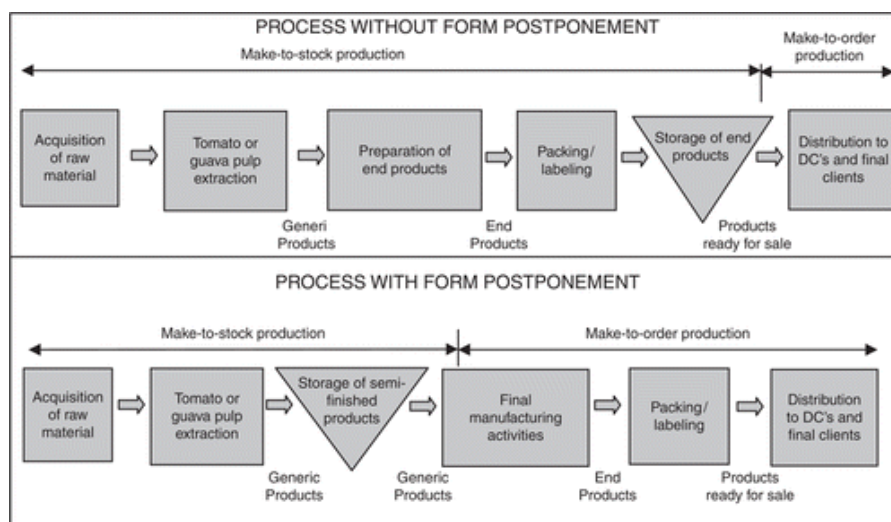
Een bedrijf dat postponement hanteert als beheersingsstrategie doet bovendien aan 'risk pooling'. De producten in de voorraad zijn allemaal identiek aangezien aanpassingen pas na het order aangebracht worden en dus worden de risico's over al deze producten ook gespreid. Zo kan men het risico dat bepaalde producten niet gegeerd zijn en dus in stock blijven liggen vermijden. Het omgekeerde geldt ook: het bedrijf kan niet out of stock raken voor een bepaalde productcategorie aangezien de aanpassingen, die de verschillende producten in het assortiment van elkaar laten verschillen, pas na het klantorder-ontkoppelpunt gebeuren (Su, 2010).

Een praktijkvoorbeeld van een goed toegepaste postponement-strategie is die van Hewlett-Packard (HP) en hun LaserJet printers. HP heeft de beslissing gemaakt om de laatste aanpassingen aan de printers door te voeren in de Europese distributiecentra in plaats van in hun fabrieken in Japan. Dit komt omdat de printers uitgerust worden met een externe stroomvoorziening die verschilt

naargelang het land waar deze printers geleverd worden. In de distributiecentra werden deze printers overigens niet alleen aangepast, ze kochten er ook de materialen die nodig waren voor de differentiatie. Dit resulteerde in een hogere productiekost voor de printers maar deze woog echter niet op tegen de totale kost, er werd namelijk sterk bespaard op voorraad- en verzendkosten in Japan dankzij het toepassen van postponement (Brun, 2009).

Een volgend praktijkvoorbeeld van K. A. Ferreira en R. L. C. Alcantara (2016) geeft enkele resultaten weer na de implementatie van de postponement-strategie bij bedrijven die producten produceren die afgeleid zijn van tomaten. De geanalyseerde bedrijven behoren tot de grootste producenten van tomatenproducten in Brazilië (Ferreira, 2016). Met de implementatie van de postponement strategie was het mogelijk om de beweging van het klantorder-ontkoppelpunt en de toename van de make-to-order activiteiten te verifiëren. Deze verschuiving van het klantorder-ontkoppelpunt kan teruggevonden worden in Figuur 8. Dankzij deze wijziging van het klantorder-ontkoppelpunt konden meer activiteiten volgens klantspecificaties worden uitgevoerd. Zo heeft de toepassing van postponement bij deze tomaat-verwerkende bedrijven een aantal gevolgen gehad. Ten eerste was er de mogelijkheid om een groter aantal customized producten aan te bieden, bijgevolg was er een betere klantenservice. Het gebruik van tomatenpulp en guave in een half afgewerkte staat verschaftte ook grotere productflexibiliteit. Meer specifiek werd de uiteindelijke configuratie van het product volledig uitgevoerd volgens de behoeften van de consumenten. Een andere impact van late configuration is de verhoogde houdbaarheid van het product. Zonder deze strategie zouden de producten die zijn afgeleid van tomaten slechts voor maximaal twee jaar kunnen worden bewaard, maar met postponement kan de onverwerkte pulp maximaal drie jaar worden bewaard en kan het eindproduct daarbovenop nog eens twee jaar worden opgeslagen. Dit resulteert in een maximale productlevenscyclus van meer dan vijf jaar in totaal en dus een hoge flexibiliteit (Ferreira, 2016).

**Figuur 8. De impact van form postponement (Ferreira, 2016).**



Naast de voordelen voor de productieactiviteiten, heeft postponement ook verbeteringen mogelijk gemaakt wat betreft logistiek, voorraadbeheer en magazijnactiviteiten. Dankzij postponement slaagden de bedrijven er namelijk in om de opslagcapaciteit sterk te optimaliseren,

tomatenpulp en guave werden namelijk verpakt in aseptische bakken of zakken. Het volume van de (eind)producten in het magazijn werd dus aanzienlijk verminderd. Bijgevolg is ook het risico van de veroudering van een product op voorraad gedaald, doordat de bedrijven nu volgens de make-to-order strategie werken kunnen er geen eindproducten in voorraad blijven liggen. Ook is uit verschillende KPI's van de bedrijven gebleken dat postponement een impact heeft op de prestaties en kosten. De vlakken waarop al dan niet verbeteringen werden geboekt kunnen teruggevonden worden in Figuur 9. Exacte cijfers zijn er niet (Ferreira, 2016).

**Figuur 9. Postponement performance measures (Ferreira, 2016).**

Type	Measures	Impacts
Cost	Total cost	Reduces
	Transportation cost	Reduces
	Warehousing cost	Reduces
	Labeling cost	Reduces
	Packaging cost	Reduces
	Manufacturing cost	Can increase
	Direct labor cost	Reduces
Asset management	Inventory turns	Increase
	Product obsolescence	Reduces
Customer service	Stock-out rate	Reduces
	On-time delivery rate	Reduces
	Average delay time	Reduces

Uit bovenstaande Figuur 9 blijkt dat de productiekosten kunnen verhogen doordat de productie niet continu is. De totale kosten en vooral kosten zoals transport, opslag, etikettering, verpakking en arbeidskosten worden echter wel verlaagd. De oorzaak hiervan is dat de producten in een half afgewerkte staat in een lager volume kunnen worden opgeslagen en pas na het klantorder hoeven te worden getransporteerd, verpakt of geëtiketteerd. Wat het assetmanagement betreft (Figuur 9), waren er hogere omloopsnelheden in de voorraad en lagere productveroudering als gevolg van de verlengde productlevenscyclus. Wat klantenservice betreft, stelt de postponement-strategie het bedrijf in staat om een breder scala aan producten sneller aan te bieden. Gevolgen waren dat het stock-out percentage en het percentage van tijdige leveringen verlaagden. Voor het eerstgenoemde is dit een positieve evolutie, voor het andere niet (Ferreira, 2016).

### 3.2.3. Option Bundling

Producenten trachten vaak bundels van opties of optiepakketten aan hun klanten te verkopen. Deze strategie heeft als doel dat de aangeboden variëteit van producten daalt. Bij option bundling verkleinen producenten de keuze tot vooraf bepaalde groepen van opties, dit in plaats van elke optie apart aan te bieden (Pil, 2004). In onderstaande Tabel 8 kunnen de voordelen van option bundling worden teruggevonden.

**Tabel 8. Voordelen option bundling.**

Voordelen
Daling productvariëteit
Betere voorspelling klantvraag
Lage kans op verouderde voorraad
Vereenvoudigd distributiesysteem
Marketingvoordeel

Dankzij deze strategie wordt de productvariëteit dus onmiddellijk aangepakt, klanten kunnen namelijk minder verschillende producten creëren. Option bundling heeft vaak weinig impact op de complexiteit van de productie, toch kan het de buffers beperken binnen de fabriek (Pil, 2004).

In de auto-industrie gebruiken producenten optiebundels om de productie beter te kunnen voorspellen, bijgevolg daalt de kans dat producten lange tijd op voorraad blijven liggen. Dankzij deze strategie kunnen bedrijven het gehele distributiesysteem aanzienlijk vereenvoudigen door samenhangende bundels in plaats van alle mogelijke permutaties van opties aan te bieden (Pil, 2004).

Om te verduidelijken dat option bundling de aangeboden variëteit beperkt, nemen we een voorbeeld uit de autosector. Renault vertrouwt op optiebundels voor de Megane Classic, dit in tegenstelling tot zijn marktequivalent, de Ford Focus Saloon. Voor beide modellen wordt één carrosseriestijl aangeboden en 17 fabrieksopties. Renault biedt 5 aandrijflijnen aan, 10 kleuren en 4 uitrustingsniveaus. Renault bundelt deze opties in 18 verschillende aandrijflijn-uitrustingscombinaties. Dit resulteert in een totale keuze van 870 variaties uit een totaal van 26.214.400 mogelijke combinaties voor de klant. Ford daarentegen biedt 8 aandrijflijnen, 12 kleuren en 2 uitrustingsniveaus aan. Klanten kunnen de 17 mogelijke opties in alle mogelijke manieren combineren, dit resulteert in een keuze van 5.898.240 variaties, uit een totaal van 75.497.472 variaties. Kortom leidt de option bundling strategie van Renault tot een veel lagere aangeboden variëteit in vergelijking met Ford. De reden waarom Ford deze strategie niet toepast is omdat de kans dat klanten de auto vinden waarnaar ze op zoek zijn bij Ford veel groter is door het ruimere aanbod. Een tegenargument is wel dat option bundling de klanten helpt een keuze te maken bij een buitensporig aantal keuzemogelijkheden (Pil, 2004).

Er zijn ook enkele marketingvoordelen aan option bundling verbonden. De kans dat een optie wordt gekozen is aanzienlijk groter wanneer deze aangeboden wordt in een optiepakket in vergelijking met wanneer dit niet gebeurt. Een optie als onderdeel van een pakket wordt namelijk als belangrijker ervaren waardoor deze waarschijnlijker wordt gekozen door de klant. Ook kunnen er kortingen gekoppeld worden aan optiepakketten waardoor klanten nog meer geneigd zijn om deze te kopen (Hamilton, 2007).

Tenslotte bestaat er ook de mixed-bundling-strategie waarbij klanten zowel kunnen kiezen voor zowel optiepakketten als voor individuele opties. Fabrikanten kunnen dus de aangeboden productvarianties terugdringen, maar nog steeds een uitgebreid aanbod hebben. Mixed bundling zorgt er tevens voor dat klanten conclusies trekken over het belang van opties. Net zoals bij option

bundling worden onderdelen van een pakket bij mixed bundling als belangrijker ervaren, bijgevolg zijn klanten meer geneigd om deze opties, ook afzonderlijk, aan te schaffen (Hamilton, 2007).

Een praktijkvoorbeeld van option bundling kan gevonden worden bij Tesla. Deze fabrikant van elektrische wagens blijft het aantal unieke kenmerken van zijn elektrische auto's verminderen in een poging de productie te stroomlijnen. Voor de nieuwste update van het Model X geeft Tesla kopers de mogelijkheid om uit 5 interieurbundels te kiezen. Vroeger daarentegen, konden klanten uit 50 verschillende interieurcombinaties kiezen. Nog eerder konden kopers van de Model X zelfs individuele keuzes maken wat betreft zetelkleur, interieurbekleding en de kleur van de hemelbekleding (Newstex, 2016).

Bovendien heeft de fabrikant ook het aantal verkleuren verminderd waaruit klanten kunnen kiezen over hun totale autoassortiment. Ook de 60kWh-batterij, de spiraalveerophanging en de trekhaak werden op het model X geëlimineerd. De option bundling-strategie die Tesla momenteel toepast op het Model X, zou wellicht in de toekomst ook op de andere Tesla-modellen, met name het Model S en Model 3, toegepast worden (Newstex, 2016).

### **3.2.4. Component Commonality**

Een volgende methode om een gevarieerde productie aan te pakken is component commonality. Bij deze methode tracht men zo veel mogelijk gestandaardiseerde onderdelen te gebruiken die op verschillende producten in het aanbod toepasbaar zijn. Aangezien er dankzij component commonality veel minder verschillende componenten geproduceerd worden, is bijgevolg de gehele voorraad minder complex. Het gebruik van veel gestandaardiseerde componenten heeft wel als nadeel dat er geen prijspremie gevraagd kan worden wegens productdifferentiatie. Hier wordt verder op ingegaan met een voorbeeld van Toyota (Heese, 2006).

Toyota had in 2005 de beslissing genomen om het platform van het Camry-model te gebruiken voor de wagens van Lexus. Lexus is de luxedivisie binnen de Toyota-groep en mikt dus op een hoger marktsegment. Klanten kregen, dankzij campagnes van concurrentie die het platform sharing van Toyota en Lexus in een negatief daglicht plaatsten, vervolgens de indruk dat een Lexus slechts een duurder en veredelde Toyota Camry was. De zeer negatieve perceptie van de klanten had als gevolg dat vele mensen onbereid waren om een prijspremie voor deze auto's te betalen (Heese, 2006). Maar het omgekeerde is ook mogelijk. Sommige klanten zijn bereid meer te betalen voor bepaalde producten die gebouwd zijn op eenzelfde platform. Zo heeft de Volkswagen Passat veel voordeel gehad bij zijn uitstekende kwaliteit en impressionante rijstijl, dit was mede te danken aan de onderliggende standaardonderdelen afkomstig van de Audi A4. Ook Audi heeft weinig nadelen ondervonden aan platform sharing, het kent een gestaag groeiend marktaandeel (Heese, 2006). De gelijkaardige producten die gestandaardiseerde onderdelen delen bevatten worden ook wel productfamilies genoemd (Baylis, 2018). De verschillende componenten, maar ook modules, kennis, technologieën, services, enzoverder die gebruikt worden voor deze productfamilies worden platforms genoemd (Heese, 2006) (zie sectie 3.2.5 voor meer informatie over platform sharing).

Bedrijven kunnen zich de vraag stellen of het aangewezen is om de component commonality methode al dan niet toe te passen. De winsten van het besparen op bepaalde componenten moeten



namelijk opwegen tegen de mogelijke negatieve percepties van klanten doordat hun aangekochte product 'minder exclusief' is. Alle voor- en nadelen (Tabel 9) zullen kort worden besproken.

**Tabel 9. Voordelen en nadelen component commonality.**

Voordelen	Nadelen
Minder componenten in productie	Geen prijspremie
Risicospreiding	Lage klantpercepties
Minder tekorten in voorraad	Lagere betrouwbaarheid
Leereffecten	Louter voor gelijkaardige klantsegmenten
	Remanufacturing

Het risico op een uitgeputte stock wordt dankzij component commonality gespreid. Dit komt omdat een groter volume van gemeenschappelijke onderdelen die in verschillende eindproducten verwerkt zitten, beter voorspeld kan worden. In een omgeving met een stochastische vraag kan dit een grote meerwaarde betekenen (Labro, 2004). Ook zal de levenscyclus van een standaardonderdeel langer zijn waardoor er weinig verouderde onderdelen in stock zullen blijven liggen, bijgevolg blijven de voorraadkosten beperkt (Van den Broeke, 2015). Een laatste voordeel is dat bedrijven kunnen genieten van leereffecten door de component commonality strategie toe te passen. Doordat werknemers bepaalde onderdelen frequent maken of installeren, zullen ze na verloop van tijd behendiger worden in hun handelingen. Bijgevolg zal de productie sneller verlopen (Labro, 2004).

Het maken van standaardcomponenten heeft ook nadelen ten opzichte van het maken van onderdelen die specifiek voor één product zijn ontworpen. Een component dat louter ontwikkeld is voor één product zou kunnen resulteren in een hogere betrouwbaarheid aangezien deze beter zal passen in de structuur van het product (Ramdas, 2008). Een tweede nadeel is de voorwaarde dat component commonality het best toegepast wordt bij producten voor gelijkwaardige klantsegmenten en dat de kwaliteit van het gedeelde onderdeel voldoende hoog is. Het is niet de bedoeling dat de waarde van een product daalt door de installatie van een bepaald onderdeel (Heese, 2006). Component commonality kan dus niet zomaar voor een willekeurige productcategorie toegepast worden.

Een laatste nadeel van common components kan opduiken wanneer derden of andere producenten componenten van een bepaalde producent willen imiteren.

Hewlett-Packard (HP) staat bekend voor het hebben van een uitgebreid productgamma, HP realiseert dit door gebruik te maken van gemeenschappelijke onderdelen die toepasbaar zijn op veel HP-producten. Deze producten hebben vaak een universeel ontwerp dat component commonality dus toelaat. Tegelijkertijd hanteert HP echter een contrasterende strategie voor de professionele inkjetprinters (deze inkjetprinters zijn rijk aan functies en aanzienlijk duurder dan de standaard inkjetprinters, waardoor ze aantrekkelijk zijn voor andere bedrijven om de reserveonderdelen voor deze printers te imiteren). Als oplossing gebruikt HP verschillende printkoppen, die ieder op hun beurt andere vaste inktcartridges nodig hebben, voor verschillende modellen. Klanten zien geen meerwaarde in zo'n unieke printkop en dus zou een printkop normaal gezien een geschikte kandidaat zijn om te gebruiken als common component. Door de printkoppen 'common' te maken, zullen de kosten voor het imiteren door revisiebedrijven echter verlagen. Hierdoor zullen toonaangevende

derden beter kunnen concurreren op de markt voor vervangende onderdelen en benodigdheden. Dit is de reden waarom Hewlett-Packard niet in iedere printer categorie het gebruik van gemeenschappelijke onderdelen toestaat. Een andere reden die een verklaring kan geven voor de verschillende soorten printers is in het geval van product recalls. Wanneer er een component die gedeeld wordt tussen veel productfamilies niet naar behoren zou presteren, moeten al deze gemeenschappelijke componenten teruggeroepen worden naar de fabriek. Indien in elke productsoort unieke componenten verwerkt zitten, zullen recalls dus lagere economische gevolgen met zich meebrengen (Subramanian, 2012).

### 3.2.5. Platform Sharing

Product platforms zijn de collectie van middelen (componenten, processen, kennis, ...) die door verschillende producten gedeeld worden (Van den Broeke, 2018). Deze flexibele middelen maken kostenefficiënte productvarianties mogelijk. Productvarianties zijn steeds meer gewenst op markten die worden gekenmerkt door heterogene klanten, hevige concurrentie en snel evoluerende technologie (Van den Broeke, 2018).

Om te beginnen wordt er eerst een onderscheid gemaakt tussen twee verschillende visies op product platforms. De eerste visie verwijst naar een product platform als een fysiek gegeven, meer bepaald een verzameling van elementen die door meerdere producten worden gedeeld. Deze gemeenschappelijke elementen bieden de basis voor de bijkomende onderscheidende elementen die een toegevoegde waarde bieden aan de individuele eindproducten. De andere visie op het productplatform is deze waarbij een productplatform wordt gedefinieerd als een set middelen, waaronder subsystemen en interfaces, die ontwikkeld zijn om een gemeenschappelijke structuur te vormen waaruit verschillende eindproducten kunnen worden geproduceerd. Voorbeelden van de verschillende soorten middelen zijn componenten, processen, technologieën, kennis, maar ook mensen en relaties (Jiao, 2007). In deze literatuurstudie wordt deze tweede visie over product platforms gevolgd, namelijk dat er meer dan louter componenten gedeeld worden binnen een productfamilie. Al vervullen common components wel een grote rol binnen het platform sharing gegeven, dit zal ook bij de praktijkvoorbeelden duidelijk worden.

Het concept van de product platforms kan verduidelijkt worden met een voorbeeld van Volkswagen in de auto-industrie. Door gebruik te maken van platforms met onder andere identieke componenten zoals motoren, ophangingen en versnellingsbakken die op verschillende voertuigen geïnstalleerd kunnen worden, heeft Volkswagen einde jaren '90 al honderden miljoenen dollars kunnen uitsparen (Heese, 2006). Ook platform sharing heeft zowel voor- als nadelen; zie Tabel 10.

**Tabel 10. Voordelen en nadelen platform sharing.**

Voordelen	Nadelen
Productvariatie aan lagere kost	Lagere klantperceptie
Schaalopbrengsten	Louter voor gelijkwaardige klantsegmenten
	Recalls
	Niet geschikt bij veranderende marktvraag

Het grote voordeel van product platforms is dat verschillende soorten producten aangeboden kunnen worden en het bedrijf tegelijkertijd kan genieten van standaardisatie. Bijgevolg kan er aan een lagere kost geproduceerd kan worden. Nieuwe technologieën voor gestandaardiseerde componenten kunnen namelijk relatief goedkoop geïncorporeerd worden aangezien deze op verschillende producten toepasbaar zijn dankzij het platform. Het is echter niet zo dat een bedrijf dat product platforms hanteert geen producten, componenten of processen meer gebruikt die niet afkomstig zijn van platforms. Platforms worden gebruikt voor de onderdelen die onveranderd blijven tussen de verschillende productcategorieën. Andere onderdelen, die meer variabel zijn en behoren tot één productcategorie, zullen niet terug te vinden zijn op de platforms. Een platform voorziet dus kortom een robuuste kern van benodigdheden voor een productfamilie. Om de standaard platformcomponenten en de variabele componenten te koppelen worden vaak goed gedefinieerde interfaces gebruikt zoals modules. Modulariteit en product platforms gaan dus geregeld hand in hand (Magnusson, 2013). Ook een bedrijf dat niet zelf haar onderdelen ontwikkelt, kan genieten van kostenvoordelen. Bij de aankoop van grote hoeveelheden worden vaak hoeveelheidskortingen op de aankoopprijs gegeven. Wanneer een bedrijf dankzij platform sharing meer eenheden van één bepaald soort onderdeel nodig heeft, kan het dus extra genieten van deze hoeveelheidskortingen. Ook de transport- en orderkosten zullen lager liggen (Van den Broeke, 2015).

Een tweede economisch voordeel is dat bedrijven dankzij platform sharing kunnen genieten van schaalopbrengsten. Aangezien bepaalde standaardcomponenten in grote hoeveelheden geproduceerd worden zullen er winsten geboekt worden op vlak van kwaliteit en kosten. Er treden eveneens leereffecten op. Ook op langere termijn kunnen er economische voordelen opduiken door het gebruik van product platforms. Zo kunnen nieuwe producten gebaseerd worden op bestaande designs (Magnusson, 2013).

Toch zijn de gestandaardiseerde onderdelen en middelen op platforms niet voor alle marktpelers een even goede methode. Merken van luxegoederen genieten vaak van de hoogste winsten omdat klanten bereid zijn om meer te betalen voor gedifferentieerde producten. Producten die gebouwd zijn uit verschillende unieke middelen kunnen dus vaak genieten van een hogere interesse. Bijgevolg is door de lagere vraag de winst uit de verkoop van ongedifferentieerde producten soms tegenvallend. De klant ziet platform sharing dus niet altijd als een pluspunt, producten worden er niet exclusiever door (Heese, 2006).

Net zoals bij component commonality, kan gezegd worden dat product platforms best gebruikt worden bij gelijkwaardige klantsegmenten. Wanneer we deze conclusie koppelen aan de voorbeelden uit de auto-industrie zien we dat Volkswagen en Audi componenten gedeeld hebben van een "high-quality" platform waardoor er niet echt een waardevermindering bij de merken optrad. Integendeel, een platform met onderdelen van hoge kwaliteit kan de kwaliteit van beide merken versterken. Dit is iets waar Toyota bij Lexus niet in geslaagd is (zie sectie 3.2.4). Voor de duurdere Lexus werden namelijk basisonderdelen van Toyota gebruikt waardoor deze auto daalde in waarde en de klant zich afvroeg of een prijspremie nog wel verantwoord was voor dit merk (Heese, 2006).

Welke zaken er door een bedrijf op een platform worden gedeeld kan ook een rol van betekenis spelen. Het delen van enkele motoronderdelen is namelijk minder drastisch dan het delen van een gehele motor. Zo kan een bedrijf bijvoorbeeld bepaalde onderdelen goedkoper produceren zonder dat het eindproduct in totale waarde hoeft te dalen (Heese, 2006).

Langs de andere zijde is platform sharing niet geschikt voor ieder bedrijf want deze methode vereist dat verschillende onderdelen van een product stabiel zijn over een bepaalde tijd. Dit kan bepaalde bedrijven verhinderen om snel te reageren op de veranderende marktvraag en de bevoegdheid wegnemen om sterk aangepaste producten te ontwikkelen. Het is niet ongewoon dat een bedrijf voor deze keuze opteert, soms wegen de hoge verkoopcijfers van customized products op tegen de kostenbesparende aanpak van standaardisering (Magnusson, 2013). Ook moet een bedrijf dat platform sharing toepast een voldoende hoge kwaliteit kunnen garanderen. Product recalls kunnen namelijk best vermeden worden wanneer veel producten beroep doen op eenzelfde platform. De reden hiervoor kan teruggevonden worden in het praktijkvoorbeeld bij component commonality in sectie 3.2.4.

In dit onderdeel zal een praktijkvoorbeeld van een succesvol scale-based product platform besproken worden. Een platform met een op schaal gebaseerde productfamilie, is een platform dat benut wordt door varianten van eenzelfde product met een verschillende schaal. Zo'n platform kan verschillende dimensies kan aannemen en aan een verscheidenheid van marktniches voldoen, afhankelijk van de gewenste grootte. Een andere platform-strategie is deze met module-based productfamilies. Bij deze op modules gebaseerde productfamilies, wordt de waarde van de productfamilie bepaald door het toevoegen, vervangen of verwijderen van één of meer functionele modules (Simpson, 2004). Deze strategie kan geïllustreerd worden met een voorbeeld van Sony, deze elektronicafabrikant bouwde al zijn Walkmans rond belangrijke modules op platforms en kon tegen lage kosten een verscheidenheid aan kwaliteitsproducten produceren, waardoor ze in de jaren tachtig meer dan 250 verschillende modellen in de Verenigde Staten konden introduceren (Sanderson, 1997).

Scale-based product platforms zijn platforms waar gelijkaardige componenten voor producten op worden gedeeld, ze verschillen enkel qua schaal. Het voorbeeld van een scale-based product platform is dat van de universele elektrische motor van Black & Decker. Deze gereedschapsfabrikant ontwikkelde in de jaren zeventig een nieuwe productfamilie van universele motoren voor zijn elektrische gereedschappen, als reactie op een nieuwe veiligheidsregeling, die een dubbele isolatie vereiste voor de motor. Voordien gebruikten ze verschillende motoren in elk van hun 122 gereedschappen, met honderden variaties. Door herontwerp en standaardisatie van de productlijn konden ze al hun elektrische gereedschappen produceren met behulp van slechts één motor-productlijn. De eindproducten varieerden alleen qua lengte en wat betreft de hoeveelheid koper die in de motoren was gewikkeld. Als gevolg hiervan konden alle motoren worden geproduceerd op één enkele machine met een motorlengte variërend van 0,8 inch tot 1,75 inch en een vermogen van 60 tot 650W. Door te letten op standaardisatie en het benutten van scale-based platforms voor deze motoren, zijn bijgevolg de materiaalkosten gedaald. Dit leverde een besparing op van 1,82 miljoen dollar per jaar. Ook de gereedschapskosten daalden met 62%, de verkoop steeg en als gevolg namen de productie volumes toe (Simpson, 2004).

### 3.2.6. Mutable support structures

Een volgende beheersingsstrategie die aan bod komt zijn de mutable support structures. Dit zijn, net zoals common components, onderdelen die door verschillende eindproducten gedeeld worden. Toch zijn er een paar verschillen tussen deze strategieën. Ten eerste zijn mutable support structures, zoals de naam doet vermoeden, geen gewone componenten, maar componenten die ontworpen zijn om meerdere productconfiguraties te ondersteunen. Dankzij hun veranderlijkheid (mutability) kunnen op deze ondersteunende componenten verschillende soorten opties worden aangebracht, dit maakt het mogelijk om een grote variëteit aan producten te creëren. Voorbeelden van mutable support structures in de auto-industrie zijn gestandaardiseerde kabelbomen en Bodies in White (BiW) (Pil, 2004). De verschillende voordelen die verbonden zijn aan mutable support structures kunnen in Tabel 11 teruggevonden worden.

**Tabel 11. Voordelen mutable support structures.**

Voordelen
Stimuleert productvariëteit
Schaalvoordelen
Eenvoudigere planning en materiaallogistiek
Look & feel wordt niet aangetast

Fabrieken die ondersteunende onderdelen hebben die daarentegen niet veranderbaar zijn, moeten per eindproduct een unieke versie van deze onderdelen voorzien waarop andere opties bevestigd kunnen worden. De verschillende versies die geproduceerd moeten worden, hebben tot gevolg dat de productiecomplexiteit verhoogt (Pil, 2004). Het gebruik van mutable support structures brengt dus niet alleen schaalvoordelen door de hogere productie van eenzelfde soort component, maar ook een eenvoudigere planning en materiaallogistiek met zich mee. Er moet slechts rekening gehouden worden met één component, die in alle gevallen toepasbaar is (Holweg, 2001).

Een volgend voordeel van mutable support structures is dat de 'look and feel' van een product niet aangetast wordt wanneer deze onderdelen met verschillende andere producten wordt gedeeld. Dit komt omdat, in tegenstelling tot vele andere common components, deze ondersteunende structuren meestal niet zichtbaar zijn voor de eindconsument (Holweg, 2001).

Een praktijkvoorbeeld van mutable support structures kan teruggevonden worden in de auto-industrie. Daar worden kabelbomen gebruikt om de verschillende elektrische componenten aan elkaar te koppelen. De elektrische componenten kunnen echter slechts in bepaalde combinaties aan deze kabelbomen gekoppeld worden. Dit vermindert het vermogen van de producent om exact aan te bieden wat de klant wil (Holweg, 2001). Autofabrikant Volvo daarentegen produceert wel een kabelboom die veranderbaar (mutable) is en die bijgevolg elke mogelijke combinatie van componenten aan kan. Dankzij deze aanpak kunnen consumenten bij de dealer aanpassingen laten doorvoeren in de elektrische opties tot slechts 4 uur alvorens de auto wordt gefabriceerd. Er is dus een hoge graad van customization die bovendien laat in het productieproces plaatsvindt. Hierdoor kunnen hoge distributie- en voorraadkosten (door het hebben van verschillende soorten kabelbomen en sets van elektrische componenten) vermeden worden (Holweg, 2001). Het mogelijk maken van

een flexibele productie met bijgevolg kostenbesparingen dankzij mutable support structures, staat wel tegenover een hogere prijs wat betreft design en materiaal voor zulke componenten (Pil, 2004).

### 3.2.7. Mass Customization

Mass customization is een productiestrategie die gericht is op de uitgebreide voorziening van gepersonaliseerde producten en services, voornamelijk door modulaire productontwerpen, flexibele processen en integratie tussen delen van de supply chain (Fogliatto, 2012). Producten worden geproduceerd om aan individuele klanteisen te voldoen, dit met de efficiëntie van massaproductie en zonder in te boeten op de kwaliteit van het eindproduct of de levering. Desondanks tracht men toch kostenbesparend te zijn (ElMaraghy, 2013). De kosten voor de hoge variëteit aan eindproducten worden met andere woorden gecompenseerd door een kostenefficiënte supply chain. Mass customization kan niet samengevat worden in één duidelijke strategie, er zijn namelijk verschillende praktijken die bijdragen aan het massaal kunnen aanbieden van "customized" producten.

**Tabel 12. Succesfactoren mass customization (Pollard, 2016).**

Succesfactoren
Modulariteit
Flexibel productieproces
Ordermanagementsysteem
Informatiesysteem
Postponement

Tabel 12 geeft een overzicht van de factoren die het succes van mass customization bepalen. Een eerste succesfactor van mass customization is een modulair productontwerp. Dankzij het opbouwen van producten in verschillende modules, kunnen er veel kosten en tijd bespaard worden in het productieproces (Pollard, 2016) (zie sectie 3.2.1 voor meer informatie over modulariteit). Ten tweede dient het productieproces flexibel te zijn om een grote variëteit aan producten te creëren. Een flexibele productie wordt gekenmerkt door enkele factoren: de lead time wordt niet aangetast bij de overschakeling naar het aanbieden van veel verschillende producten, de kosten voor het wijzigen van het systeem zijn beperkt en ook bij een laag aantal bestellingen blijven de kosten beperkt. Vervolgens moet voor mass customization de klantvraag ook goed begrepen worden (Pollard, 2016). Aangezien de individuele orders sterk van elkaar kunnen verschillen, is een goed ordermanagementsysteem cruciaal om de relatie tussen de klant en de fabrikant te verbeteren. Zo'n systeem voorziet bijvoorbeeld klantprofielen in een database, beheert het klantvolume en de bestellingen en kan tot slot de status van elke bestelling bijhouden zodat klanten deze kunnen tracken. Een ordermanagementsysteem verhindert eveneens dat de informatie tussen het bedrijf en zijn klanten niet vertekend worden door mogelijke tussenpersonen. Dankzij het ordersysteem wordt het distributienetwerk korter, de rol van tussenpersonen zoals groothandelaars of retailers wordt verkleind of verdwijnt. Ook kan het distributienetwerk beter gecontroleerd worden. Het implementeren van informatie- en ordermanagementsystemen vereist wel een grote investering (Pollard, 2016). Ten vierde speelt het informatiesysteem ook een belangrijke rol in het behalen van successen bij mass customization. Om snelle lead times en responsiviteit te garanderen moet er een

vloeiende informatiestroom zijn tussen de klanten en de fabrikant en tussen de verschillende afdelingen onderling. Op deze wijze kunnen alle partijen namelijk van de juiste informatie voorzien worden (Pollard, 2016). De laatste factor die het succes van mass customization kan bepalen is postponement (Pollard, 2016) (zie sectie 3.2.2 voor meer informatie over postponement). Het doel van deze strategie is dat het klantorder-ontkoppelpunt zo lang mogelijk wordt uitgesteld in het productieproces. Doordat de voorkeuren van klanten slechts worden meegerekend in de laatste assemblagefasen, zal de mate van customization beperkt blijven (Duray, 2002). Dit laatste is cruciaal voor mass customization aangezien het niet haalbaar is om sterk gepersonaliseerde producten in massa aan te bieden. Daarom is postponement een succesfactor van deze strategie.

**Tabel 13. Voordelen mass customization.**

Voordelen
Klanttevredenheid
Bezuinigingen op voorraadkost
Verhoogde responsiviteit
Grote productvariëteit
Meerprijs

Als een bedrijf beschikt over deze succesfactoren, kunnen er veel voordelen behaald worden door mass customization (Tabel 13). Ten eerste zal door het aanbieden van een groot assortiment de klanttevredenheid toenemen. Bijgevolg zal het klantenaantal en dus ook het marktaandeel stijgen. Een tweede voordeel is dat er op de voorraadkost bezuinigd wordt, door de flexibele productie en de postponement-strategie kunnen afgewerkte producten onmiddellijk naar klanten verzonden worden en blijven ze niet op stock liggen. Dankzij goede order- en informatiesystemen kan ook de responsiviteit verhoogd worden, dit is het derde voordeel van mass customization. Het volgende en eveneens ook grootste voordeel van mass customization is de grote variëteit aan producten die kan worden aangeboden aan een lagere kost. Niet alleen de voorraadkost daalt maar het bedrijf kan ook profiteren van een kleiner risico op een verouderde voorraad. Door modulariteit en postponement zijn er veel gemeenschappelijke componenten die voor verschillende eindproducten geproduceerd worden, de kans dat een onderdeel in voorraad blijft liggen is bijgevolg gedaald (Pollard, 2016). Er kan tot slot ook een economische meerwaarde worden gecreëerd door een lichte meerprijs te vragen voor de variëteit aan aangeboden producten waaruit de klant kan kiezen (Piller, 2004).

Er kan geconcludeerd worden dat mass customization mag worden gezien als een monolithische oplossing. Er zijn met andere woorden verschillende strategieën en factoren nodig die succesvol gecombineerd moeten worden tot één geheel om uiteindelijk van mass customization te kunnen spreken. De productieprocessen bij mass customization zijn namelijk te complex en contextgevoelig om slechts met één soort strategie een flexibel, geïntegreerd en gefocust systeem te genereren. Om mass customization te implementeren, is het kortom noodzakelijk om verschillende productietechnologieën te integreren in een gestructureerd kader (Da Silveira, 2001).

In het volgende praktijkvoorbeeld van K. D. Cattani (2009) over Timbuk2 zal geïllustreerd worden hoe een bedrijf internet gebruikt als onderdeel van een mass customization strategie en welke impact dit heeft op de supply chain.

Timbuk2, een in San Francisco gevestigde producent van bicycle messenger bags of fietsboodschappentassen, heeft een internetsite waarop klanten "mass customized" rugzakken naar eigen wens kunnen samenstellen en bestellen. De bestellingen worden nadien rechtstreeks door Timbuk2 naar de klanten verzonden. Het internetkanaal maakt dus gebruik van de flexibele productiemogelijkheden van Timbuk2 en vult het traditionele winkelkanaal van het bedrijf aan, waar voorgeconfigureerde standaardtassen worden verkocht. Een belangrijk aspect van het supply chain-ontwerp van Timbuk2 voor het leveren van mass-customized producten is het vermogen van de flexibele San Francisco-fabriek om een individuele zak van elke configuratie te produceren en deze binnen enkele dagen af te leveren aan elke Amerikaanse locatie (Cattani, 2009). Cruciaal voor deze mass customization-strategie is echter dat klanten geen oneindige mogelijkheden hebben wat betreft personalisatie. De website van Timbuk2 vermeldt duidelijk dat klanten kunnen kiezen uit verschillende rugzaktypes, kleuren en stoffen, maar dat er buiten deze vooraf bepaalde opties geen extra's kunnen toegevoegd worden.

Dankzij deze keuzemenu's op websites van bedrijven die mass customization hanteren, zijn klanten nu actieve medewerkers bij het creëren van waarde. Net zoals Timbuk2, bieden bedrijven consumenten een keuzemenu met verschillende functies en opties voor het configureren van hun eigen producten en diensten. Het gebruik van deze keuzemenu's heeft ook voordelen met betrekking tot het beoordelen van de voorkeuren van klanten en prijsgevoeligheden voor de verscheidenheid aan opties binnen het keuzepakket. Bedrijven kunnen met andere woorden de klanten beter inschatten en ook gerichte prijs- en optieaanpassingen of kortingen doorvoeren (Liechty, 2001).

Overigens gebruikt Timbuk2 een fabriek in San Francisco om de aan vraag te voldoen voor zowel de "mass customized" tassen die online worden verkocht als de standaard make-to stock-zakken die in de VS werden verkocht in de retail. Timbuk2 hanteert dus ook een soort layered spackling strategie (zie sectie 3.1.6 voor meer informatie over spackling). Terwijl het bedrijf gebruik maakte van deze succesvolle 'clicks and bricks'-strategie (zowel online als offline verkoop) voor het voldoen aan de vraag, heeft het management bovendien overwogen om de supply chain van het bedrijf opnieuw te ontwerpen en een offshore-fabriek toe te voegen om enkele standaardzakken te produceren. Hoewel de offshore-fabriek tegen een lagere kost per eenheid zou produceren dan de huidige faciliteit, zou deze niet in staat zijn om de vraag naar de "mass customized" make-to-order tassen op tijd te beantwoorden (Cattani, 2009).

Volgend praktijkvoorbeeld van D. Pollard, S. Chuo en B. Lee (2016) toont aan dat mass customization niet voor ieder bedrijf uitvoerbaar is. Er zal dieper ingegaan worden op de buitenlandse auto-industrie, waar er nog geen successen zijn geboekt met mass customization.

Grote autofabrikanten zoals BMW, Ford Motor GM in de VS en Toyota in Japan, hebben een aantal jaren geleden veel moeite gedaan om de mass customization strategie door te voeren, maar de goede resultaten die ze tot nu toe hebben behaald, zijn zeer gering en de toekomst is niet helder wat betreft mass customization. Ten eerste is de voorwaartse verticale integratie beperkt in de auto-industrie. Verkoop van auto's via dealers is het belangrijkste distributiekanaal van alle autofabrikanten. Het opzetten van hun eigen dealers is onmogelijk vanwege de enorme vereiste investeringen en het verbod van de meeste VS-staten die fabrikanten niet toestaan auto's rechtstreeks aan klanten te verkopen. De autodealers, hebben overigens een sterke invloed op fabrikanten. Ze verkiezen om grote voorraden aan te bieden zodat consumenten kunnen kiezen uit



een breed assortiment. Dit staat haaks ten opzichte van mass customization. Het is dus moeilijk voor autoconstructeurs om een lage voorraad aan te houden en zich aan te passen aan individuele klanteisen omdat dealers op een heel omgekeerde manier denken dan autofabrikanten. Het kunnen interpreteren van de klantvraag door de autoconstructeurs wordt dus belet door de tussenpersoon, met name de dealers. Dit is een eerste oorzaak van de falende mass customization-strategie (Pollard, 2016).

Ten tweede gaat de informatie van kopers niet rechtstreeks naar de autofabrikanten. Hoewel autofabrikanten websites of andere informatiekanalen kunnen opzetten om hun relatie met klanten te verbeteren, hechten klanten meer waarde aan de kennis van de dealer om hen te helpen beslissen over de opties van de auto's die ze willen kopen (Pollard, 2016).

Het bereiken van de productieflexibiliteit die vereist is voor mass customization vergt ten derde ook veel operationele wijzigingen. Zeker omdat de productie in de auto-industrie nog ver verwijderd is van het mass customization concept. Klanten kunnen vaak tot in het detail de kleur, de motor of het textiel kiezen, vervolgens wordt de auto op een make-to-order wijze geproduceerd. Deze strategie is niet efficiënt genoeg om mass customization te bewerkstelligen. Bij mass customization kan de klant slechts kiezen tussen een vastgelegd aantal specificaties, om de postponement-strategie en een korte lead time te kunnen bewerkstelligen (Pollard, 2016).

### **3.2.8. Additive Manufacturing**

Additive manufacturing is een recente strategie die bedrijven in staat stelt om op een eenvoudige manier een variëteit aan componenten of producten te produceren, via het gebruik van 3D-printing (Durach, 2017). Het gebruiken van additive manufacturing voor het maken van een eindproduct, wordt ook wel rapid manufacturing genoemd (Deradjat, 2017). Wanneer een bedrijf dat additive manufacturing hanteert een nieuw soort product wenst, zou het dus enkel een CAD (computer aided design) voor het product moeten downloaden of ontwerpen om dit vervolgens te laten uitvoeren door een printer (Durach, 2017).

Er zijn reeds veel voordelen ontdekt bij het gebruik van 3D-printers. Toch is het voor onderzoekers eerder onwaarschijnlijk dat additive manufacturing de traditionele productieprocessen op korte of middellange termijn zal vervangen. Het zal eerder fungeren als een complement bij de huidige productieprocessen (Holweg, 2015). De grootste redenen hiervoor zijn de onvoldoende materiaaleigenschappen van 3D-geprinte producten (er kan slechts geprint worden met een beperkt aantal soorten plastic of metaal), de hoge kapitaalinvestering en de hoge onderhoudskosten (Holström, 2010; Mellor, 2014). Deze en andere voor- en nadelen van additive manufacturing kunnen teruggevonden worden in Tabel 14.

**Tabel 14. Voordelen en nadelen additive manufacturing (Holmström, 2010; Mellor, 2014)**

Voordelen	Nadelen
Afwezigheid van gereedschapsvereisten verlaagt productietijd en -kosten.	Hoge kapitaalinvestering.
Kleine productiebatches worden (economisch) haalbaar.	Hoge materiaal- en onderhoudskosten.
Snelle wijzigingen aan het ontwerp zijn mogelijk.	Onvoldoende materiaaleigenschappen.
Bepaalde customized products worden economisch levensvatbaar.	Moeilijkheden met het verwijderen van materiaal.
Afval wordt verminderd.	Hoge proceskosten.
Supply chains kunnen vereenvoudigd worden.	

Van additive manufacturing technologieën wordt dus verwacht dat ze productietijden kunnen reduceren en variabiliteit kunnen stimuleren. Al is het toekomstige succes en de economische impact van additive manufacturing nog grotendeels onbekend (Durach, 2017).

Jarne Smets

Productvariëteit en productiecomplexiteit: Beheersingsstrategieën en praktische toepassingen

**Promotor:** Prof. Dr. Inneke Van Nieuwenhuyse

## 4. Conclusies en inzichten

In deze masterproef werd onderzoek gedaan naar mogelijke strategieën die de complexiteit in de productie, veroorzaakt door de aangeboden productvariëteit, beheersen en/of verminderen. Een belangrijke bevinding is dat deze beheersingsstrategieën in twee grote categorieën onderverdeeld kunnen worden, namelijk procesgerelateerde en productgerelateerde beheersingsstrategieën.

De eerste categorie focust op de aanpassingen die gemaakt kunnen worden in de productie om deze beter af te stemmen op de strategie van het bedrijf in kwestie. De verschillende procesgerelateerde beheersingsstrategieën zijn make-to-stock, assemble-to-order, make-to-order, engineer-to-order, spackling, postponement, mass customization en additive manufacturing. De tweede categorie of productgerelateerde beheersingsstrategieën zijn daarentegen aanpassingen op productniveau, bedoeld om productvariëteit en productiecomplexiteit te verminderen. Er kan een onderscheid gemaakt worden tussen modulariteit, option bundling, component commonality, platform sharing, mutable support structures en mass customization.

Mass customization is zowel als proces- als productgerelateerd aangezien het een combinatie is van verschillende strategieën. Zo worden bijvoorbeeld modularity en postponement gecombineerd voor mass customization.

In het literatuuronderzoek zijn de verschillende voor- en nadelen per proces- en productgerelateerde strategie aan bod gekomen, alsook de situaties waarin elke strategie het best tot zijn recht komt. Hierna zullen de meest geschikte strategieën naar voren geschoven worden per soort doel dat een bedrijf wenst na te streven.

Ten eerste zijn er bedrijven die een lage lead time wensen voor hun klanten. Een eerste strategie die ideaal is voor het garanderen van een lage lead time is make-to-stock. Doordat de eindproducten reeds klaar op voorraad liggen, hoeven deze louter nog worden opgestuurd naar klanten en is bijgevolg de lead time zeer beperkt. Ook assemble-to-order en postponement zijn goede procesgerelateerde strategieën om lange lead times te vermijden. Na een klantorder moeten enkel de componenten nog worden geassembleerd alvorens het product kan worden opgestuurd. Modulariteit is dan weer een geschikte productgerelateerde strategie om lead times te beperken. Het beperkte aantal modules die geïnstalleerd dienen te worden en het feit dat modules tegelijkertijd geproduceerd kunnen worden, en dus niet opeenvolgend, dragen beiden bij tot de reductie van de lead time. Mass customization tenslotte bezit zowel eigenschappen van postponement als modulariteit en is dus eveneens geschikt.

Voor bedrijven die zich eerder focussen op het produceren tegen een lage kost, zijn de volgende en tweede groep van strategieën het meest geschikt. Bij assemble-to-order en postponement kunnen bedrijven voorraadkosten van eindproducten uitsparen door klantorders pas laat in rekening te nemen. Ook option bundling heeft als doel productiekosten omwille van variëteit uit te sparen, door optiebundels aan te bieden worden er minder gedifferentieerde producten besteld. Component commonality en platform sharing zijn dan weer strategieën die voorraad- en ontwikkelingskosten kunnen uitsparen door onder andere veel gemeenschappelijke onderdelen tussen verschillende productcategorieën te delen. Tenslotte heeft mass customization ook als doel om zo veel mogelijk kosten uit te sparen ondanks de hoge beloofde productvariëteit.

Ten derde zijn er bedrijven die vooral een flexibel productieproces wensen. Hieronder wordt verstaan dat het productieproces eenvoudig kan worden omgegooid en dat de drempel om nieuwe producten te ontwikkelen laag is. Make-to-order en engineer-to-order zijn de procesgerelateerde strategieën die hiervoor het meest geschikt zijn. De productie treedt pas in werking bij de registratie van een klantorder, hierdoor kan er eenvoudig worden bijgestuurd. Ook een productgerelateerde strategie zoals modulariteit laat bedrijven toe flexibel te zijn. Een module kan eenvoudig gewijzigd of vervangen worden zonder dat de rest van het productieproces hieraan aangepast hoeft te worden. Mutable support structures zijn eveneens uiterst flexibel, deze componenten zijn namelijk ontworpen om meerdere productconfiguraties te ondersteunen.

Ten vierde zijn er nog ideale strategieën voor bedrijven die een hoge variëteit aan eindproducten wensen aan te bieden. Iedere strategie die in de literatuurstudie aan bod is gekomen houdt rekening met productvariëteit, toch zijn er enkele strategieën die het bedrijven mogelijk maken om net veel verschillende eindproducten aan te kunnen bieden. Assemble-to-order, make-to-order, engineer-to-order en postponement zijn procesgerelateerde strategieën die productvariëteit in de hand werken. Modulariteit, mutable support structures en mass customization zijn dan weer de productgerelateerde strategieën die bedrijven de opportuniteit bieden om veel diverse producten aan te bieden.

Er kan algemeen geconcludeerd worden dat er van alle besproken strategieën geen ideale beheersingsstrategie is die voor ieder bedrijf past. De strategie van een bedrijf moet dus in de weegschaal worden gelegd met het toepassingsgebied, de voordelen en de nadelen van iedere beheersingsmethode alvorens men de juiste methode kan implementeren die productvariëteit stimuleert en de productiecomplexiteit vermindert. Voor het maken van zulke beslissing, kan deze literatuurstudie een nuttige tool zijn.

Jarne Smets

Productvariëteit en productiecomplexiteit: Beheersingsstrategieën en praktische toepassingen

**Promotor:** Prof. Dr. Inneke Van Nieuwenhuyse

## **Dankwoord**

Deze literatuurstudie kwam mede tot stand dankzij de medewerking van prof. dr. Inneke Van Nieuwenhuyse. Hierbij wil ik haar danken voor haar raadgevingen en bereidwilligheid tot het verstrekken van informatie.

Jarne Smets

Productvariëteit en productiecomplexiteit: Beheersingsstrategieën en praktische toepassingen

**Promotor:** Prof. Dr. Inneke Van Nieuwenhuyse

## Bibliografie

- Atan Z., Ahmadi T., Stegehuis C., de Kok T., Adan I. (2017). Assemble-to-order Systems: A Review. *European Journal of Operational Research*, 261 (3), p. 866-879.
- Benjaafar S., ElHafsi M. (2006). Production and Inventory Control of a Single Product Assemble-to-Order System with Multiple Customer Classes. *Management Science*, 52 (12), p. 1896-1912.
- Brun A., Zorzini M. (2009). Evaluation of Product Customization Strategies Through Modularization and Postponement. *International Journal of Production Economics*, 120 (1), p. 205-220.
- Cachon G. P., Harker P. T. (2002). Competition and outsourcing with Scale Economies. *Management Science*, 48 (10), p. 1314-1333.
- Cattani K. D., Dahan E., Schmidt G. M. (2010). Lowest Cost May Not Lower Total Cost: Using "Spackling" to Smooth Mass-Customized Production. *Production and Operations Management*, 19 (5), p. 531-545.
- Cattani K. D., Mabert V. A. (2009). Supply Chain Design: Past, Present, and Future. *Production and Inventory Management Journal*, 45 (2), p. 47-57.
- Da Silveira G., Borenstein D., Fogliatto F. S. (2001). Mass Customization: Literature Review and Research Directions. *International Journal of Production Economics*, 72 (1), p. 1-13.
- Deradjat D., Minshall T. (2017). Implementation of Rapid Manufacturing for Mass Customization. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 28 (1), p. 95-121.
- Durach C. F., Kurpjuweit S., Wagner S. M. (2017). The Impact of Additive Manufacturing on Supply Chains. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 47 (10), p. 954-971.
- Duray R. (2002). Mass Customization Origins: Mass or Custom Manufacturing? *International Journal of Operations & Production Management*, 22 (3), p.314-328.
- ElMaraghy H., Schuh G., ElMaraghy W., Piller F., Schönsleben P., Tseng M., Bernard A. (2013). Product Variety Management. *CIRP Annals*, 62 (2), p. 629-652.
- Ferreira K. A., Alcantara R. L. C. (2016). Postponement Adoption in Manufacturers of Tomato-Derived Products. *British Food Journal*, 118 (2), p. 362 – 378.
- Fogliatto F. S., Da Silveira G. J. C., Borenstein D. (2012). The Mass Customization Decade: An Updated Review of the Literature. *International Journal of Production Economics*, 138 (1), p. 14-25.
- Gershenson J. K., Prasad G. J., Zhang Y. (2003). Product modularity: Definitions and Benefits. *Journal of Engineering Design*, 14 (3), p. 295-313.
- Gosling J., Naim M. M. (2009). Engineer-to-order Supply Chain Management: A Literature Review and Research Agenda. *International Journal of Production Economics*, 122 (2), p. 741-754.
- Günalay Y. (2010). Efficient Management of Production-Inventory System in a Multi-Item Manufacturing Facility: MTS vs. MTO. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 54 (9-12), p. 1179-1186.



- Hamilton R. W., Koukova N. T. (2007). Choosing options for products: the effects of mixed bundling on consumers' inferences and choices. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 36 (3), p. 423-433.
- Heese H.S., Swaminathan J.M. (2006). Product Line Design with Component Commonality and Cost-Reduction Effort. *Manufacturing and Service Operations Management*, 8 (2), p. 206-219.
- Holmström, J., Partanen, J., Tuomi, J. and Walter, M. (2010). Rapid Manufacturing in the Spare Parts Supply Chain: Alternative Approaches to Capacity Deployment. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 21 (6), p. 687-697.
- Holweg, M. (2015). The Limits of 3D Printing. *Harvard Business Review*.
- Holweg M., Pil F. K. (2001). Successful Build-To-Order Strategies Start with the Customer. *MIT Sloan Management Review*, 43 (1), p. 74-83.
- Jiao J., Simpson T. W. (2007). Product Family Design and Platform-Based Product Development: A State-of-the-art Review. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 18 (1), p. 5-29.
- Labro E. (2004). The Cost Effects of Component Commonality: A Literature Review Through a Management-Accounting Lens. *Manufacturing and Service Operations Management*, 6 (4), p. 358-367.
- Lau A. K. W., Yam R. C. M., Tang E. P. Y. (2010). Supply Chain Integration and Product Modularity: An Empirical Study of Product Performance for Selected Hong Kong Manufacturing Industries. *International Journal of Operations & Production Management*, 30 (1), p. 20-56.
- Liechty J., Ramaswamy V., Cohen S. H. (2001). Choice Menus for Mass Customization: An Experimental Approach for Analyzing Customer Demand with an Application to a Web-based Information Service. *JMR, Journal of Marketing Research*, 38 (2), p. 183-196.
- Magnusson M., Pasche M. (2013). A Contingency-Based Approach to the Use of Product Platforms and Modules in New Product Development. *The Journal of Product Innovation Management*, 31 (3), p. 434-450.
- Mellor S. (2014). An Implementation Framework for Additive Manufacturing. University of Exeter.
- Newstex Global Business Blogs (2016). ValueWalk: Tesla Bundles Model X Interior Options to Streamline Production.
- Olhager J. (2003). Strategic Positioning of the Order Penetration Point. *International Journal of Production Economics*, 85 (3), p. 319-329.
- Olhager J. (2010). The role of the customer order decoupling point in production and supply chain management. *Computers in Industry*, 61 (9), p. 863 – 868.
- Olhager J., Östlund B. (1990). An Integrated Push-Pull Manufacturing Strategy. *European Journal of Operational Research*, 45 (2-3), p. 135-142.
- Pagh J. D., Cooper M. (1998). Supply Chain Postponement and Speculation Strategy: How to Choose the Right Strategy. *Journal of Business Logistics*, 19 (2), p. 13-33.
- Paralikas J., Fysikopoulos A., Pandremenos J., Chryssolouris G. (2011). Product Modularity and Assembly Systems: An Automotive Case Study. *CIRP Annals*, 60 (1), p. 165-168.
- Pil F. K., Holweg M. (2004). Linking Product Variety to Order Fulfillment Strategies. *Interfaces*, 34 (5), p. 394-403.

- Piller F. T., Moeslein K., Stotko C. M. (2004). Does Mass Customization pay? An Economic Approach to Evaluate Customer Integration. *Production Planning and Control*, 15 (4), p. 435-444.
- Pollard D., Chuo S., Lee B. (2016). Strategies for Mass Customization. *Journal of Business & Economics Research*, 14 (3), p. 101-110.
- Rafiei H., Rabbani M. (2011). Order Partitioning and Order Penetration Point Location in Hybrid Make-To-Stock/Make-To-Order Production Contexts. *Computers & Industrial Engineering*, 61 (3), p. 550-560.
- Ramdas K., Randall T. (2008). Does Component Sharing Help or Hurt Reliability? An Empirical Study in the Automotive Industry. *Management Science*, 54 (5), p. 922-938.
- Sanderson S., Uzumeri M. (1995). Managing Product Families: The Case of the Sony Walkman. *Research Policy*, 24 (5), p. 761-782.
- Schilling M. A. (2000). Toward a General Modular Systems Theory and its Application to Interfirm Product Modularity. *The Academy of Management Review*, 25 (2), p. 312-334.
- Simpson T. W. (2004). Product platform design and customization: Status and promise. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, 18 (1), p. 3-20.
- Stäblein T., Holweg M., Miemczyk J. (2011). Theoretical versus Actual Product Variety: How Much Customisation Do Customers Really Demand? *International Journal of Operations and Production Management*, 31(3), p. 350-370.
- Strandhagen J. W., Vallandingham L. R., Alfnes E., Strandhagen J. O. (2018). Operationalizing Lean Principles for Lead Time Reduction in Engineer-to-Order (ETO) Operations: A Case Study. *IFAC-PapersOnLine*, 51 (11), p. 128-133.
- Su J. C. P., Chang Y., Ferguson M., Ho J. C. (2010). The Impact of Delayed Differentiation in Make-to-order Environments. *International Journal of Production Research*, 48 (19), p. 5809-5829.
- Subramanian R., Ferguson M. E., Beril Toktay L. (2012). Remanufacturing and the Component Commonality Decision. *Production and Operations Management*, 22 (1), p. 36-53.
- Tsai C. Y., Chen C. J., Lo Y. T. (2014). A Cost-Based Module Mining Method for the Assemble-to-Order Strategy. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 25(6), p. 1377-1392.
- Van den Broeke M., Boute R., Samii B. (2015). Evaluation of Product-Platform Decisions Based on Total Supply Chain Costs. *International Journal of Production Research*, 53 (18), p. 5545-5563.
- Van den Broeke M., Boute R. N., Van Mieghem J. A. (2018). Platform Flexibility Strategies: R&D Investment Versus Production Customization Tradeoff. *European Journal of Operational Research*, 270 (2), p. 475-486.
- Voordijk H., Meijboom B., de Haan J. (2006). Modularity in Supply Chains: A Multiple Case Study in the Construction Industry. *International Journal of Operations & Production Management*, 26 (6), p.600-618.
- Xiao T., Qi X. (2016). A Two-Stage Supply Chain with Demand Sensitive to Price, Delivery Time, and Reliability of Delivery. *Annals of Operations Research*, 241 (1-2), p. 475-496.

Jarne Smets

Productvariëteit en productiecomplexiteit: Beheersingsstrategieën en praktische toepassingen

**Promotor:** Prof. Dr. Inneke Van Nieuwenhuysse

- Youssef K. H., van Delft C., Dallery Y. (2017). Priority Optimization and Make-to-stock / Make-to-order Decision in Multiproduct Manufacturing Systems. *International Transactions in Operational Research*, 25 (4), p. 1199-1219.
- Zhang M., Guo H., Huo B., Zhao X., Huang J. (2019). Linking Supply Chain Quality Integration with Mass Customization and Product Modularity. *International Journal of Production Economics*, 207, p. 227-235.
- Zhang Z. G., Kim I., Springer M., Cai G., Yu Y. (2013). Dynamic Pooling of Make-to-stock and Make-to-order Operations. *International Journal of Production Economics*, 144 (1), p. 44-56.