



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master in de handelswetenschappen

Masterthesis

Hedendaagse productieconcepten: een vergelijkende analyse

Ina Keersmaekers

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

PROMOTOR :

Prof. dr. Kris BRAEKERS



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

www.uhasselt.be
Universiteit Hasselt
Campus Hasselt:
Martelarenlaan 42 | 3500 Hasselt
Campus Diepenbeek:
Agoralaan Gebouw D | 3590 Diepenbeek

2020
2021



Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master in de handelswetenschappen

Masterthesis

Hedendaagse productieconcepten: een vergelijkende analyse

Ina Keersmaekers

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

PROMOTOR :

Prof. dr. Kris BRAEKERS

Deze masterproef werd geschreven tijdens de COVID-19 crisis in 2020. Deze wereldwijde gezondheids crisis heeft mogelijk een impact gehad op het schrijf- en verwerkingsproces, de onderzoekshandelingen en de onderzoeksresultaten die aan de basis liggen van dit werkstuk.

Woord vooraf

Deze masterproef vormt het sluitstuk van mijn opleiding Handelswetenschappen met afstudeerrichting Supply Chain Management aan de Universiteit Hasselt. Door de interesse in productieconcepten wordt het onderwerp "Hedendaagse productieconcepten: een vergelijkende analyse" besproken in mijn masterproef.

Voor de realisatie van deze masterproef wil ik een aantal personen bedanken. Allereerst wil ik graag mijn promotor Prof. Dr. Kris Braekers bedanken voor zijn begeleiding en waardevolle feedback. Daarnaast wil ik mijn ouders bedanken om mijn steun en toeverlaat te zijn en om altijd in mij te geloven. Ik wil hun ook bedanken voor de kansen die ik heb gekregen. Ten slotte wil ik ook nog mijn vriendinnen bedanken om er altijd voor mij te zijn.

*Ina Keersmaekers
Sint-Truiden, 19 januari 2021*

Samenvatting

Deze masterproef heeft als doel een vergelijkende analyse op te stellen tussen hedendaagse productieconcepten. In het eerste hoofdstuk worden verschillende begrippen gedefinieerd zodat deze duidelijk zijn voor de lezer. Traditioneel wordt productie beschouwd als een eenvoudig proces, maar tegenwoordig is dit veel complexer geworden door technologisch geavanceerde producten. Productieprocessen zorgen voor de transformatie van de input naar de output en bestaan uit herhaalbare activiteiten die in een specifieke volgorde worden uitgevoerd. Deze uitgevoerde activiteiten kunnen onderling samenhangen of op elkaar ingewerkt zijn.

Het is duidelijk dat productie een belangrijke rol in de economie heeft. Zo zorgt het onder andere voor goederen, werkgelegenheid, economisch welzijn, blijvende welvaart en rijkdom. Verder leidt productie ook tot hevige concurrentie tussen bedrijven. Hierdoor leggen bedrijven meer en meer de focus op het produceren in optimale omstandigheden door de productieprocessen te verbeteren, de productiekosten te verlagen, de productiviteit te verhogen en de kwaliteit van de producten te verbeteren. Vervolgens worden de centrale onderzoeksvraag en deelvragen opgesteld en beantwoord door middel van een literatuurstudie en een vergelijkende analyse. Er worden vier productieconcepten besproken, namelijk Total Quality Management (TQM), Six Sigma, Lean Productie en Theory of Constraints (TOC). Deze productieconcepten hebben betrekking op de centrale onderzoeksvraag:

"Hoe vergelijken de verschillende bestaande productieconcepten zich ten opzichte van elkaar?"

Na de inleiding bespreekt hoofdstuk 2 de evolutie van productie. Dankzij nieuwe concepten en technologieën is productie geëvolueerd van ambachtelijke productie tot massaproductie en vervolgens van massamaatwerk tot product personalisatie. Verder bespreken de volgende vier hoofdstukken de productieconcepten. Elk hoofdstuk omvat dezelfde structuur. Eerst wordt de oorsprong besproken. Daarnaast wordt de definitie van het productieconcept weergegeven door de theorie, het doel en de toepasbaarheid te bespreken. Verder worden de methodologieën en de tools besproken. Ten slotte komen de behaalde effecten en de kritiek die gegeven wordt aan bod. Aan het einde van elk hoofdstuk geeft een tabel een samenvattend overzicht weer.

In hoofdstuk 3 wordt Total Quality Management (TQM) besproken. Het doel van TQM is het verbeteren van interne en externe klanttevredenheid door minder middelen te gebruiken en door het voortdurend verbeteren van alle functies binnen de organisatie, zoals processen, diensten en producten, waaraan alle werknemers actief deelnemen. Vervolgens bespreekt hoofdstuk 4 de verdere ontwikkeling van TQM, namelijk Six Sigma. Six Sigma heeft als doel het verminderen van variatie op een product of dienst om klanten tevreden te stellen. Ook is het belangrijk om een kwaliteitsniveau van minder dan 3,4 defecten per miljoen kansen te bereiken. Daarnaast wordt Lean Productie in hoofdstuk 5 besproken. Het doel van Lean Productie is het maximaliseren van de klantwaarde door verspilling te elimineren en door producten te produceren aan een hogere kwaliteit, tegen de laagst mogelijke kosten en in de kortst mogelijke tijd. Verder bespreekt hoofdstuk 6 het laatste

productieconcept van deze literatuurstudie, namelijk Theory of Constraints (TOC). Het doel van TOC is het beheren van de beperkingen waardoor een hogere winst behaald kan worden. Ten slotte wordt in hoofdstuk 7 de vergelijkende analyse opgesteld op basis van voorgaande literatuurstudie. Om de eigen waarnemingen van de vergelijkende analyse te bevestigen, aan te vullen of tegen te spreken, worden andere literatuuronderzoeken gebruikt. Ook worden vier combinaties van de productieconcepten besproken, namelijk Lean Six Sigma (LSS), de combinatie van TOC, Six Sigma en Lean Productie, de combinatie van Lean Productie en TOC en de combinatie van Six Sigma en TOC.

Een algemene conclusie uit deze vergelijkende analyse is dat er geen beste productieconcept bestaat om aan bedrijven aan te raden. De keuze van het productieconcept is afhankelijk van verschillende elementen die het bedrijf belangrijk vindt en/of waarde aan hecht, zoals het doel, de betrokkenheid van de werknemers, de moeilijkheidsgraad van de implementatie en de mogelijke effecten.

De productieconcepten hebben in het algemeen andere doelen. Toch komen enkele elementen overeen. Zo hebben TQM, Six Sigma en Lean Productie de klant in hun doel staan en wordt de focus gelegd op het verminderen van verspilling. Bedrijven kunnen ook een productieconcept kiezen op basis van de betrokkenheid van de werknemers. Six Sigma maakt gebruik van een hiërarchie door de verschillende gordels, terwijl TQM, Lean Productie en TOC belang hechten aan het betrekken van de werknemers. Daarnaast kan de moeilijkheidsgraad van de implementatie van het productieconcept ook een invloed hebben op de keuze. Bedrijven moeten rekening houden dat de implementatie van TOC het moeilijkst is, Six Sigma gemiddeld is en Lean Productie het gemakkelijkst is. De moeilijkheidsgraad van TQM werd niet vermeld in de vergelijkende analyse. Ten slotte kan het bedrijf een productieconcept kiezen op basis van de gewenste effecten. De vier productieconcepten hebben zes gemeenschappelijk effecten, namelijk het verbeteren van de winst, de kosten, de klanttevredenheid, de kwaliteit, de productiviteit en de doorlooptijd. Andere gemeenschappelijke effecten kunnen afgeleid worden uit een tabel.

De waarde van deze masterproef is het verduidelijken van de vier productieconcepten en het weergeven van de gelijkenissen en verschillen tussen deze productieconcepten. Deze masterproef kan ook interessant zijn voor bedrijven die voortdurende verbeteringen willen uitvoeren en een productieconcept willen kiezen dat aansluit bij de wensen en doelen van het bedrijf.

Bovendien wordt deze masterproef gekenmerkt door enkele beperkingen. De literatuurstudie wordt beperkt tot het bespreken van vier productieconcepten waarover veel literatuur beschikbaar is. Verder ontstaat een beperking door de essentie van deze masterproef en het maximum aantal pagina's. Het gevolg hiervan is dat verschillende concepten, methodologieën, tools en combinaties niet of kort besproken worden. Een andere beperking is dat het literatuuronderzoek effecten en kritieken bespreekt die vermeld zijn in de gebruikte literatuur. Het is mogelijk dat er andere effecten of kritieken bestaan die wel/niet in deze literatuurstudie naar voren komen, maar in een ander literatuuronderzoek wel/niet besproken worden. De laatste beperking heeft betrekking tot het praktijkonderzoek. Het was optioneel om het literatuuronderzoek aan te vullen met een praktijkonderzoek. Wegens de COVID-19 crisis wordt dit niet uitgevoerd.

Ten slotte is het mogelijk om verder onderzoek uit te voeren en deze vergelijkende analyse uit te breiden of een nieuwe uit te voeren met hedendaagse of toekomstige productieconcepten, zoals Quick Response Manufacturing (QRM), Agile productie, Virtuele productie, Intelligente/slimme productie, Internet of Things geactiveerde productie, Cloud Manufacturing (CMfg), Computer Geïntegreerde Productie (CIM), Time-Based Competition (TBC) en Additive manufacturing (AM). Een andere suggestie is om de combinaties van de productieconcepten uitgebreider te onderzoeken en eventueel op te nemen in een vergelijkende analyse.

Inhoudsopgave

Woord vooraf.....	3
Samenvatting	5
Inhoudsopgave	9
Hoofdstuk 1: Inleiding	13
1.1 Probleemstelling	13
1.1.1 Definitie begrippen	13
1.1.2 Belang in de maatschappij	14
1.1.3 Praktijkprobleem.....	15
1.2 Centrale onderzoeksvraag en deelvragen.....	16
1.3 Onderzoeksmethodologie.....	16
Hoofdstuk 2: Evolutie productie	19
2.1 Ambachtelijke productie	19
2.2 Massaproductie	19
2.3 Massamaatwerk.....	20
2.4 Product personalisatie	21
2.5 Overzicht.....	21
Hoofdstuk 3: Total Quality Management (TQM)	23
3.1 Oorsprong	23
3.2 Definitie.....	23
3.2.1 Theorie	23
3.2.2 Doel	23
3.2.3 Toepasbaarheid	24
3.3 Methodologie.....	24
3.4 Tools.....	25
3.4.1 Zeven kwaliteitstools.....	25
3.4.2 Andere veelgebruikte tools en technieken	26
3.5 Effecten.....	26

3.6	Kritiek	27
3.7	Overzicht	28
Hoofdstuk 4: Six Sigma		29
4.1	Oorsprong	29
4.2	Definitie.....	29
4.2.1	Theorie	29
4.2.2	Doel	30
4.2.3	Toepasbaarheid	30
4.3	Methodologie.....	30
4.3.1	DMAIC methode.....	30
4.3.2	DMADV methode.....	31
4.4	Tools.....	32
4.5	Effecten.....	32
4.6	Kritiek	33
4.7	Overzicht.....	34
Hoofdstuk 5: Lean Productie		35
5.1	Oorsprong	35
5.2	Definitie.....	35
5.2.1	Theorie	35
5.2.2	Doel	36
5.2.3	Toepasbaarheid	36
5.3	Methodologie.....	37
5.4	Tools.....	37
5.4.1	Just-In-Time (JIT).....	38
5.4.2	Jidoka.....	38
5.4.3	Kanban.....	38
5.4.4	Pull systeem.....	39

5.5	Effecten.....	39
5.6	Kritiek	40
5.7	Overzicht.....	41
Hoofdstuk 6: Theory of Constraints (TOC)		43
6.1	Oorsprong	43
6.2	Definitie.....	43
6.2.1	Theorie.....	43
6.2.2	Doel	43
6.2.3	Toepasbaarheid	44
6.3	Methodologie.....	44
6.4	Tools.....	45
6.4.1	Denkprocessen	45
6.4.2	Drum-Buffer-Rope systeem.....	46
6.5	Effecten.....	47
6.6	Kritiek	48
6.7	Overzicht.....	49
Hoofdstuk 7: Vergelijken en combineren productieconcepten		51
7.1	Vergelijkende analyse	51
7.1.1	Oorsprong.....	51
7.1.2	Doel	51
7.1.3	Toepasbaarheid	52
7.1.4	Betrokkenheid van de werknemers.....	52
7.1.5	Methodologie.....	53
7.1.6	Tools.....	54
7.1.7	Effecten	55
7.1.8	Kritiek	57
7.1.9	Andere gelijkenissen en verschillen	57

7.2	Combinaties productieconcepten.....	58
7.2.1	Lean Six Sigma (LSS)	58
7.2.2	TOC, Lean Productie en Six Sigma	59
7.2.3	Lean Productie en TOC	59
7.2.4	Six Sigma en TOC	60
	Hoofdstuk 8: Algemene conclusie en bemerkingen	63
8.1	Conclusie	63
8.2	Beperkingen.....	64
8.3	Verder onderzoek	64
	Referenties.....	65
	Bijlagen	77
	Bijlage 1: Zeven kwaliteitstools TQM	79
	Bijlage 2: Vijf soorten gordels van Six Sigma.....	83
	Bijlage 3: Acht soorten verspilling	85
	Bijlage 4: Tools Lean Productie	87
	Bijlage 5: Combinatie Lean Productie en TOC	89

Hoofdstuk 1: Inleiding

In dit eerste hoofdstuk wordt het onderwerp van deze masterproef ingeleid. Sectie 1.1 bespreekt de probleemstelling. In sectie 1.2 komt de centrale onderzoeksvraag tot stand en worden vijf deelvragen opgesteld. Ten slotte bespreekt sectie 1.3 de onderzoeksmethodologie die deze masterproef hanteert.

1.1 Probleemstelling

De probleemstelling komt tot stand door eerst enkele begrippen te definiëren in sectie 1.1.1. Vervolgens bespreekt sectie 1.1.2 het belang van productie in de maatschappij en wordt gekeken naar de rol van productie. Sectie 1.2.3 geeft het praktijkprobleem weer, namelijk het optimaliseren van de productieprestaties.

1.1.1 Definitie begrippen

In de betekenis van deze masterproef worden de termen productie en fabricage beschouwd als een gelijke term om verwarring te vermijden. Beide begrippen hebben betrekking op het omzetten van grondstoffen in eindproducten (Surbhi, 2018). Elk type van fabricage valt onder productie, maar niet elk type productie valt onder fabricage (Sethi, 2020; Surbhi, 2018). De verschillen tussen deze twee termen worden kort besproken.

De term productie is het proces van het transformeren van materiële en niet-materiële inputs naar outputs (Kramer, 2019; Surbhi, 2018). De materiële inputs zijn grondstoffen, componenten, gedeeltelijk afgewerkte goederen enzovoort (Surbhi, 2018). De niet-materiële inputs zijn ideeën, informatie, vaardigheden, arbeid, talent enzovoort. De geproduceerde outputs moeten consumptiegoederen vormen of moeten een waarde hebben zodat deze aan de klant verkocht kunnen worden. Door gebruik te maken van mankracht worden grondstoffen omgezet naar werk in uitvoering (WIP) en van WIP naar een afgewerkt product (Kramer, 2019; Surbhi, 2018). Er wordt zelden gebruikgemaakt van machines (Surbhi, 2018).

De term fabricage is een specifiek type van productie dat het gebruik van machines meebrengt (Kramer, 2019). De inputs worden op grote schaal omgezet naar outputs. Deze inputs kunnen grondstoffen, componenten, onderdelen en halffabricaten zijn (Kramer, 2019; Surbhi, 2018). Verder kan het gefabriceerde product rechtstreeks verkocht worden aan de eindverbruiker of aan andere productiebedrijven die items produceren, zoals apparatuur, toestellen, vliegtuigen en huishoudapparaten (Surbhi, 2018).

Een voorbeeld van productie is het omzetten van katoen in een stof en vervolgens deze stof omzetten in een afgewerkt product of verkopen aan een bedrijf. Een voorbeeld van fabricage is wanneer het bedrijf deze stof gebruikt als input om goederen te produceren met machines (Sethi, 2020). Tabel 1 geeft een samenvattende vergelijking van deze twee termen weer.

Een andere term die samenhangt met productie is het productieproces. Productieprocessen worden georganiseerd om de transformatie van input naar output te realiseren (Zhang, Amodio, & Haapala, 2015). Een productieproces bestaat uit herhaalbare activiteiten die in een specifieke volgorde worden uitgevoerd (Pyzdek, 2003). Deze activiteiten kunnen onderling samenhangen of op elkaar ingewerkt zijn (Zhang et al., 2015).

	Productie	Fabricage
Betekenis	Productie is het proces om iets te maken dat voor consumptie gebruikt wordt door verschillende middelen te combineren.	Fabricage is het proces van het produceren van eindproducten door grondstoffen te gebruiken, zoals arbeid, machines, chemicaliën, grondstoffen en gereedschappen.
Concept	Het bedrijf is eigenaar van de grondstoffen (inputs) die verwerkt worden om outputs te genereren.	Een proces waarbij grondstoffen worden ingekocht en verwerkt om eindproducten (outputs) te genereren.
Verplichte middelen	Mankracht	Mankracht en machine
Input	Tastbaar en immaterieel	Tastbaar
Output	Goederen en diensten	Alleen goederen
Eindresultaat	Bruikbare goederen die onmiddellijk of later gebruikt kunnen worden.	Goederen die geschikt zijn om te verkopen.

Tabel 1: Vergelijking fabricage en productie (Sethi, 2020; Surbhi, 2018)

1.1.2 Belang in de maatschappij

Na het definiëren van deze algemene termen wordt gekeken naar het belang van productie in de maatschappij en eventuele problemen die hierbij komen kijken. Productie heeft een onmisbare rol in de wereldeconomie en zorgt voor goederen die zowel klanten als wereldwijde industrieën nodig hebben (Duflou et al., 2012). Daarnaast zorgt productie voor een groot deel van de werkgelegenheid, het economisch welzijn, de kwaliteit van leven voor zijn burgers, blijvende welvaart en rijkdom door goed betaalde banen (Duflou et al., 2012; Hu et al., 2011; Mazzarol, 2012). De werkgelegenheid kent de afgelopen tien jaar een groei in de industriesectoren van productie, bouw en mijnbouw. Deze industriesectoren zorgen voor bijna een kwart van alle banen wereldwijd en er zijn meer dan 650 miljoen mensen in dienst. Vooral in de ontwikkelingslanden is dit aanzienlijk. Hier werden 130 miljoen banen gecreëerd in de industrie tussen 1999 en 2009 (Duflou et al., 2012).

De economische groei is ook afhankelijk van de industrie. Elk jaar neemt bijvoorbeeld in de Verenigde Staten de productiviteit van de industrie toe met ongeveer drie procent. Met productiviteit worden de geproduceerde goederen met een bepaalde hoeveelheid input bedoeld. Deze toename komt door de technologische vooruitgang die geboekt wordt voor fabrieksmachines. Verder is het produceren van goederen niet alleen belangrijk voor de productie-industrie, maar ook voor de dienstensector. Deze sector kent een zeer trage productiviteitsgroei. Twee derde van de meeste economieën bestaat uit dienstverlenende bedrijven. De werking en de eigen technologische vooruitgang van deze

dienstverlenende bedrijven zijn afhankelijk van de geproduceerde goederen. Twee voorbeelden hiervan zijn de luchtvaartindustrie en de software-industrie. Zo is de luchtvaartindustrie afhankelijk van vliegtuigen en is de software-industrie afhankelijk van computers (Jordan, 2012).

Bovendien moet de productie-industrie beschouwd worden als een slim, veilig en duurzaam mechanisme dat innovatie aanstuurt en niet als een domme, vuile, gevaarlijke en verdwijnende industrie (Mazzarol, 2012). Het is belangrijk dat de productie-industrie meer verantwoordelijkheid neemt voor het milieu. De productiesector en de industriële activiteiten brengen een grote milieubelasting met zich mee. Bij de productie ontstaan vaste, vloeibare en gasvormige afvalstromen die schade aan de omgeving kunnen brengen en worden herbruikbare en niet-herbruikbare materialen gebruikt, zoals metalen, water en fossiele brandstoffen (Duflou et al., 2012).

In het algemeen zullen veel banen verloren gaan wanneer de productie-industrie verdwijnt. Dit zal op zijn beurt leiden tot een slechtere economie. Een voorbeeld hiervan is de productie-industrie in de Verenigde Staten. Deze industrie zorgt voor werk aan meer dan 11 miljoen mensen. In 2010 werd ongeveer 1,7 biljoen dollar bijgedragen aan de nationale economie. Daarnaast heeft de productie-industrie één van de hoogste multiplicatoreffecten van alle industrie sectoren. Volgens Gary Pisano en Willy Shih van de Harvard Universiteit Business School is deze industrie belangrijk voor de gezondheid van de Amerikaanse economie op de langere termijn. Ook zou het voor de Amerikaanse economie moeilijk zijn om innovatie te ondersteunen zonder de productie-industrie (Mazzarol, 2012).

1.1.3 Praktijkprobleem

Het is opvallend dat bedrijven een grote focus leggen op het optimaliseren van de productieprestaties. Dit wordt gedaan om met hevige concurrentie om te gaan (Afteni & Frumuşanu, 2017; Azizi, 2015). Deze optimale omstandigheden worden behaald door de productieprocessen te verbeteren, de productiekosten te verlagen, de productiviteit te verhogen en de kwaliteit van de producten te verbeteren (Afteni & Frumuşanu, 2017).

In deze masterproef wordt het optimaliseren van de productieprestaties beschouwd als het praktijkprobleem. Door de revolutie van Total Quality Management (TQM) zijn er verschillende concepten ontstaan die voor procesverbetering zorgen, zoals Six Sigma, Lean Productie, Lean Six Sigma (LSS), Just-In-Time (JIT), Kaizen, Poka-yoke, Design of Experiments, Agile Management, Business Process Re-engineering (BPR), Flexibele Productiesystemen (FMS), Robotica en Computer Geïntegreerde Productie (CIM) (Duguay, Landry, & Pasin, 1997; Gershon, 2010).

1.2 Centrale onderzoeksvraag en deelvragen

Uit de probleemstelling werd duidelijk dat bedrijven in optimale omstandigheden willen produceren. Op basis van de probleemstelling en de aard van deze masterproef worden de centrale onderzoeksvraag en de deelvragen opgesteld. De centrale onderzoeksvraag luidt als volgt:

"Hoe vergelijken de verschillende bestaande productieconcepten zich ten opzichte van elkaar?"

Vervolgens worden vijf deelvragen geformuleerd. Deze vijf deelvragen gaan specifiek in op de centrale onderzoeksvraag waardoor deze wordt beantwoord.

Deelvraag 1: *"Welke productieconcepten bestaan er?"*

Deelvraag 2: *"In welke context worden welke productieconcepten het meest toegepast?"*

Deelvraag 3: *"Welke gelijkenissen bestaan er tussen de besproken productieconcepten?"*

Deelvraag 4: *"Welke verschillen bestaan er tussen de besproken productieconcepten?"*

Deelvraag 5: *"Welke varianten combineren aspecten van meerdere productieconcepten?"*

In de eerste deelvraag worden de productieconcepten afgebakend en worden vier productieconcepten gekozen, namelijk Total Quality Management (TQM), Six Sigma, Lean Productie en Theory of Constraints (TOC). De besproken productieconcepten worden één per één besproken en beschikken over dezelfde structuur. Deze structuur omvat ook de toepasbaarheid van elk productieconcept waardoor de tweede deelvraag wordt beantwoord. Verder worden de derde en vierde deelvraag beantwoord door een vergelijkende analyse. De gelijkenissen en verschillen worden eerst zelf geanalyseerd, vervolgens worden onderzoeken gebruikt om de eigen waarnemingen te bevestigen, tegen te spreken of aan te vullen. Na de vergelijkende analyse worden de mogelijke combinaties van de productieconcepten besproken. Hierdoor wordt de vijfde deelvraag beantwoord.

1.3 Onderzoeksmethodologie

De onderzoeksmethode die deze masterproef hanteert is een literatuurstudie. Door gebruik te maken van een literatuurstudie worden de centrale onderzoeksvraag en de vijf deelvragen in sectie 1.2 beantwoord. De literatuurstudie ontstaat door wetenschappelijke literatuur en bronnen te raadplegen via databanken die de Universiteit Hasselt ter beschikking stelt, Google Scholar, ResearchGate, ScienceDirect, Semantic Scholar en ProQuest.

Om relevante en toepasselijke literatuur te vinden, worden Engelse zoektermen gebruikt in bovenstaande databanken. Deze Engelse zoektermen zorgen voor nauwkeurigere zoekresultaten. De zoektermen die gebruikt worden, zijn: history production, evolution production, production paradigms, craft production, mass production, mass customization, personalization, production

concepts, production methods, production processes, process improvement methodology, continuous improvement methods, quality improvements, optimization production concepts, manufacturing concepts, optimize production processes, Total Quality Management (TQM), Lean Production, Six Sigma, Lean Six Sigma (LSS), Theory of Constraints (TOC) enzovoort.

Daarnaast worden de volgende zoektermen gebruikt en gecombineerd met de vier productieconcepten: literature, literature review, history, benefits, tools, combination, comparison, integration enzovoort. Ook worden artikels gevonden door de bronnenlijst van een gebruikt artikel raad te plegen.

Hoofdstuk 2: Evolutie productie

Gedurende de jaren is productie geëvolueerd tot verschillende paradigma's. Sectie 2.1 bespreekt het eerste paradigma, namelijk ambachtelijke productie. Producten werden hier één per één en op maat gemaakt. Hierna bespreekt sectie 2.2 het tweede paradigma, namelijk massaproductie. Massaproductie werd mogelijk door de onderling verwisselbare onderdelen en de bewegende assemblagelijijn. Sectie 2.3 bespreekt het derde paradigma, namelijk massamaatwerk. Massamaatwerk is ontstaan door de vraag naar een grotere productvariëteit. Vervolgens bespreekt sectie 2.4 het vierde en laatste paradigma, namelijk product personalisatie. Product personalisatie is ontstaan door de aanwezigheid van internet en productiesystemen. Ten slotte geeft sectie 2.5 de vier paradigma's weer in een figuur.

2.1 *Ambachtelijke productie*

Twee eeuwen geleden evolueerde de productie-industrie door het ontstaan van verschillende paradigma's (Hu, 2013). Hierdoor ontstond ambachtelijke productie. Hier werd het product dat de klant wou op maat en één per één gemaakt voor individueel gebruik. De hoogopgeleide vakmensen hadden elk een gespecialiseerde taak en elk product werd als uniek behandeld (Cusumano, 1992). Tijdens het ambachtswerk werden geen gestandaardiseerde inputs, processen, outputs of productiesystemen gebruikt. Hierdoor waren de kosten voor deze producten hoog (Cusumano, 1992; Hu et al., 2011). Er werd wel gebruikgemaakt van hoge vaardigheden, discretie van werknemers, een laag niveau van procesautomatisering en managementcontrole, enkele synergievoordelen op basis van individuele kennis en weinig tot geen schaalvoordelen (Cusumano, 1992).

2.2 *Massaproductie*

In 1913 introduceerde Henry Ford (1863-1947) de eerste bewegende assemblagelijijn in Highland Park bij Detroit, Michigan. Ford was pionier van de Amerikaanse automobieliindustrie (Duguay et al., 1997; Hu, 2013). Massaproductie werd mogelijk gemaakt door de bewegende assemblagelijijn en onderling verwisselbare onderdelen (Hu, 2013). Zo werd bij de bewegende assemblagelijijn het tempo van de werknemer gedictieerd door de machine (Duguay et al., 1997). Dankzij de onderling uitwisselbare onderdelen konden meerdere producten gemaakt worden die over exact dezelfde onderdelen en mechanismen beschikten (Hu, 2013). Daarnaast maakte massaproductie ook gebruik van andere concepten, zoals wetenschappelijk management, gestandaardiseerde onderdelen, mechanisatie of automatisering, vaste en vereenvoudigde productieprocedures en strengere proces- en kwaliteitscontroles (Cusumano, 1992; Hu, 2013).

Bij massaproductie kunnen grote hoeveelheden tegen lage kosten geproduceerd worden, maar is de variatie van de producten beperkt. Deze lage variatie werd duidelijk uit het beroemde citaat van Henry Ford (1926): "Elke klant kan een auto laten beschilderen in elke kleur dat hij wil zolang het maar zwart is."

Eén van de beroemdste en meest opvallende, succesvolle voorbeelden van de massaproductie is de productie van het Ford Model T. Henry Ford werd geïnspireerd om een auto te produceren en te verkopen aan een verkoopprijs die verlaagd wordt tot 400 dollar. Door onder andere te beschikken over de bewegende assemblagelijnen konden de kosten geleidelijk aan verminderen. Vervolgens kon de verkoopprijs verlaagd worden tot onder de 300 dollar en werd de bewegende assemblagelijnen het symbool van de moderne massaproductie (Duguay et al., 1997).

In de jaren zestig, na het einde van de Tweede Wereldoorlog, was de vraag naar producten zeer hoog. Op dat moment heeft massaproductie haar hoogtepunt bereikt (Belcher, 1987; Hu, 2013). De achteruitgang van massaproductie ontstond door verschillende oorzaken, zoals vertraging in technologische innovatie, gebrek aan investeringen, overregulering, aanpassingen vanwege salarisverschillen, olieschokken en andere externe verstoringen (Duguay et al., 1997).

Vervolgens kwam in 1970 een eerste wake-up call binnen door de eerste oliecrisis. Amerikaanse fabrikanten merkten op dat Japanse auto's veel goedkoper waren en een betere brandstofefficiëntie hadden (Hu, 2013). Door de confrontatie met de sterke daling van de productiviteitsgroei reageerden de Amerikaanse industrieën met verschillende benaderingen en programma's, zoals de kwaliteitscirkels (QC), Quality of Working Life programma's (QWL) en Manufacturing Resource Planning (MRP II) (Duguay et al., 1997).

In het midden van 1980 domineerde Japan de Amerikaanse markt waardoor de Amerikaanse fabrikanten niet meer als concurrentie werden beschouwd. De Verenigde Staten wilden te weten komen wat de Japanners deden. Ze stuurden teams van ingenieurs en onderzoekers naar Japan in de hoop om de Japanse productiemethoden te leren. De belangrijkste ontdekking was dat een Amerikaanse statisticus en professor W. Edward Deming de Japanners alles leerde over kwaliteits- en productiemanagement. Hij werd in Japan beschouwd als een held. Bovendien werden zijn lessen en filosofieën ook door Amerikaanse fabrikanten omarmd (Hu, 2013). Deming ontwikkelde samen met andere 'kwaliteitsgoeroes' het productieconcept Total Quality Management (TQM). In hoofdstuk 3 wordt TQM verder toegelicht.

Een tweede belangrijke ontdekking over Japanse productie gebeurde via het International Motor Voertuigprogramma (IMVP). Aan deze studie namen autofabrikanten van Japan, de Verenigde Staten en Europa deel. Het boek "The Machine That Changed The World" ging over deze studie en werd geschreven door Womack, Jones en Roos (1990). Vervolgens werden twee productieconcepten geïntroduceerd, namelijk het Toyota Productie Systeem (TPS) en Lean Productie. Lean Productie werd beschouwd als een managementfilosofie die gebaseerd was op het TPS. Lean Productie wordt in hoofdstuk 5 besproken.

2.3 Massamaatwerk

In de jaren tachtig ontstond de vraag van de klant naar een grotere productvariëteit. Als reactie op deze vraag kwam massamaatwerk naar voren als een nieuw paradigma (Pine, 1993). Marktsegmentatie en wereldwijde concurrentie zorgden voor de ontwikkeling van hoge variatie en

hoge maatwerk producten. Sindsdien ontstond een aanzienlijke toename van het aantal variëteiten dat werd aangeboden (Hu, 2013).

Massamaatwerk zorgt voor een grote verscheidenheid van het standaardproduct waar consumenten uit kunnen kiezen. Toch is de keuze beperkt tot de combinaties die het assemblagesysteem kan uitvoeren (Hu, Zhu, Wang, & Koren, 2008; Pine, 1993). Door gebruik te maken van basisproductopties en assemblagecombinatie kan de fabrikant synergievoordelen behalen op het niveau van de componenten (Pine, 1993). Ook wordt massamaatwerk mogelijk gemaakt door twee belangrijke concepten en technologieën, namelijk de productfamilie-engineering en het uitstellen van differentiatie. Voor de uitleg van deze termen wordt verwezen naar de artikels van Hu (2013) en Hu et al. (2011).

Een voorbeeld van massamaatwerk is het aantal verschillende automodellen dat werd aangeboden in de Verenigde Staten. In 1969 waren dit 44 verschillende auto's en in 2006 waren dit 165 verschillende auto's. Binnen elk model kon de klant veel keuzes maken op het gebied van de aandrijflijn en het interieur (Hu, 2013).

2.4 Product personalisatie

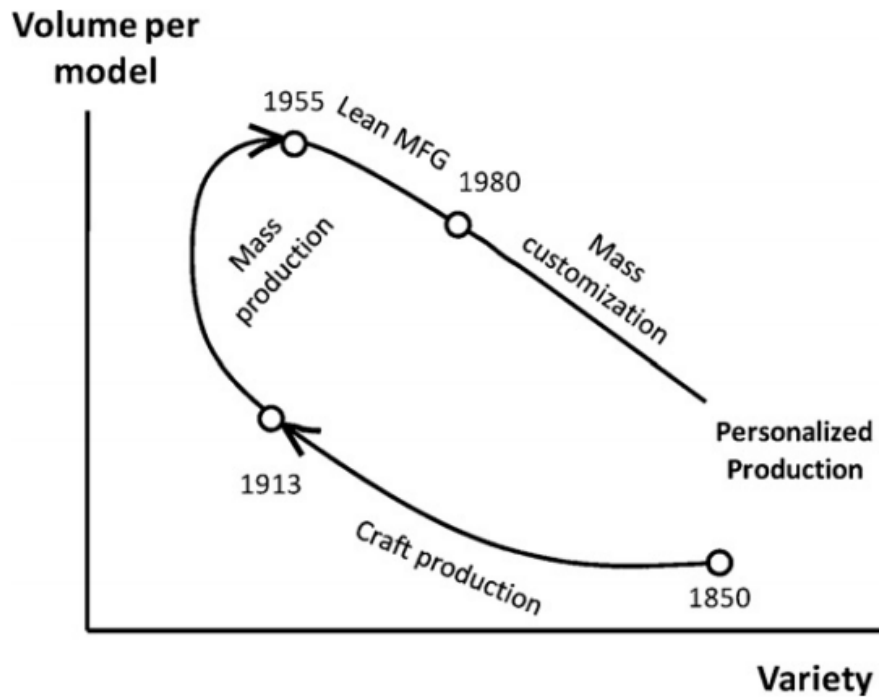
Bij product personalisatie worden producten of diensten op maat van de individuele behoeften en voorkeuren van de klanten gemaakt (Hu, 2013; Kotler, 1989). De klanten worden hier ook betrokken en maken deel uit van co-creatie en co-design (Hu, 2013; Kumar, 2007). Deze betrokkenheid is de belangrijkste drijfveer voor gepersonaliseerde productie. Op deze manier worden innovatieve producten en diensten samen met de klanten gecreëerd. Vervolgens wordt de waarde gerealiseerd door samen te werken met fabrikanten en andere klanten (Hu, 2013). Dankzij de aanwezigheid van internet, huidige computertechnologieën en automatiseringsmogelijkheden, zoals Web 2.0, is het voor bedrijven mogelijk om betaalbare en geïndividualiseerde versies van producten te produceren (Hu, 2013; Kotler, 1989).

Een voorbeeld van product personalisatie is het idee van Levi Strauss & Co om de "Original Spin" beschikbaar te maken in verschillende winkels in de Verenigde Staten en een gepersonaliseerde jeans op de markt te brengen. De winkels werden met wit licht scansystemen opgezet om een gedigitaliseerd beeld van de lichaamsvorm van de klant te produceren en zo de jeans op maat te maken (Piller & Müller, 2004).

2.5 Overzicht

Figuur 1 geeft de evolutie van productie weer in een grafiek. De x-as geeft de hoeveelheid verschillende producten weer. De y-as geeft het volume per model weer (Hu et al., 2008). Zo biedt bijvoorbeeld massaproductie weinig verschillende producten aan en wordt er in hoge volumes

geproduceerd terwijl massamaatwerk meer verschillende producten aanbiedt en in lagere volumes produceert.



Figuur 1: Veranderingen in productie paradigma's (figuur overgenomen van Hu et al., 2008)

Hoofdstuk 3: Total Quality Management (TQM)

In dit hoofdstuk wordt het eerste productieconcept besproken, namelijk Total Quality Management (TQM). Eerst wordt in sectie 3.1 de oorsprong van TQM besproken. Vervolgens komt in sectie 3.2 de definitie van TQM tot stand door de theorie, het doel en de toepasbaarheid te bespreken. Daarnaast bespreekt sectie 3.3 de methodologie en sectie 3.4 de verschillende tools. Bovendien wordt in sectie 3.5 bekeken welke effecten bereikt kunnen worden en bespreekt sectie 3.6 de kritiek. Ten slotte wordt in sectie 3.7 een overzicht gegeven van TQM.

3.1 Oorsprong

Zoals in sectie 2.2 besproken, werd TQM ontdekt in Japan. TQM werd erkend als de standaard voor kwaliteitsverbetering (Gershon, 2010). Daarnaast kan TQM als de moeder van de meest recente procesverbeteringsmethoden beschouwd worden. Dankzij het best verkochte boek van Crosby in 1979 "Quality is Free" is de kwaliteitsevolutie ontstaan en werd het concept wereldwijd bekend (Fisher, Elrod, & Mehta, 2011; Gershon, 2010). Toch is het onduidelijk wie TQM heeft uitgevonden (Rancour & McCracken, 2000). Verschillende 'kwaliteitsgoeroes' maakten deel uit van het ontwikkelen van TQM, zoals Deming, Feigenbaun, Ishikawa, Crosby en Juran (Kerzner, 2003). Voor een uitgebreide literatuurstudie over deze 'kwaliteitsgoeroes' wordt verwezen naar Kerzner (2003) en Neyestani (2017).

Sinds de jaren 80 wordt TQM beschouwd als een van de populairste managementfilosofieën waarmee bedrijven hun managementcapaciteiten konden vergroten, hun prestaties en kwaliteit konden verbeteren en klanttevredenheid en uitmuntendheid konden bereiken (Andersson, Eriksson, & Torstensson, 2006; Dahlgaard, Chen, Jang, Banegas, & Dahlgaard-Park, 2013; Dahlgaard-Park, Chen, Jang, & Dahlgaard, 2013; Fu, Chou, Chen, & Wang, 2015). Het begrip voortdurende verbetering kwam hierdoor in het bewustzijn van het management terecht (Fisher et al., 2011). TQM evolueerde verder tot Six Sigma (Gershon, 2010). Six Sigma wordt in hoofdstuk 4 besproken.

3.2 Definitie

3.2.1 Theorie

TQM wordt vaak gedefinieerd als een holistische managementfilosofie. Er wordt dus gekeken naar het geheel en niet naar de opbouw van de verschillende onderdelen (Kaynak, 2003). Deze filosofie is gebaseerd op verschillende principes, zoals de betrokkenheid van het topmanagement, klantgerichtheid, de focus op werknemers, de leveranciersrelatie, benchmarking, kwaliteitsgerichte training en procesverbetering (Singh & Ahuja, 2012). Toch geven verschillende auteurs kritiek dat er een duidelijke definitie van TQM ontbreekt, zie sectie 3.6.

3.2.2 Doel

Het hoofddoel van TQM is om de interne en externe klanttevredenheid te verbeteren door het gebruiken van minder middelen en het voortdurend verbeteren van alle functies binnen de

organisatie (processen, producten en diensten), waaraan alle werknemers actief deelnemen (Chen, Anchecta, Lee, & Dahlgard, 2016; Hellsten & Klefsjö, 2000; Kaynak, 2003; Sadikoglu & Olcay, 2014). Het voortdurend verbeteren van alle functies binnen de organisatie kan behaald worden door TQM toe te passen vanaf de aankoop van grondstoffen tot aan de klantenservice na de verkoop (Kaynak, 2003). Daarnaast wordt de externe klanttevredenheid ook behaald door zich te focussen op de behoeften en verwachtingen van de klanten (Sadikoglu & Olcay, 2014).

3.2.3 Toepasbaarheid

TQM kan in de productie-industrie en dienstensector worden toegepast (Talib & Rahman, 2012). Daarnaast is het toepassen van TQM uniek voor elke organisatie (Andersson et al., 2006). Dit komt doordat de TQM principes afhankelijk zijn van de aard van de industrie en de producten of diensten die ze ontwerpen en leveren aan de klanten (Talib & Rahman, 2012).

3.3 Methodologie

TQM beschikt over twee methodologieën, namelijk de plan-do-check-act (PDCA) verbeteringscyclus en de plan-do-study-act (PDSA) verbeteringscyclus. De PDCA verbeteringscyclus wordt ook wel de Shewhart cyclus of de Deming cyclus genoemd. Daarnaast wordt de PDSA verbeteringscyclus beschouwd als een variatie op de PDCA verbeteringscyclus. Deze geeft aan dat aanvullend onderzoek nodig is na een wijziging (Siebels, 2004).

PDCA verbeteringscyclus	PDSA verbeteringscyclus
Plan: Ontwikkel een plan om verbetering uit te voeren. Identificeer, observeer en analyseer het probleem.	Plan: Ontwikkel een plan dat gebaseerd is op de zorgvuldige definitie van het probleem, op het begrip van het proces en op de gegevensverzameling en -analyse. Aan het einde van het plan wordt een alternatieve oplossing ontwikkeld voor verbetering.
Do: Voer het plan uit, bij voorkeur op kleine schaal. Handel verder om de oorzaken van het probleem weg te nemen.	Do: Test het plan uit door middel van ontworpen experimenten.
Check: Observeer de effecten van het plan. Bevestig de doeltreffendheid van de maatregelen.	Study: Evalueer de uitkomsten van de experimenten.
Act: Bestudeer de resultaten om te bepalen wat er geleerd is en wat er voorspeld kan worden. Neem passende maatregelen.	Act: Neem passende stappen voor het proces.

Tabel 2: Stappen PDCA en PDSA verbeteringscyclus (Omachonu & Ross, 2004; Siebels, 2004)

Zowel de PDCA als de PDSA verbeteringscyclus gebruiken een systematisch kader om het proces voortdurend te verbeteren (Omachonu, & Ross, 2004; Pavletić, Soković, & Paliska, 2008). Om voortdurende verbetering mogelijk te maken, worden de problemen methodisch geëvalueerd en

wordt de grondoorzaak geïdentificeerd, geëlimineerd of gecontroleerd (Siebels, 2004). Deze stappen kunnen leiden tot een wijziging van het plan in een oneindige verbeteringscyclus (Omachonu, & Ross, 2004). Tabel 2 geeft de stappen van de PDCA en de PDSA verbeteringscyclus weer.

3.4 Tools

TQM hanteert zowel analytische als statistische tools (Andersson et al., 2006). In sectie 3.4.1 worden de zeven kwaliteitstools kort besproken. Andere veelgebruikte tools en technieken worden weergegeven in sectie 3.4.2, zoals de zeven managementtools, brainstormen, Design of Experiments (DOE), Faalmodus en effectenanalyse (FMEA) en Foutenboomanalyse (FTA).

3.4.1 Zeven kwaliteitstools

Bedrijven kunnen zeven kwaliteitstools hanteren, namelijk het stroomdiagram (flowchart), de Pareto analyse, de check sheet, de control chart, het histogram, het spreidingsdiagram (scatter diagram) en het oorzaak- en gevolgdigram (cause-and-effect diagram). Deze zeven kwaliteitstools zijn gemakkelijk te leren en te hanteren. Vervolgens worden deze tools gebruikt om gegevens te verzamelen, analyseren, visualiseren en om een solide basis voor data gebaseerde besluitvorming te maken (Kaewchaineim & Phusavat, 2011; Pavletić et al., 2008). Verder kunnen de tools op dagelijkse basis gebruikt worden in alle procesfasen, van het begin van een productontwikkeling tot het beheren van een proces. Het is mogelijk om een succesvol kwaliteitsverbeteringsproces te bereiken door deze tools systematisch toe te passen (Pavletić et al., 2008). In Tabel 3 worden de zeven kwaliteitstools weergegeven samen met de PDCA verbeteringscyclus. De PDCA verbeteringscyclus werd eerder in sectie 3.3 besproken.

Zeven kwaliteitstools	Stappen van de PDCA verbeteringscyclus				
	Plan	Do	Plan, Check	Plan, Act	Check
	Identificeer probleem	Implementeer oplossing	Proces analyse	Ontwikkelen oplossingen	Evalueren resultaten
Flow charts	X			X	
Oorzaak- en gevolgdigram	X		X		
Check sheet	X		X		X
Pareto diagram	X		X		X
Histogram	X				X
Spreidingsdiagram	X		X	X	X
Controlekaart	X		X		X

Tabel 3: Zeven kwaliteitstools in correlatie met de stappen van de PDCA verbeteringscyclus (aangepast van Pavletić et al., 2008)

Een eerste tool is het stroomdiagram. Dit is een techniek die gegevens uit verschillende bronnen scheidt zodat patronen zichtbaar worden. Een tweede tool is de Pareto analyse. Hier wordt in een

staafdiagram getoond welke factoren belangrijk zijn. Een derde tool is de check sheet. Dit is een gestructureerd, voorbereid formulier voor het verzamelen en analyseren van gegevens. Verder is het ook een generiek hulpmiddel dat voor een groot aantal doeleinden kan worden aangepast. Een vierde tool is de control chart. Hier worden grafieken weergegeven die bestuderen hoe een proces in de loop van de tijd verandert. Een vijfde tool is het histogram en dit is de meest gebruikte grafiek voor het weergeven van frequentieverdelingen of hoe vaak elke verschillende waarde in een set van gegevens voorkomt. Een zesde tool is het spreidingsdiagram. Hier worden grafieken weergegeven met paren van numerieke gegevens om een relatie te zoeken en met één variabele op elke as. Een zevende en laatste tool is het oorzaak- en gevolgdigram. De vele mogelijke oorzaken voor een effect of probleem worden geïdentificeerd en de ideeën worden in nuttige categorieën gesorteerd (Kaewchaineim & Phusavat, 2011). In Bijlage 1 worden deze tools uitgebreider uitgelegd. Voor meer details wordt verwezen naar de vermelde bronnen.

3.4.2 Andere veelgebruikte tools en technieken

Naast de zeven kwaliteitstools bestaan er nog andere tools en technieken die veel gebruikt worden door bedrijven. Tabel 4 geeft de veelgebruikte tools en technieken weer.

Zeven management tools	Andere tools	Technieken
<ul style="list-style-type: none"> • Affinity diagram • Arrow diagram • Matrixdiagram • Methode voor de analyse van de matrixgegevens • Programmatabel voor proces beslissingen • Relatie diagram • Systematisch diagram 	<ul style="list-style-type: none"> • Brainstormen • Controle plan • Stroomdiagram • Krachtvelanalyse • Vragenlijst • Steekproeven 	<ul style="list-style-type: none"> • Benchmarking • Functionele doelanalyse • Design of Experiments (DOE) • Faalmodus en effectenanalyse (FMEA) • Foutenboomanalyse (FTA) • Poka-yoke • Probleemoplossende methoden • Kwaliteitsberekening • Inzet van kwaliteitsfuncties • Kwaliteitsverbeteringsteams • Statistische procesbeheersing (SPC)

Tabel 4: Veelgebruikte tools en technieken (aangepast van Tari & Sabater, 2004)

3.5 Effecten

Door het bereiken van het hoofddoel van TQM, namelijk het verbeteren van de interne en externe klanttevredenheid, worden verschillende effecten vastgesteld. Zo zorgt TQM voor het verbeteren van de algemene prestaties, de marktaandeelen, de aandeelhouderswaarde van de organisatie, de dienstverlening aan haar klanten, de winst, de algehele kwaliteit en veiligheid van de faciliteiten, de werkprocedures, de relaties met de werknemers, de marktwaarde, het boekhoudkundig rendement en de groei van de financiële resultaten (Andersson, Fornell, & Lehmann, 1994; General Accounting Office [GAO], 1991; Eklöf, Hackl, & Westlund, 1999; Forbes & Ahmed, 2011; Hansson & Eriksson,

2002; Hendricks & Singhal, 1997; Lemak & Reed, 1997; Sadikoglu & Olcay, 2014; Vokurka, Stading, & Brazeal, 2000).

Bovendien zorgt TQM ook voor het overleven in een steeds competitievere wereld, het verminderen van de duur en de kosten van projecten en het beter benutten van de talenten van haar mensen (Forbes & Ahmed, 2011).

3.6 *Kritiek*

TQM krijgt kritiek op twee gebieden. Ten eerste krijgt TQM kritiek op het ontbreken van een duidelijke definitie (Hellsten & Klefsjö, 2000). Er ontstaat een grote verwarring over wat TQM echt betekent. Deze verwarring veroorzaakt verschillende meningen over wat TQM is en wat de uitkomst moet zijn (Andersson et al., 2006). Hierdoor slagen veel organisaties er niet in om TQM toe te passen (Eskildson, 1994). Boaden (1997) verklaart de onduidelijke definitie van TQM als volgt: "proberen om TQM te definiëren is als schieten op een bewegend doelwit. Naarmate het op grotere schaal wordt toegepast en er andere initiatieven ontstaan, verandert de nadruk op verschillende aspecten."

Ten tweede wordt kritiek gegeven dat er geen tastbare verbeteringen worden bereikt wanneer organisaties TQM implementeren. Harari (1993) concludeert dat zowel in de Verenigde Staten als in Europa slechts één vijfde of hooguit één derde van de TQM programma's een aanzienlijke of zelfs tastbare verbetering van de kwaliteit, de productiviteit, het concurrentievermogen of de financiële resultaten hebben bereikt.

3.7 Overzicht

Ten slotte wordt dit hoofdstuk samengevat in een tabel. Tabel 5 geeft een kort overzicht van TQM.

Productieconcept	Total Quality Management (TQM)
Oorsprong	Verschillende 'kwaliteitsgoeroes' in de jaren 80, Japan
Theorie	Een holistische managementfilosofie die gebaseerd is op verschillende principes, zoals de betrokkenheid van het topmanagement, klantgerichtheid en focus op werknemers.
Doel	Verbeteren interne en externe klanttevredenheid door het gebruiken van middelen en door het voortdurend verbeteren van alle processen waaraan alle werknemers actief deelnemen. De externe klanttevredenheid wordt ook behaald door te focussen op de behoeften en verwachtingen van de klanten.
Toepasbaarheid	Productie- en dienstensector
Methodologie	<ul style="list-style-type: none"> • Plan-do-check-act (PDCA) verbeteringscyclus • Plan-do-study-act (PDSA) verbeteringscyclus
Tools	Analytische en statistische tools, zoals zeven kwaliteitstools, zeven managementtools en andere tools en technieken.
Effecten	<ul style="list-style-type: none"> • Verbeteren winst, financiële resultaten • Verbeteren interne en externe klanttevredenheid, relaties werknemers • Verbeteren marktaandeel, marktwaarde, boekhoudkundig rendement • Verbeteren dienstverlening klanten, benutten talenten van werknemers • Verbeteren van de algehele kwaliteit en veiligheid van onze faciliteiten • Verbeteren algemene prestaties, werkprocedures • Verbeteren aandeelhouderswaarde organisatie • Verminderen van de duur en kosten van projecten • Overleven in een steeds competitievere wereld
Kritiek	<ul style="list-style-type: none"> • Ontbreken duidelijke definitie • Geen tastbare verbeteringen

Tabel 5: Overzicht TQM

Hoofdstuk 4: Six Sigma

Dit hoofdstuk bespreekt het tweede productieconcept, namelijk Six Sigma. Six Sigma wordt beschouwd als een verdere ontwikkeling van TQM. Eerst wordt in sectie 4.1 de oorsprong van Six Sigma besproken. Vervolgens komt in sectie 4.2 de definitie van Six Sigma tot stand door de theorie, het doel en de toepasbaarheid te bespreken. Daarnaast bespreekt sectie 4.3 de methodologie en sectie 4.4 de verschillende tools. Bovendien wordt in sectie 4.5 bekeken welke effecten bereikt kunnen worden en bespreekt sectie 4.6 de kritiek. Ten slotte wordt in sectie 4.7 een overzicht gegeven van Six Sigma.

4.1 Oorsprong

Six Sigma werd ontwikkeld door een Japans bedrijf dat in de jaren zeventig het Motorola fabriek overnam in de Verenigde Staten (Pyzdek, 2003). Six Sigma werd in 1985 bedacht door Bill Smith, hij was een ingenieur van Motorola en stond bekend als de vader van Six Sigma (Forbes & Ahmed, 2011; Hahn, Doganaksoy, & Hoerl, 2000; Pyzdek, 2003; Rahman et al., 2018; Vivekananthamoorthy & Sankar, 2011). Smith benaderde de toenmalige CEO, Bob Galvin, met zijn theorie over Six Sigma en legde uit dat het optimale niveau van kwaliteit 3,4 defecten per miljoen mogelijkheden bedraagt om kwaliteit en kosten in balans te brengen (Forbes & Ahmed, 2011; Hahn et al., 2000; Vivekananthamoorthy & Sankar, 2011). Uiteindelijk was Motorola het eerste bedrijf dat een Six Sigma programma lanceerde (Rancour & McCracken, 2000). Het werd beschouwd als een echte doorbraak in het proces van kwaliteitsverbetering (Vivekananthamoorthy & Sankar, 2011).

Vervolgens won Motorola in 1988 de Malcolm Baldrige National Quality Award. Deze prijs leidde tot een verhoogde interesse in Six Sigma waardoor het geheim van Motorola's succes publiek werd gemaakt (Pyzdek, 2003; Vivekananthamoorthy & Sankar, 2011). Bedrijven zoals General Electric, Allied Signal, Ford, General Motors en Xerox namen deze succesvolle filosofie over van Motorola. Deze bedrijven stelden direct de impact vast op hun resultaten en bespaarden tot miljarden dollars (Bendell, 2006; Hahn et al., 2000; Harry, 1998; Vivekananthamoorthy & Sankar, 2011).

4.2 Definitie

4.2.1 Theorie

De naam Sigma is afgeleid van een letter in het Griekse alfabet. Bij een kwaliteitscontrole wordt Sigma (σ) traditioneel gebruikt door statistici om de variabiliteit van de output of van een proces te meten (Omachonu & Ross, 2004; Pyzdek, 2003). Six Sigma staat procentueel gelijk aan een nauwkeurigheid van 99,9997% of aan 3,4 defecten per miljoen mogelijkheden om een defect te maken (Vivekananthamoorthy & Sankar, 2011).

Six Sigma wordt beschouwd als een strategische, brede aanpak voor bedrijven en is de meest populaire kwaliteits- en procesverbeteringsmethodologie (Bendell, 2006; Vivekananthamoorthy & Sankar, 2011). De centrale gedachte achter Six Sigma is het meten van het aantal defecten dat aanwezig zijn in een proces. Systematisch wordt uitgezocht hoe deze defecten geëlimineerd kunnen

worden en hoe dicht het aantal defecten bij de nul defecten kunnen komen (Vivekananthamoorthy & Sankar, 2011). Bovendien is Six Sigma een verdere ontwikkeling van de verbeteringscyclus van TQM (Andersson et al., 2006; Gershon, 2010). Volgens Kwak en Anbari (2006) kan Six Sigma worden samengevat in een formule: Six Sigma = TQM + sterkere klantgerichtheid + extra data-analyse tools + financiële resultaten + projectmanagement.

Daarnaast maakt Six Sigma gebruik van een hiërarchie van verschillende verantwoordelijkheden en rollen, namelijk kampioenen, sponsors en vijf soorten gordels. De vijf soorten gordels zijn: meester zwarte gordel, zwarte gordel, groene gordel, gele gordel en witte gordel (Patel & Chudgar, 2020). Deze selecte groep van professionals wordt opgeleid om Six Sigma uit te voeren (Božek & Hamrol, 2012). In Bijlage 2 worden de vijf soorten gordels kort besproken. Voor andere verantwoordelijkheden en rollen wordt verwezen naar Bendell (2006).

4.2.2 Doel

Het hoofddoel van Six Sigma is het verminderen van de variatie op een product of dienst om zo de klanten tevreden te stellen (Magnusson, Kroslid, & Bergman, 2003). Ook is het belangrijk om een optimaal kwaliteitsniveau van 3,4 defecten per miljoen mogelijkheden te bereiken (Nave, 2002; Vivekananthamoorthy & Sankar, 2011).

4.2.3 Toepasbaarheid

Six Sigma kan zowel in de productie-industrie als in de dienstensector worden toegepast (de Mast, 2004). Tegenwoordig is Six Sigma verspreid over productie-, ontwerp- en transactiegebieden en bijna in elke industrie gevestigd (Andersson et al., 2006; Bendell, 2006). Verschillende wereldwijde organisaties ontwikkelen en implementeren hun eigen Six Sigma programma's in verschillende contexten en processen (Andersson et al., 2006; Snee, 2004).

4.3 Methodologie

Er bestaan twee methodologieën om Six Sigma toe te passen, namelijk de DMAIC methode en de DMADV methode. Beide methoden leggen een andere focus op verbetering.

4.3.1 DMAIC methode

De DMAIC methode is van toepassing voor bestaande producten, diensten en processen. Er zijn vijf fasen: definieer, meet, analyseer, verbeter en controleer (Pyzdek, 2003). De vijf stappen zijn specifiek bedoeld om het proces van voortdurende verbetering te vergemakkelijken, zodat de belangrijkste productie-, engineering- en transactieprocessen van het gehele proces door de vijf fasen gaan (Plotkin, 1999). In Tabel 6 worden de stappen van de DMAIC methode besproken.

4.3.2 DMADV methode

De DMADV methode maakt deel uit van Design for Six Sigma (DFSS). Design for Six Sigma (DFSS) is een systematische methodologie die gebruikmaakt van tools, trainingen en metingen om de organisatie in staat te stellen voor het ontwerpen van producten en processen. Deze producten en processen moeten voldoen aan de verwachtingen van de klant en kunnen op de kwaliteitsniveaus van Six Sigma geproduceerd worden (Pyzdek, 2003). DMADV wordt toegepast bij nieuwe producten, diensten en processen en bestaat uit vijf fasen: definieer, meet, analyseer, ontwerp en verifieer (Eckes, 2001; Mehrjerdi, 2011; Pyzdek, 2003). Deze methode wordt bijvoorbeeld vaak gebruikt wanneer de bestaande processen de klanten niet tevredenstellen of wanneer de strategische bedrijfsdoelstellingen niet bereikt kunnen worden (Eckes, 2001). Tabel 6 bespreekt de stappen van de DMADV methode.

DMAIC methode	DMADV methode
Define: Definieer de doelstellingen van de verbeteringsactiviteit.	Define: Definieer de doelstellingen van de ontwerpactiviteit.
Measure: Meet het bestaande systeem.	Measure: Meet de input van de klant om te bepalen wat belangrijk is voor de kwaliteit vanuit het perspectief van de klant. Gebruik speciale methoden wanneer een volledig nieuw product of dienst wordt ontworpen.
Analyse: Analyseer het systeem om manieren te vinden om de kloof tussen de huidige prestaties van het systeem of proces en het gewenste doel te dichten.	Analyse: Analyseer innovatieve concepten voor producten en diensten om waarde te creëren voor de klant.
Improve: Verbeter het systeem.	Design: Ontwerp nieuwe processen, producten en diensten om klantwaarde te leveren.
Control: Controleer het nieuwe systeem.	Verify: Verifieer of de nieuwe systemen functioneren zoals verwacht. Creëer mechanismen om optimale prestaties te blijven garanderen.

Tabel 6: Overzicht DMAIC methode en DMADV methode (aangepast van Pyzdek, 2003)

Samengevat bestaan er duidelijke overeenkomsten tussen de twee methodologieën (Andersson et al., 2006). De eerste drie stappen zijn in beide gevallen hetzelfde. Het onderscheid wordt in de laatste twee stappen gemaakt. Zo zijn de laatste twee stappen van de DMAIC methode gericht op het verbeteren en controleren van bestaande product- of procesinput, terwijl de laatste twee stappen van de DMADV methode gericht zijn op het ontwerpen en controleren van de toekomstige product- of procesinput (Mehrjerdi, 2011).

4.4 Tools

Six Sigma maakt gebruik van een groot aantal analytische, statistische en geavanceerde statistische probleemoplossende tools (Bendell, 2006; Furterer & Elshennawy, 2005; Salah, Rahim, & Carretero, 2010). Deze tools kunnen variatie meten, analyseren, verbeteren en controleren (Bendell, 2006). Het gebruik van deze tools varieert afhankelijk van het type proces dat wordt bestudeerd en de problemen die worden ondervonden (Furterer & Elshennawy, 2005). Tabel 7 geeft een overzicht van de meest gebruikte tools. Zo wordt bijvoorbeeld in de definiërende fase gebruikgemaakt van de Voice-of-Customer (VOC) tool. Deze tool helpt bedrijven om de behoeften van de klant te overtreffen en de klanttevredenheid te vergroten (Magnusson et al., 2003; Mehrjerdi, 2011). Verder wordt er verwezen naar Montgomery (2009) en Pyzdek (2003) voor een uitgebreide literatuur over de tools.

Project fase	Kandidaat Six Sigma tools
Definieer	<ul style="list-style-type: none"> • VOC-tools (brieven, commentaarkarten, enquêtes, focusgroepen) • Quality Function Deployment (QFD) • Project planning tools • Managementtools • SIPOC • Proceskaart • Benchmarking • Projectcharter • Pareto analyse
Meet	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse van meetsystemen • Statistische procesbeheersing (SPC) • Verkennende gegevensanalyse • Beschrijvende statistieken • Data mining • Run-diagrammen • Pareto analyse
Analyseer	<ul style="list-style-type: none"> • Oorzaak- en gevolgdiagrammen • Design of Experiments (DOE) • Inferentiële statistieken (Xs en Ys) • Enumeratieve statistieken (hypothesetests) • SPC • Boomdiagrammen • Simulatie • Brainstormen • Proceskaarten
Verbeter	<ul style="list-style-type: none"> • Krachtvelddiagrammen • Projectplanning en management tools • Failure Mode Effects Analysis (FMEA) • Zeven managementtools • Simulaties • Prototype en pilotstudies
Beheer	<ul style="list-style-type: none"> • Kostenramingsmodellen, wijzigingsbudgetten, biedmodellen • Rapportagesysteem • SPC • FMEA • ISO 900x

Tabel 7: Meest gebruikte Six Sigma tools in elke fase van een project (aangepast van Pyzdek, 2003)

4.5 Effecten

Wanneer Six Sigma zich focust op het verminderen van de variatie zal een uniforme proces output ontstaan (Pacheco, 2015; Nave, 2002). Verder worden nog andere effecten bereikt, zoals het

verbeteren van de productiviteit, kosten, kwaliteit, klanttevredenheid, winstgevendheid, capaciteit, voorspelbaarheid van het proces, concurrentiepositie, werktevredenheid, processtromen, betrouwbaarheid, voorraadniveaus, werk in uitvoering (WIP), marktaandeel, verspilling, verliezen, risico's en defecten (Bendell, 2006; Forbes & Ahmed, 2011; Harry, 1998; Kwak & Anbari, 2006; Nave, 2002; Pacheco, 2015; Su, Chiang, & Chang, 2006; Sunder, 2015; Vivekananthamoorthy & Sankar, 2011).

Daarnaast zorgt het implementeren van Six Sigma ook voor een kortere cyclustijd, een snellere doorlooptijd, een beter begrip van de veranderende eisen en behoeften van de klant en een verandering in de cultuur (Forbes & Ahmed, 2011; Kwak & Anbari, 2006; Nave, 2002; Pacheco, 2015; Su et al., 2006; Sunder, 2015).

4.6 Kritiek

Six Sigma krijgt kritiek op het creëren van elite werknemers door niet iedereen te betrekken (Pacheco, 2015). Daarnaast wordt Six Sigma soms beschuldigd van het ontbreken van een systeemoverzicht (Klefsjö, Wiklund, & Edgeman, 2001; Pacheco, 2015). Er wordt kritiek gegeven dat Six Sigma geen rekening houdt met systeeminteractie. Dit betekent dat processen onafhankelijk van elkaar worden verbeterd terwijl er wel een onderlinge afhankelijkheid bestaat binnen het systeem (Nave, 2002; Pacheco, 2015; Su et al., 2006). Bovendien zou Six Sigma gebrek hebben aan specifieke snelheidsgereedschappen en hebben de projecten een lange looptijd (Su et al., 2006).

Verder beweren Andersson et al. (2006) dat Six Sigma niet altijd een verbetering van de klanttevredenheid omvat. Six Sigma zou zich voornamelijk focussen op de economische besparing en daarna op de klanttevredenheid. Deze visie wordt gedeeld door Arnheiter en Maleyeff (2005) en Bendell (2006). Arnheiter en Maleyeff beweren dat Six Sigma projecten zich richten op inspanningen om de variatie te verminderen ten opzichte van een standaardvoorstel. Dit kan leiden tot het verliezen van de focus op de eisen van de klant en het beperken tot een kostenvermindering. Bendell vult aan dat deze visie ontstaan is door de verschillende gordels. Zo is het verlagen van de kosten de drijfveer voor de Six Sigma projecten, terwijl deze geen directe invloed hebben op de klanttevredenheid. Ten slotte wordt ook kritiek gegeven op de complexiteit van de techniek en de analyse.

4.7 Overzicht

Ten slotte wordt dit hoofdstuk samengevat in een tabel. Tabel 8 geeft een kort overzicht van Six Sigma.

Productieconcept	Six Sigma
Oorsprong	Motorola in de jaren 80
Theorie	Strategische, brede aanpak met verschillende verantwoordelijkheden, rollen en gordels.
Doel	Het verminderen van de variatie op een product of dienst om de klanten tevreden te stellen en het bereiken van een optimaal kwaliteitsniveau van 3,4 defecten per miljoen mogelijkheden.
Toepasbaarheid	Productie-industrie en dienstensector
Methodologie	<ul style="list-style-type: none"> • DMAIC methode: Define, Measure, Analyse, Improve, Control • DMADV methode: Define, Measure, Analyse, Design, Verify
Tools	Analytische, statistische en geavanceerde statistische tools, zoals VOC, Pareto diagram, brainstormen, FMEA en DOE.
Effecten	<ul style="list-style-type: none"> • Uniforme proces output • Verbeteren marktaandeel, concurrentiepositie, productiviteit • Verbeteren winstgevendheid, kosten, voorraadniveaus, WIP • Verbeteren risico's, voorspelbaarheid van proces, verliezen, defecten • Verbeteren processtroom, capaciteit, betrouwbaarheid, verspilling • Verbeteren klanttevredenheid, werktevredenheid, variatie, kwaliteit • Veranderen cultuur in bedrijf • Beter begrip veranderende eisen en behoeften klant • Verkorten cyclustijd • Versnellen doorlooptijd
Kritiek	<ul style="list-style-type: none"> • Creëren elite werknemers • Ontbreken systeemoverzicht • Houdt geen rekening houd met systeeminteractie • Gebrek aan specifieke snelheidsgereedschappen • Lange looptijd projecten • Niet altijd een verbetering van de klanttevredenheid • Focus op kostenvermindering • Andere visie door gordels • Complexe techniek en analyse

Tabel 8: Overzicht Six Sigma

Hoofdstuk 5: Lean Productie

Dit hoofdstuk bespreekt het derde productieconcept, namelijk Lean Productie. Eerst wordt in sectie 5.1 de oorsprong van Lean Productie besproken. Vervolgens komt in sectie 5.2 de definitie van Lean Productie tot stand door de theorie, het doel en de toepasbaarheid te bespreken. Daarnaast bespreekt sectie 5.3 de methodologie en sectie 5.4 de verschillende tools. Bovendien wordt in sectie 5.5 bekeken welke effecten bereikt kunnen worden en bespreekt sectie 5.6 de kritiek. Ten slotte wordt in sectie 5.7 een overzicht gegeven van Lean Productie.

5.1 Oorsprong

Na de Tweede Wereldoorlog waren faciliteiten verwoest en de Japanse fabrikanten konden zich geen grote investering veroorloven om deze opnieuw te bouwen (Bhamu & Sangwan, 2014). De Japanse fabrikanten werden geconfronteerd met het dilemma van een groot tekort aan materiële, financiële en menselijke middelen waardoor werknemers werden gedwongen om verspilling te elimineren (Abdullah, 2003; Russell & Taylor, 2000). Rond 1950 bedachten de Japanse leiders Shigeo Shingo en Taiichi Ohno een nieuw, gedisciplineerd en proces georiënteerd systeem, namelijk het Toyota Productie Systeem (TPS) (Abdullah, 2003; Pacheco, 2015). Het TPS bestond uit twee pilaren: het JIT systeem en het respect voor de mens systeem. Het respect voor de mens systeem wordt ook Jidoka genoemd (Sugimori, Kusunoki, Cho, & Uchikawa, 1977; Wilson, 2009). Jidoka wordt in sectie 5.4.2 besproken.

Vervolgens kwam Toyota met het idee om auto's te produceren met minder investeringen, materialen, ruimte, voorraden, menselijke inspanningen en gebreken (Bhamu & Sangwan, 2014; Wilson, 2009). Deze omstandigheden resulteerden in het ontstaan van Lean Productie (Abdullah, 2003). Zoals eerder vermeld in sectie 2.2 werd Lean Productie geïntroduceerd toen het boek "The Machine that Changed the World" van Womack, Jones en Roos (1990) verscheen. Daarnaast was het TPS het eerste dat gebruikmaakte van Lean Productie omdat Lean Productie hiervan afgeleid is (Abdullah, 2003; Katayama & Bennett, 1996; Singh, Garg, Sharma, & Grewal, 2010; Vivekananthamoorthy & Sankar, 2011). Lean Productie is een synoniem van het TPS (Wilson, 2009).

5.2 Definitie

5.2.1 Theorie

Er ontbreekt een duidelijke definitie van Lean Productie (Hines, Holweg, & Rich, 2004; Karlsson & Åhlström, 1996; Pettersen, 2009). In sectie 5.6 wordt dit verder toegelicht. Toch zou er een goede overeenstemming bestaan over de kenmerken die het concept definiëren (Pettersen, 2009). Zo wordt Lean Productie beschouwd als een team gebaseerde en systematische aanpak om verspilling te identificeren en te elimineren. Door middel van voortdurende verbetering voldoet het product aan de eisen van de klant en wordt er gestreefd naar perfectie (National Institute of Standards and Technology [NIST], 2000; Upadhye, Deshmukh, & Garg; 2010).

Om verspilling te identificeren en te elimineren, is het belangrijk om te weten wat verspilling is. Verspilling is alles wat niet tot de minimale hoeveelheid behoort en dus niet noodzakelijk is voor de productie of geen waarde toevoegt aan het product voor de klant (Gupta & Jain, 2013; Taj & Morosan, 2011; Upadhye et al., 2010). Tot de minimale hoeveelheid behoren apparaten, materialen, onderdelen, ruimte en arbeidstijd die noodzakelijk zijn om waarde aan het product toe te voegen (Russell & Taylor, 2000; Taj & Morosan, 2011). Ohno identificeert zeven soorten verspilling, ook wel Ohno's zeven soorten Muda genoemd (Imai, 2012). Liker (2004) voegt een achtste soort verspilling toe, namelijk de ongebruikte creativiteit van werknemers. Alle soorten verspilling beïnvloeden elkaar en hebben een directe impact op de kosten, de kwaliteit en de productiviteit van de producten (Gaikwad & Sunnapwar, 2020; Gupta & Jain, 2013; Rawabdeh, 2005). Tabel 9 geeft een korte definitie van de acht soorten verspilling. Voor meer uitleg over de acht soorten verspilling wordt verwezen naar Bijlage 3.

Soort verspilling	Definitie
Procesverspilling	Het toevoegen van waarde aan een proces/product die de klant niet zou betalen.
Transport	Het onnodig bewegen van grondstoffen, producten of informatie.
Voorraad	Werk in uitvoering (WIP) dat niet direct gerelateerd is aan een klantbehoefte.
Wachttijd	De tijdsduur van WIP die niet direct gerelateerd is aan een klantvereiste.
Defecten	Fouten in de WIP, eindproducten of diensten die niet voldoen aan de eisen van de klant.
Overproductie	Producten en diensten die verder gaan dan de huidige eisen van de klant.
Beweging	Het onnodig bewegen door mensen.
Ongebruikte menselijke middelen	Het hebben van overtollig personeel voor het proces.

Tabel 9: Acht soorten verspilling (aangepast van Sunder, 2013)

5.2.2 Doel

Het hoofddoel van Lean Productie is het maximaliseren van de klantwaarde door verspilling te elimineren en door producten te produceren aan een hogere kwaliteit, tegen de laagst mogelijke kosten en in de kortst mogelijke tijd (Albert, 2009; Bhamu & Sangwan, 2014; Dennis, 2007; Hu, 2013; Pacheco et al., 2015; Singh et al., 2010; Staats, Brunner, & Upton, 2011; Upadhye et al., 2010; Vivekananthamoorthy & Sankar, 2011).

5.2.3 Toepasbaarheid

Lean Productie is gepopulariseerd van de productie-industrie tot de transactie- en dienstensector (Sunder, 2013). Zo kan Lean Productie succesvol beoefend worden in elk bedrijf waar klanten bestaan en activiteiten plaatsvinden om klanten tevreden te stellen. Bovendien omvat Lean Productie

veel meer dan alleen het ontwerp van het productieproces aangezien elke stap in het proces beschouwd wordt als een servicestap (Arnheiter & Maleyeff, 2005). Volgens Womack et al. (1990) is Lean Productie in elke industrie toepasbaar, maar dit wordt in sectie 5.6 in twijfel getrokken door meerdere auteurs.

5.3 Methodologie

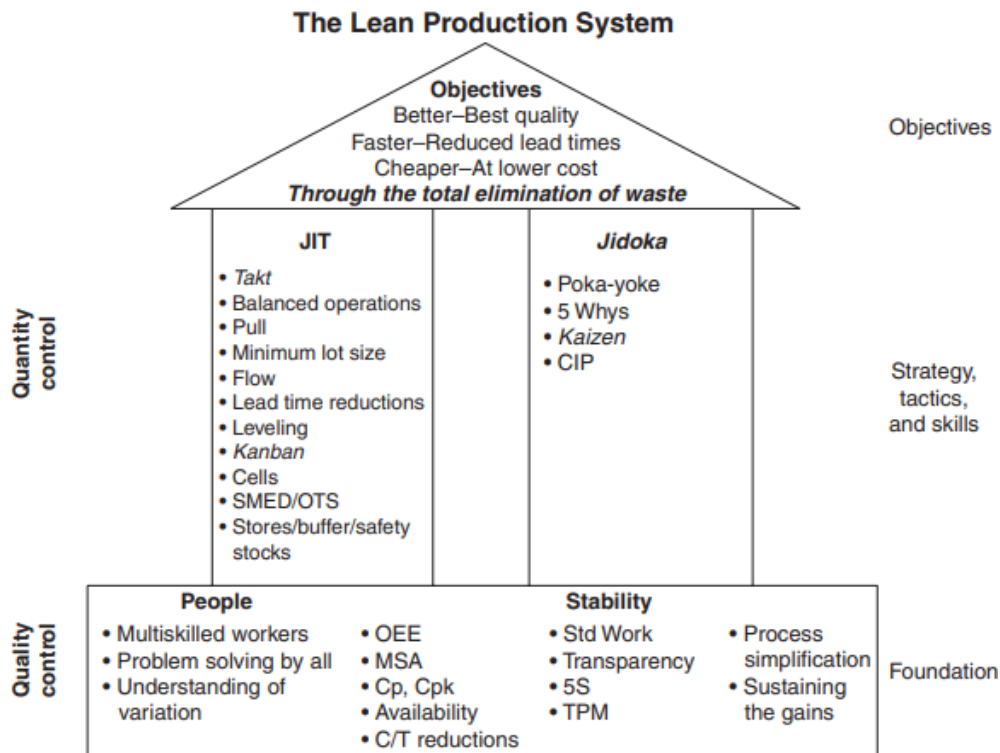
Volgens Womack en Jones (1996) bestaan er vijf belangrijke principes van Lean Productie. Eerst wordt de klantwaarde geïdentificeerd. Vervolgens wordt de waardeestroom in kaart gebracht, dit is een hele reeks van activiteiten (Nave, 2002). Verder wordt een stroom gecreëerd door het proces en wordt het tempo van het pull systeem bepaald. Ten slotte wordt er voortdurend gestreefd naar perfectie en topkwaliteit. Tabel 10 geeft een korte omschrijving van de vijf principes van Lean Productie.

Stappen	Omschrijving
1. Identificeren klantwaarde	Alleen wat de klanten als waarde ervaren, is belangrijk.
2. Waardeestroom in kaart brengen	Analyseer de bedrijfsprocessen om te bepalen welke processen waarde toevoegen. Als een actie geen waarde toevoegt, moet deze worden gewijzigd of geëlimineerd uit het proces.
3. Stroom	Focus op het organiseren van een voortdurende stroom doorheen de productie of toeleveringsketen in plaats van het verplaatsen van goederen in grote partijen.
4. Pull systeem	Het beheren van de vraagketen voorkomt dat grondstoffen op voorraad geproduceerd worden, dat wil zeggen dat de afgewerkte producten door de vraag van de klant doorheen het systeem worden getrokken. Er worden geen activiteiten uitgevoerd, tenzij het stroomafwaarts nodig is.
5. Streven naar perfectie	Het elimineren van elementen die geen toegevoegde waarde hebben (verspilling), is een proces van voortdurende verbetering.

Tabel 10: Vijf principes van Lean Productie (aangepast van Andersson et al., 2006)

5.4 Tools

Lean Productie hanteert voornamelijk analytische tools (Andersson et al., 2006). Er worden verschillende tools gebruikt om verspilling te identificeren, te organiseren, te verminderen of te elimineren, maar ook om werkprocessen te vereenvoudigen (Furterer & Elshennawy, 2005; Gupta & Jain, 2013). Alle leden van de organisatie moeten zich inzetten om te zorgen voor een succesvolle implementatie en uitvoering van de Lean tools en technieken (Pepper & Spedding, 2010). De verschillende tools en technieken worden weergegeven in het huis van Lean Productie, zie Figuur 2. De volgende secties bespreken slechts vier tools, namelijk Just-In-Time (JIT), Jidoka, Kanban en het pull systeem. De andere tools worden opgenomen in Bijlage 4.



Figuur 2: Het huis van Lean Productie (figuur overgenomen van Wilson, 2009)

5.4.1 Just-In-Time (JIT)

Just-In-Time (JIT) is één van de twee pilaren van Lean Productie (Gupta & Jain, 2013). Het doel van JIT is om precies de juiste hoeveelheid, op precies het juiste moment en op precies de juiste plaats te leveren. Om JIT leveringen te bereiken, is het streven naar foutloze onderdelen een voorwaarde. Verder zijn er nog drie belangrijke factoren om het JIT principe te bereiken, namelijk het verminderen van de lotgroottes, de buffergroottes en de doorlooptijden van de orders (Karlsson & Åhlström, 1996).

5.4.2 Jidoka

Jidoka is de tweede pilaar van Lean Productie. Het kenmerk dat Jidoka onderscheidt van andere tools is dat de apparatuur of de hele productielijn stopgezet kan worden wanneer er een storing of een defect optreedt. Elke lijn die over werknemers beschikt, kan stopgezet worden door de werknemers (Sugimori et al., 1977). Jidoka is een manier om machines en mankracht effectiever te gebruiken en om respect te tonen voor mensen. Daarnaast heeft Jidoka een principe dat er geen defecte onderdelen in het productiesysteem mogen komen. Dit hangt samen met het JIT systeem en de Kanban regels (Wilson, 2009).

5.4.3 Kanban

Kanban betekent label of tekenbord (Chiarini, 2013. Wilson, 2009). Meestal is het een kaart maar het kan ook een karretje of een gemarkeerde ruimte zijn (Wilson, 2009). Kanban dient als hulpmiddel

om informatie uit te wisselen tussen de verschillende productielijnen/werkplekken en zorgt voor materiaalbewegingen (Gupta & Jain, 2013). Het doel van Kanban is het vereenvoudigen van de doorstroming, het tot stand brengen van een pull systeem en het beperken van de voorraad. Om te zorgen voor een effectief Kanban systeem moeten alle Kanban regels strikt opgevolgd worden (Wilson, 2009). De zes regels van Kanban worden in Tabel 11 weergegeven.

Nr.	Regel	Functie
1.	Het later proces gaat naar het eerder proces en pikt het aantal items op dat de Kanban aangeeft.	Creëert pull, zorgt voor het ophalen en transporteren van de informatie. Het bevoorradsingsconcept wordt hier gevormd.
2.	Eerdere processen produceren items in een hoeveelheid en volgorde die de Kanban aangeeft.	Geeft productie-informatie en voorkomt overproductie.
3.	Er worden geen artikelen gemaakt of vervoerd zonder een Kanban.	Voorkomt overproductie en overmatig transport.
4.	Bevestig altijd een Kanban aan de goederen.	Dient als werkorder.
5.	Defecte producten worden niet naar het volgende proces gestuurd.	Voorkomt dat defecte onderdelen verder gaan en identificeert een defect proces.
6.	Vermindering van het aantal Kanbans verhoogt de gevoeligheid van de Kanbans.	Voorraadvermindering vermindert verspilling en maakt het systeem gevoeliger.

Tabel 11: De zes regels van Kanban (aangepast van Wilson, 2009)

5.4.4 Pull systeem

In tegenstelling tot het traditionele push systeem, dat gebaseerd is op de voorspelde vraag, is een pull systeem gebaseerd op de werkelijke vraag van de klant (Gupta & Jain, 2013). Het pull systeem wordt gekenmerkt door twee kenmerken. Ten eerste beschikt een pull systeem over een maximaal voorraadvolume. Dit komt bijvoorbeeld voor wanneer een Kanban systeem gebruikt wordt. Ten tweede start de productie alleen wanneer de klant een signaal geeft en de voorraad gebruikt is. Dit zorgt voor het minimaliseren van overproductie (Wilson, 2009).

5.5 Effecten

Er worden veel effecten vastgesteld wanneer Lean Productie zich focust op het maximaliseren van de klantwaarde. Zo ontstaat er een vermindering van de doorlooptijd, herbewerkingen, voorraad, WIP, kosten, menselijke inspanningen, kans op schade of veroudering en het aantal fouten bij de orderverwerking (Cook, 1994; Forbes & Ahmed; Gupta & Jain, 2013; Nave, 2002; Pacheco, 2015; Su et al., 2006; Sunder, 2015). Daarnaast worden ook verbeteringen vastgesteld van de winst, verwerkingstijd, cyclustijd, opstarttijd, kwaliteit, defecten, werktevredenheid, werknemersmoreel, werkomgeving, teambeslissingen, apparatuur en effectieve communicatie (Bhamu & Sangwan, 2014; Cook, 1994; Sunder, 2015; Wilson, 2009).

Bovendien bereikt Lean Productie ook andere effecten, zoals het genereren van een uniforme proces output, het verwijderen van verspilling, het besparen van ruimte, het verhogen van de productiviteit en klanttevredenheid en het veranderen van de cultuur in het bedrijf (Corbett & Klassen, 2006; Gupta & Jain, 2013; Pacheco, 2015; Pampanelli, Found, & Bernardes, 2014; Su et al., 2006; Sunder, 2015). Verder zorgt het vereenvoudigen van processen ook voor minder variatie (Nave 2012).

5.6 *Kritiek*

Zoals eerder vermeld in sectie 5.2.1, ontbreekt er een duidelijke definitie van Lean Productie. Dit komt omdat het begrip voortdurend in ontwikkeling is (Hines, Holweg, & Rich, 2004; Karlsson & Åhlström, 1996; Pettersen, 2009). Hierdoor lopen de formuleringen van het algemene doel uit elkaar en ontstaat een discussie over het doel van Lean Productie. Zo stellen sommige auteurs in het literatuuronderzoek van Pettersen (2009) dat verspilling geëlimineerd wordt om de klantwaarde te verhogen, terwijl andere auteurs stellen dat het elimineren van verspilling een strategie is om de kosten te verlagen.

Bovendien trekt Pettersen (2009) ook de toepasbaarheid in alle industrieën in twijfel omdat het logisch zou zijn dat de Japanners de kennis van Lean Productie zouden verspreiden over de gehele binnenlandse Japanse industrie. Hij beweert dat de enige echte Lean producenten in Japan beperkt zijn tot de automobielenindustrie, zoals Toyota, Honda en Mazda. Andere industriesectoren in Japan presteren op hetzelfde niveau als de westerse concurrenten of zelfs slechter. Deze mening wordt gedeeld door Andersson et al. (2006), Keys en Miller (1984) en Cooney (2002). Zo trekken Andersson et al. de toepasbaarheid in twijfel omdat Lean Productie ontwikkeld is voor productie- en distributiesituaties. Volgens Keys en Miller heeft Lean Productie niet voldoende aandacht gekregen buiten de auto-industrie. Verder stelt Cooney dat de mogelijkheid om Lean te worden sterk afhankelijk is van zakelijke voorwaarden waaraan niet altijd wordt voldaan.

Ten slotte krijgt Lean Productie kritiek over het gebrek aan flexibiliteit. Organisaties die Lean Productie toepassen, kunnen zeer gevoelig worden voor de gevolgen van veranderingen. Hierdoor hebben Lean organisaties minder flexibiliteit en minder kansen om op nieuwe omstandigheden te reageren (Dove, 1999). Ook Gupta en Jain (2013) beschouwen de volatiliteit van de vraag als een barrière.

5.7 Overzicht

Ten slotte wordt dit hoofdstuk samengevat in een tabel. Tabel 12 geeft een kort overzicht van Lean Productie.

Productieconcept	Lean Productie
Oorsprong	Japan door Toyota in de jaren 90
Theorie	Team gebaseerde en systematische aanpak om acht soorten verspilling te identificeren en te elimineren
Doel	Het maximaliseren van de klantwaarde door verspilling te elimineren en door producten te produceren aan een hogere kwaliteit, tegen de laagst mogelijke kosten en in de kortst mogelijke tijd.
Toepasbaarheid	Productie-industrie, transactie- en dienstensector
Methodologie	Vijf principes: identificeren klantwaarde, in kaart brengen waardeestroom, creëren stroom, pull systeem en streven naar perfectie.
Tools	Analytische tools, zoals JIT, Jidoka, Kanban, Kaizen, pull systeem en SMED.
Effecten	<ul style="list-style-type: none"> • Verbeteren cyclustijd, opstarttijd, verwerkingstijd, defecten, kwaliteit • Verbeteren werkomgeving, werknemersmoreel, teambeslissingen • Verbeteren winst, communicatie, werktevredenheid, apparatuur • Verminderen kosten, doorlooptijd, voorraad, WIP, herbewerkingen • Verminderen verspilling, variatie, kans op schade/veroudering • Verminderen aantal fouten bij orderverwerking, menselijke inspanning • Verhogen klanttevredenheid, productiviteit • Genereren uniforme proces output • Vereenvoudigen processen • Veranderen cultuur in bedrijf • Besparen ruimte
Kritiek	<ul style="list-style-type: none"> • Onduidelijke definitie • Verspilling elimineren als strategie om kosten te verlagen • Niet in alle industrieën van toepassing • Gebrek aan flexibiliteit

Tabel 12: Overzicht Lean Productie

Hoofdstuk 6: Theory of Constraints (TOC)

Dit hoofdstuk bespreekt het vierde en laatste productieconcept, namelijk Theory of Constraints (TOC). Eerst wordt in sectie 6.1 de oorsprong van TOC besproken. Vervolgens komt in sectie 6.2 de definitie van TOC tot stand door de theorie, het doel en de toepasbaarheid te bespreken. Daarnaast bespreekt sectie 6.3 de methodologie en sectie 6.4 de verschillende tools. Bovendien wordt in sectie 6.5 bekeken welke effecten bereikt kunnen worden en bespreekt sectie 6.6 de kritiek. Ten slotte wordt in sectie 6.7 een overzicht gegeven van TOC.

6.1 Oorsprong

TOC is ontstaan uit het Optimized Production Timetables (OPT) systeem (Goldratt, 1980). Later werd het bekend onder de commerciële naam Optimized Production Technology (OPT) (Rahman, 1998). Hierbij hoorde een logistiek systeem voor de materiaalstroom, ook wel Drum-Buffer-Rope (DBR) genoemd. Vervolgens verschoof de focus van het concept geleidelijk aan van de productievloer naar alle aspecten van het bedrijfsleven. In 1987 werd het algemene concept bekend als TOC. TOC werd ontwikkeld door Eli Goldratt (1988) en hij beschouwde TOC als: "een algemene theorie voor het runnen van een organisatie".

6.2 Definitie

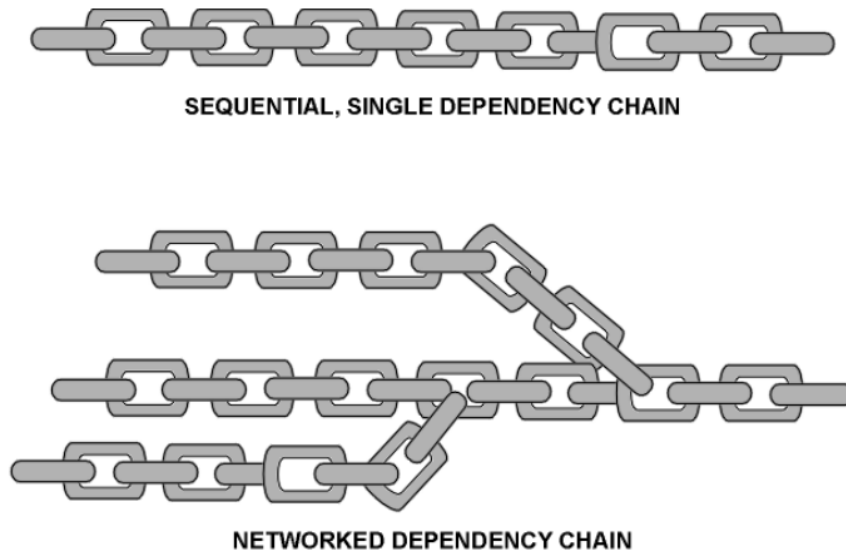
6.2.1 Theorie

TOC is een managementfilosofie en een belangrijk instrument om kernproblemen op te lossen (Goldratt 1990a; Şimşit, Günay, & Vayvay, 2014). De theorie achter TOC is volgens Goldratt (1990b) gebaseerd op het idee dat elk systeem over ten minste één beperking beschikt die elke situatie van het systeem belemmert om een hoog prestatieniveau te bereiken wat de doelstellingen betreft. Wanneer dit niet van toepassing is, zou de winstgevendheid van het systeem eindeloos zijn. Beperkingen zorgen voor mogelijkheden tot verbetering en worden beschouwd als positief en niet als negatief, zoals bij het conventionele denken (Rahman, 1998).

Bovendien legt TOC de focus op de zwakste schakel(s) in de keten (Dettmer, 2001; Şimşit et al., 2014). De kracht van de hele keten wordt beperkt door de maximale belasting die de zwakste schakel kan verdragen (Dettmer, 2001). Elk systeem wordt beschouwd als een keten van onderling samenhangende activiteiten of processen (Goldratt, 1988). Figuur 3 toont twee mogelijke schakelconfiguraties.

6.2.2 Doel

Het hoofddoel van TOC is het beheren van de beperkingen (Nave, 2002; Pacheco, 2015). Wanneer bedrijven de beperkingen in hun systeem kunnen beheren, hebben bedrijven een voortdurend verbeteringsbeheersysteem en kan een hogere winst behaald worden (Şimşit et al., 2014).



Figuur 3: Systemen als schakels (figuur overgenomen van Dettmer, 2001)

6.2.3 Toepasbaarheid

Aangezien TOC op systeemverbetering gebaseerd is, is het niet van belang onder welke sector het bedrijf valt. Elk systeem dat een doel heeft, kan TOC toepassen (Gupta & Boyd, 2008; Şimşit et al., 2014). Ook is TOC een belangrijke theorie voor bedrijven die hun eigen structuur in termen van processen beter willen begrijpen (Şimşit et al., 2014).

6.3 Methodologie

Het werkingsprincipe van TOC legt de nadruk op een voortdurend verbeteringsproces en bestaat uit vijf focusstappen (Goldratt, 1990a). De opeenvolgende focusstappen richten zich op het identificeren en beheren van de beperkingen die het bedrijf weerhoudt om zijn doelen te bereiken (Gupta & Snyder, 2009; Kim, Mabin, & Davies, 2008; Tsou, 2013). De vijf focusstappen worden kort besproken.

Stap 1: Identificeer de systeembeperkingen

Ten eerste worden de beperking(en) van het systeem geïdentificeerd. Deze beperkingen kunnen fysiek of bestuurlijk zijn. Fysieke beperkingen, zoals materialen, machines en mensen, komen in het algemeen het minst voor. Grotendeels komen vooral veel bestuurlijke beperkingen voor in de vorm van beleid, procedures, regels en methoden (Goldratt, 1990b). Een voorbeeld van een bestuurlijke beperking is een limiet zetten op het plannen van overwerk (Reid, 2007).

Stap 2: Het maximaal benutten van de systeembeperkingen

Ten tweede wordt beslist hoe de beperkingen van het systeem worden benut (Rahman, 1998). Deze stap is bedoeld om de bestaande operationele opstelling te maximaliseren vanuit de beperkende

bron binnen het systeem. Dit betekent dat het management zich moet richten op het elimineren van alle verspilling, niet-productieve tijd en activiteiten op de beperking (Reid, 2007). Het proces wordt verbeterd of ondersteund om de capaciteit van het productiesysteem te vergroten (Nave, 2002; Reid, 2007).

Stap 3: Al het andere ondergeschikt maken aan de systeembeperkingen

Ten derde worden alle middelen aangepast aan de algemene beslissing die in bovenstaande stappen gemaakt werden. Ook moeten alle andere componenten van het systeem (de niet-beperkingen) aangepast worden om de maximale effectiviteit van de beperking te ondersteunen (Rahman, 1998). Ondergeschikte processen worden meestal eerder gevonden dan de beperking. De processen na de beperking zijn geen grote zorg omdat deze al onder de capaciteit produceren. Als dit niet zo zou zijn, waren het beperkingen (Nave, 2002).

Stap 4: Verhoog de systeembeperkingen

Ten vierde worden alle maatregelen genomen die nodig zijn om de beperking te verhogen (Nave, 2002). Als de bestaande beperkingen in het systeem nog steeds het meest kritisch zijn, worden strikte en grote veranderingen uitgevoerd. Deze grote veranderingen hebben betrekking tot het verbeteren van de prestaties van deze beperkingen, zoals een reorganisatie of een kapitaalverbetering (Nave, 2002, Rahman, 1998). Naarmate de prestaties van de beperkingen verbeteren, kan het potentieel van de niet-beperkte bronnen beter gerealiseerd worden. Dit zorgt voor verbeteringen in de algemene prestaties van het systeem. Vervolgens zal het systeem een nieuwe beperking identificeren (Rahman, 1998).

Stap 5: Ga terug naar stap één. Sta niet toe dat traagheid een systeembeperking veroorzaakt.

Ten slotte wordt terug naar de eerste stap verwezen zodra de beperking is doorbroken. Het doorbreken van de beperking kan ook gebeuren in één van de vorige stappen (Nave, 2002; Rahman, 1998). De systeembeperking wordt dan verplaatst naar een andere locatie in het systeem of in de procesketen. Alle prestaties van het hele systeem worden opnieuw geëvalueerd (Nave, 2002). Traagheid, ook inertie genoemd, mag niet de nieuwe beperking worden (Rahman, 1998).

6.4 Tools

TOC maakt gebruik van verschillende tools. In sectie 6.4.1 worden drie algemene vragen besproken samen met vijf denkprocestools. Daarnaast bespreekt sectie 6.4.2 het Drum-Buffer-Rope systeem.

6.4.1 Denkprocessen

Goldratt (1994) ontwikkelde een set tools die ook bekend staan als de denkprocessen. Denkprocessen analyseren de oorzaak-gevolg relaties en richten zich op factoren die het systeem verhinderen om zijn doelen te bereiken. Er bestaan vijf denkprocestools, namelijk Current Reality

Tree (CRT), Evaporating Cloud (EC), Future Reality Tree (FRT), Prerequisite Tree (PRT) en Transition Tree (TT) (Kim et al., 2008). Volgens Goldratt (1990b) moeten de managers drie algemene vragen stellen om de beperkingen aan te pakken en om het verbeteringsproces te versnellen. In Tabel 13 worden de drie algemene vragen weergegeven samen met de gebruikte denkprocestools. Deze drie vragen zijn:

- 1) Wat te veranderen?
- 2) Naar wat te veranderen?
- 3) Hoe kan de verandering worden veroorzaakt?

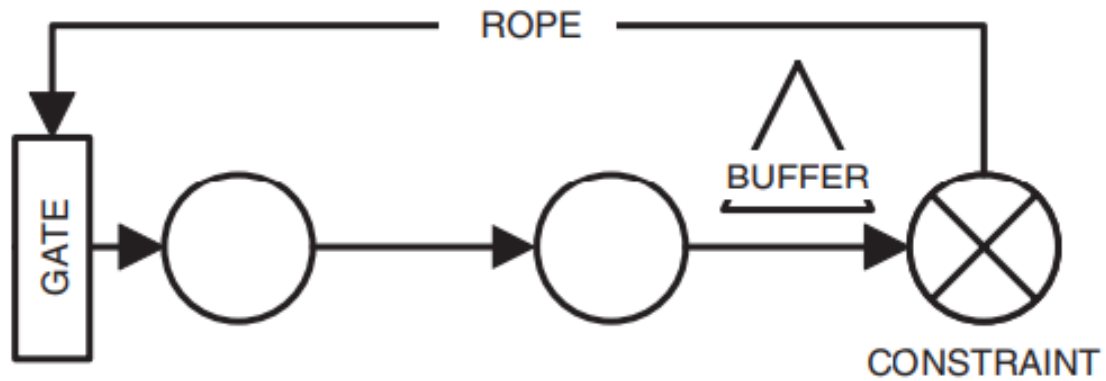
Vraag	Doel vraag	Tools	Functie tools
1)	Het identificeren van de hoofdproblemen.	CTR	Helpt bij het identificeren van wat er in het systeem veranderd moet worden.
2)	Het ontwikkelen van eenvoudige en praktische oplossingen.	EC	Krijgt inzicht in het conflict binnen de systeemomgeving of in de realiteit die het conflict veroorzaakt. EC geeft ook ideeën van wat er veranderd kan worden om het conflict te doorbreken en om het kernprobleem op te lossen.
		FRT	Neemt de ideeën van EC als uitgangspunt voor verandering en toont aan dat de nieuwe realiteit in feite een oplossing zou bieden voor de onbevredigende systeemvoorwaarden en geen nieuwe zou veroorzaken.
3)	Het implementeren van de oplossingen.	PRT	Bepaalt de obstakels voor de implementatie en de gewenste volgorde om deze te overwinnen.
		TT	Is een middel om een stap-voor-stap-veranderingsimplementatieplan op te stellen.

Tabel 13: Algemene vragen en bijhorende denkprocestools (Kim et al., 2008; Rahman, 2002)

6.4.2 Drum-Buffer-Rope systeem

Het Drum-Buffer-Rope (DBR) systeem is een algemene techniek om middelen te beheren zodat de doorvoer wordt gemaximaliseerd (Gupta & Snyder, 2009). Figuur 4 illustreert het DBR systeem.

De trommel (drum) is het systeemschema, de snelheid of het tempo van de productie die door de beperking van het systeem wordt ingesteld (Gupta & Snyder, 2009; Naor, Bernardes, & Coman, 2013; Rahman, 1998). Het zorgt voor het synchronisatieritme van de takenstroom door het systeem (Naor et al., 2013). Meestal wordt de trommel gedreven door de vraag van buitenaf. Wanneer de externe vraag hoger is dan het systeem aankan, is de trommel het schema voor de meest capaciteitsbeperkte bron (CCR) (Dettmer, 2001).



Figuur 4: Drum-Buffer-Rope (figuur overgenomen van Watson & Patti, 2008)

De buffers zijn strategisch geplaatst om de output van het systeem te beschermen tegen zowel variaties en onzekerheden als het verzendschema en de capaciteitsbeperkte bron (CCR) (Dettmer, 2001; Gupta & Snyder, 2009; Naor et al., 2013; Rahman, 1998). Zo zorgen buffers ervoor dat het systeem volledig benut wordt en de doorvoer gemaximaliseerd wordt (Gupta & Snyder, 2009; Naor et al., 2013; Rahman, 1998).

Het touw (rope) is een eenvoudig communicatiesysteem tussen de kritieke controlepunten om hun synchronisatie te verzekeren en draagt informatie over van de buffer naar de planner (Dettmer, 2001; Gupta & Snyder, 2009; Naor et al., 2013; Rahman, 1998). De functie van het touw is om te voorkomen dat de processtappen voor de CCR overspoeld worden met werk dat de CCR niet kan verwerken (Dettmer, 2001). Verder coördineert het ook de vrijgave van taken en materialen in het productieproces op basis van het verbruik van de buffer (Dettmer, 2001; Naor et al., 2013). Het is belangrijk dat het hele mechanisme in harmonie werkt (Naor et al., 2013).

6.5 Effecten

In sectie 6.2.2 werd vermeld dat het beheren van de beperkingen kan zorgen voor een hogere winst. Vervolgens helpt TOC om de klantwaarde te maximaliseren terwijl de kosten worden geminimaliseerd (Hein, 1999). De denkwijze van de managers wordt ook veranderd (Şimsit et al., 2014).

Verder worden positieve effecten vastgesteld in de doorlooptijd van het product of dienst (Nave, 2002; Pacheco, 2015). Zo zorgt het verminderen van verspilling in de beperking voor een hogere omloopsnelheid en een betere doorlooptijd. Daarnaast zorgt het beheren van de beperking ook voor andere effecten zoals het verbeteren van de cyclustijd, variatie, voorraad, kwaliteit en productiviteit van de productie (Goldratt & Fox, 1987; Pacheco, 2015; Razaee & Elmore, 1997). Door de voorraad te verbeteren, wordt een lagere WIP bereikt. Dit zorgt op zijn beurt voor betere kwaliteit van het product, lagere fabricagekosten en minder doorlooptijd. Bovendien zorgt een lagere doorlooptijd ervoor dat het bedrijf beter kan inspelen op de behoeften van de klant (Cook, 1994).

6.6 *Kritiek*

Volgens Pacheco (2015) negeert TOC delen van de organisatie om zich te focussen op de productie en de beperkingen. Vervolgens heeft de implementatie van TOC ook een hoge moeilijkheidsgraad. Ook stelt Nave (2002) dat slechts een paar bevoegde mensen de veranderingen moeten begrijpen en is er sprake van een minimale betrokkenheid van de werknemers. Verder worden ook geen data-analyses gehanteerd.

6.7 Overzicht

Ten slotte wordt dit hoofdstuk samengevat in een tabel. Tabel 14 geeft een kort overzicht van TOC.

Productieconcept	Theory of Constraints (TOC)
Oorsprong	Eli Goldratt in 1987
Theorie	Managementfilosofie gebaseerd op het idee dat elk systeem over ten minste één beperking beschikt die elke situatie van het systeem belemmert om een hoog prestatieniveau te bereiken wat de doelstellingen betreft.
Doel	Beheren beperkingen om een hogere winst te bereiken
Toepasbaarheid	Elk systeem dat een doel heeft, sector is niet van belang
Methodologie	Vijf focusstappen: <ol style="list-style-type: none"> 1) Identificeer systeembeperkingen 2) Het maximaal benutten van de systeembeperkingen 3) Al het andere ondergeschikt maken aan de systeembeperkingen 4) Verhoog de systeembeperkingen 5) Ga terug naar stap één, sta niet toe dat traagheid een systeembeperking veroorzaakt
Tools	<ul style="list-style-type: none"> • Vijf denkprocessen: Current Reality Tree, Evaporating Cloud, Future Reality Tree, Prerequisite Tree en Transition Tree • Drum-Buffer-Rope systeem
Effecten	<ul style="list-style-type: none"> • Verbeteren beperking, doorlooptijd, kwaliteit, cyclustijd • Verminderen voorraad, WIP, variatie, productiviteit, verspilling • Verhogen omloopsnelheid, winst • Veranderen denkwijze managers • Beter inspelen behoeften klant • Maximaliseren klantwaarde • Minimaliseren kosten
Kritiek	<ul style="list-style-type: none"> • Negeert delen van organisatie om te focussen op productie en beperkingen • Implementatie heeft een hoge moeilijkheidsgraad • Slechts een paar bevoegde mensen moeten de veranderingen begrijpen • Minimale betrokkenheid van de werknemers • Geen data-analyses

Tabel 14: Overzicht TOC

Hoofdstuk 7: Vergelijken en combineren productieconcepten

In dit hoofdstuk worden de vier productieconcepten met elkaar vergeleken en gecombineerd. In sectie 7.1 vindt een vergelijkende analyse plaats. Vervolgens bespreekt sectie 7.2 de mogelijke combinaties van de productieconcepten.

7.1 *Vergelijkende analyse*

In onderstaande secties worden de vier productieconcepten vergeleken. Eerst op basis van de literatuurstudie, vervolgens worden andere onderzoeken gebruikt om de eigen waarnemingen te bevestigen, aan te vullen of tegen te spreken. De volgende elementen worden vergeleken en besproken: oorsprong, doelen, toepasbaarheid, betrokkenheid van de werknemers, methodologieën, tools, effecten, kritiek en andere gelijkenissen en verschillen.

7.1.1 *Oorsprong*

De bedrijven en uitvinder(s) worden duidelijk vermeld in de literatuurstudie van **Six Sigma, Lean Productie en TOC**. Six Sigma werd ontwikkeld door Motorola, Lean Productie door Toyota en TOC door Eli Goldratt. TQM daarentegen beschikt over meerdere 'kwaliteitsgoeroes' die een bijdrage leveren aan het productieconcept, zoals Deming, Crosby en Juran. Hierdoor ontstaat verwarring over de betekenis van TQM, zie sectie 3.6. Daarnaast zijn **zowel TQM als Lean Productie** ontstaan in Japan terwijl Six Sigma ontwikkeld werd door een Japans bedrijf dat het Motorola fabriek overnam in de Verenigde Staten.

Bendell (2006) stelt dat **Six Sigma en Lean Productie** zich in grote mate gevormd hebben in Noord-Amerika. Ook stelt hij dat Six Sigma een Amerikaanse verpakking is van een statistische benadering die veel in de Japanse industrie wordt gebruikt. Dahlgaard en Dahlgaard-Park (2006) en Andersson et al. (2006) daarentegen beweren dat **TQM, Six Sigma en Lean Productie** dezelfde oorsprong hebben. Volgens Dahlgaard en Dahlgaard-Park bestaan Six Sigma en Lean Productie uit concepten en filosofieën die dezelfde oorsprong hebben als TQM. Andersson et al. vullen aan dat de productieconcepten zich anders hebben ontwikkeld na de Japanse kwaliteitsevolutie.

7.1.2 *Doel*

Wanneer naar de verschillende doelen wordt gekeken, bestaan er een aantal overeenkomsten. **Zowel TQM als Six Sigma en Lean Productie** hebben de klant in hun doel staan. TQM wil de interne en externe klanttevredenheid verbeteren, Six Sigma wil de klanten tevredenstellen en Lean Productie wil de klantwaarde maximaliseren. Ook de manier waarop deze drie productieconcepten hun doel behalen, komen overeen. TQM wil minder middelen gebruiken, Six Sigma vermindert de variatie en defecten en Lean Productie elimineert verspilling. Verder leggen deze drie productieconcepten ook de focus op betere kwaliteit. TOC wil beperkingen beheren en heeft geen gemeenschappelijke doelen.

Andersson et al. (2006) en Snee (2010) bevestigen dat **Six Sigma en Lean Productie** gemeenschappelijke doelen hebben. Volgens Snee verminderen beide productieconcepten de verspilling, de cyclustijd en de activiteiten die geen toegevoegde waarde hebben. Andersson et al. beweren dat **zowel TQM als Six Sigma en Lean Productie** zich focussen op processen. Antony (2011) en Oláh en Popp (2016) bevestigen dat Lean Productie zich focust op processen en vullen aan dat Six Sigma de focus legt op het probleem. Antony stelt dat Six Sigma gebruikt wordt om problemen aan te pakken op het gebied van proceseffectiviteit, terwijl Lean Productie essentieel gebruikt wordt om proces inefficiëntie vraagstukken aan te pakken.

Verder bevestigt Sunder (2015) dat **zowel Six Sigma als Lean Productie** zich focussen op de klant. Pettersen (2009) daarentegen stelt dat **TQM en Lean Productie** een andere focus op de klant leggen. Zo legt TQM een grote focus op de klanten en moet elke verbetering gebaseerd zijn op een onderzoek van de eisen van de interne en externe klant. Lean Productie legt geen nadruk op de klant, maar wel op het elimineren van verspilling en het verminderen van de doorlooptijd waardoor de klanttevredenheid stijgt.

George, Rowlands en Kastle (2003) en Pettersen (2009) bevestigen dat **zowel TQM als Lean Productie** verspilling elimineren. George et al. stellen dat TQM, net zoals Six Sigma, elementen heeft waar verspilling geëlimineerd wordt en waar geen defecten bereikt worden. Pettersen stelt ook dat het verminderen van verspilling een belangrijk begrip is voor TQM en Lean Productie. Desondanks gebruiken beide productieconcepten een andere definitie. Lean Productie gebruikt de zeven soorten verspilling van Ohno terwijl TQM een zeer algemene definitie heeft van slechte kwaliteitskosten, inclusief alles wat door verbetering kan worden geëlimineerd. Bovendien leggen ook beide productieconcepten een andere focus op kwaliteit. TQM legt een grote focus op kwaliteit terwijl Lean Productie minder aandacht geeft aan kwaliteit. Dit komt door de focus op het JIT systeem. Verder vult Dettmer (2001) aan dat kwaliteit essentieel is voor het succes van **Lean Productie en TOC** en hebben beide productieconcepten ook het verhogen van de winst gemeenschappelijk.

7.1.3 Toepasbaarheid

Op vlak van de toepasbaarheid kunnen **zowel TQM als Six Sigma en Lean Productie** toegepast worden in de productie-industrie en de dienstensector en kan TOC toegepast worden in elk systeem dat een doel heeft. Toch wordt de toepasbaarheid van Lean Productie in sectie 5.7 in twijfel getrokken. Volgens Andersson et al. (2006), Keys en Miller (1984), Cooney (2002) en Pettersen (2009) is Lean Productie ontwikkeld voor productie- en distributiesituaties en heeft Lean Productie niet voldoende aandacht gekregen buiten de automobiellindustrie. Ook zouden de echte Lean producenten in Japan beperkt zijn tot de automobiellindustrie en presteren andere industriesectoren in Japan op hetzelfde niveau als westerse concurrenten of zelfs slechter.

7.1.4 Betrokkenheid van de werknemers

Bij het vergelijken van de betrokkenheid van de werknemers wordt vastgesteld dat **TQM en Lean Productie** iedereen in het bedrijf betrekken. Six Sigma betreft niet iedereen en maakt gebruik van

verschillende gordels voor de werknemers. Bij TOC ontstaat er een discussie over de betrokkenheid. Nave (2002) beweert in sectie 6.6 dat slechts een paar bevoegde mensen de veranderingen moeten begrijpen en is er sprake van een minimale betrokkenheid van de werknemers.

Volgens Dettmer (2001) en Moore en Scheinkopf (1998) is de betrokkenheid van de werknemers belangrijk voor **zowel TOC als Lean Productie**. Dettmer vult aan dat de arbeidsparticipatie een belangrijke rol speelt aangezien het succes hiervan afhankelijk is. Volgens Moore en Scheinkopf beschouwen beide productieconcepten de arbeidskrachten als bron van de verbeteringsinspanning. Vervolgens bevestigen Andersson et al. (2006) het verschil tussen **TQM en Six Sigma**. TQM legt de nadruk op de inzet en betrokkenheid van alle werknemers terwijl Six Sigma verschillende verantwoordelijkheden en rollen toepast.

De onderzoeken van Alhuraish, Robledo en Kobi (2017), Antony (2011), Božek en Hamrol (2012), Higgins (2005) en Sunder (2015) bevestigen de verschillende betrokkenheid tussen **Six Sigma en Lean Productie**. Higgins vult aan dat Six Sigma gerund wordt door enkele personen binnen het bedrijf. Lean Productie daarentegen omvat het opleiden van alle niveaus van het bedrijf om niet-waarde toevoegende activiteiten te identificeren en te elimineren. Volgens George (2003) is de verschillende betrokkenheid van de werknemers een reden om Six Sigma te integreren met Lean Productie. Deze combinatie wordt in sectie 7.2.1 besproken.

7.1.5 Methodologie

De vier productieconcepten maken allemaal gebruik van een aantal stappen of principes. Zo hanteert Lean Productie vijf principes terwijl TQM, Six Sigma en TOC verschillende stappen toepassen die een systematisch kader hebben. In het algemeen bestaan de methodologieën van **TQM, Six Sigma en TOC** uit soortgelijke stappen, zoals het identificeren van de doelstellingen/problemen, het uitvoeren van een verbeteringen/veranderingen en het controleren van de resultaten.

Antony (2011) stelt enkele verschillen vast tussen de methodologieën van **Six Sigma en Lean Productie**. Zo vereist de DMAIC methodologie van Six Sigma meer investeringen en een intensievere training dan de vijf principes van Lean Productie. Volgens Dahlgaard en Dahlgaard-Park (2006) is de DMAIC methodologie gemakkelijker te begrijpen wanneer het wordt vergeleken met de vijf principes van Lean Productie. Toch stelt Pacheco (2015) dat Lean Productie het gemakkelijkst is om te implementeren en dat de moeilijkheidsgraad van Six Sigma gemiddeld is. Daarnaast is TOC het moeilijkst om te implementeren.

Volgens Ehie en Sheu (2005) bestaan er aantal overeenkomsten tussen de DMAIC methodologie van **Six Sigma** en de vijf focusstappen van **TOC**. Zo zijn beide productieconcepten zeer consistent met de focus op het identificeren van belangrijke variabelen, het ontwerpen van kritische maatregelen, het verbeteren van sleutelprocessen, het veranderen van huidige systemen om verbetering te ondersteunen en het monitoren van de resultaten van verbetering. Ook zouden Six Sigma en TOC elkaar goed aanvullen waardoor een combinatie van deze twee productieconcepten wordt voorgesteld, zie sectie 7.2.2.

Daarnaast stellen ook Moore en Scheinkopf (1998) en Dettmer (2001) drie overeenkomsten vast tussen de vijf principes van **Lean Productie** en de vijf focusstappen van **TOC**. Een eerste overeenkomst is dat beide productieconcepten de waarde laten bepalen door de klant. Voor TOC is de waarde perceptie van de klant een belangrijke factor om de winst van het product te verhogen. Een tweede overeenkomst is de waardeestroom. Lean Productie gebruikt deze term en verwijst naar het hele systeem van productie terwijl TOC de waardeestroom behandelt als een toeleveringsketen die de klant omvat. Een derde overeenkomst is het pull systeem. Lean Productie maakt gebruik van pull systeem waar alle soorten voorraad tot een minimum worden beperkt, vooral de afgewerkte voorraad en WIP voorraad. Er is geen productie tenzij een Kanban wordt ontvangen. De essentie van het DBR systeem is ook trekken. Het DBR systeem helpt met het synchroniseren van de beperkingen en de marktvraag (trommel) en zorgt ook voor het vrijgeven van materiaal in het systeem (touw).

Volgens Moore en Scheinkopf (1998) streven **Lean Productie en TOC** naar perfectie. Dettmer (2001) daarentegen beweert dat de productieconcepten dit niet gemeenschappelijk hebben. Lean Productie vereist dat elke schakel in de keten hetzelfde tempo heeft en dat de bezetting van de schakels regelmatig wordt aanpast om de individuele efficiëntie zo hoog mogelijk te houden. Er wordt geprobeerd om de lijn zo dicht mogelijk bij een perfect evenwicht te houden. TOC daarentegen moedigt elke schakel aan om onafhankelijk van de andere te zijn. Deze verschillen worden bevestigd door Chakravorty en Atwater (1996) en Cook (1994). Chakravorty en Atwater stellen dat het JIT systeem van Lean Productie de focus legt op het elimineren van verspilling en op het ontwikkelen een stabiele lijn om de materiaalstroom in evenwicht te brengen in plaats van een minimale speling tussen de stations te bereiken. Verder maakt het pull systeem een relatief hoge mate van stilstand mogelijk zodat de gevraagde hoeveelheid flexibel kan worden aangepast. Het DBR systeem daarentegen is een ongebalanceerde lijn om de variabiliteit op de beperkende bron te regelen. Voor de beperking wordt een voorraadbuffer aangelegd om te voorkomen dat de beperking niet wordt uitgevoerd. Verder vult Cook aan dat het JIT systeem pleit voor een evenwichtige fabriek, waar elke bron dezelfde outputcapaciteit heeft in verhouding tot de behoeften van de fabriek. Bij TOC is het aanvaardbaar om te beschikken over een onevenwichtig fabriek waar een bron minder outputcapaciteit heeft dan andere bronnen.

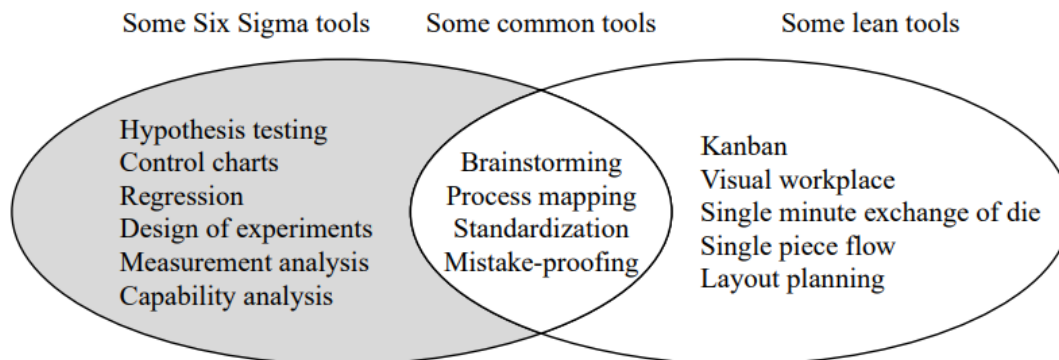
7.1.6 Tools

Er worden veel tools gehanteerd door de vier productieconcepten. **TQM en Six Sigma** hanteren beide analytische en statistische tools waardoor er ook gemeenschappelijke tools gebruikt worden, zoals de zeven kwaliteitstools, zeven managementtools, Design of Experiments (DOE), brainstormen, Faalmodus en effecten analyse (FMEA) en statistische procesbeheersing (SPC). TQM en Lean Productie hebben dezelfde oorsprong en hanteren analytische tools. Zo hanteren **zowel TQM als Lean Productie** Poka-yoke om fouten te voorkomen. TOC maakt ook gebruik van analytische tools, maar deze komen niet overeen met de andere productieconcepten.

Salah et al. (2010) en Bendell (2006) bevestigen de statistische tools van **Six Sigma** en de analytische tools van **Lean Productie**. Volgens Bendell kan het doel van Six Sigma bereikt worden door een uitgebreide set van statistische tools en ondersteunende software toe te passen. Daarnaast

kan het doel van Lean Productie bereikt worden door een proces- en waardeanalyse uit te voeren. Salah et al. stellen een aantal gemeenschappelijke analytische tools vast tussen beide productieconcepten. Deze gemeenschappelijke tools worden in Figuur 5 weergegeven.

Verder stellen Kumar, Antony, Singh, Tiwari en Perry (2006) enkele verschillen vast tussen de tools van **TQM en Six Sigma**. Zo hanteert TQM een uitgebreide set van tools en technieken zonder een duidelijk kader om ze effectief te gebruiken, terwijl Six Sigma een set van tools en technieken op een gedisciplineerde manier integreert.



Figuur 5: Gemeenschappelijke tools van Six Sigma en Lean Productie (figuur overgenomen van Salah et al., 2010)

7.1.7 Effecten

Wanneer de effecten van de vier productieconcepten naast elkaar worden gelegd, zijn er verschillende overeenkomsten. Tabel 15 geeft een overzicht van de effecten die de productieconcepten bereiken.

De vier productieconcepten beschikken over zes gemeenschappelijke effecten. Zo hebben alle productieconcepten een effect op de klanttevredenheid. TQM verbetert zowel de klanttevredenheid als de dienstverlening aan de klanten. Six Sigma bereikt een verbetering van de klanttevredenheid en heeft meer begrip voor de veranderende eisen van de klant. Lean Productie verhoogt de klanttevredenheid en TOC zorgt voor het maximaliseren van de klantwaarde en zorgt ervoor dat bedrijven beter kunnen inspelen op de behoeften van de klant. Ook bereiken alle productieconcepten een hogere winst en lagere kosten. Een ander gemeenschappelijk effect is het bereiken van een betere productiviteit. Zo bereiken Six Sigma, Lean Productie en TOC een betere productiviteit en zorgt TQM voor het verbeteren van de algemene prestaties. Er wordt verondersteld dat productiviteit een deel hiervan is. Verder behalen alle productieconcepten een betere kwaliteit en doorlooptijd. Zo zorgt bijvoorbeeld TQM voor het verbeteren van de algehele kwaliteit van de faciliteiten en voor het verminderen van de duur van de projecten.

Zowel TQM als Six Sigma en Lean Productie een gemeenschappelijk effect op de werknemers. Zo zorgt TQM voor het verbeteren van de relaties met de werknemers en voor het beter benutten

van de talenten. Six Sigma verbetert de werktevredenheid en Lean Productie bereikt een verbetering van werktevredenheid, werknemersmoreel, communicatie en teambeslissingen. Daarnaast zorgen **Six Sigma, Lean Productie en TOC** voor het verminderen van de cyclustijd, voorraad, WIP, variatie en verspilling. Lean Productie elimineert verspilling door bijvoorbeeld minder ruimte en menselijke inspanningen te gebruiken.

Effect op	Het verbeteren van	TQM	Six Sigma	Lean Productie	TOC
Belanghebbenden	Klanttevredenheid	X	X	X	X
	Werktevredenheid	X	X	X	
	Marktaandeel en concurrentiepositie	X	X		
	Aandeelhouders- en marktwaarde	X			
	Boekhoudkundig rendement	X			
Bedrijf	Winst	X	X	X	X
	Kosten	X	X	X	X
	Cultuur		X	X	
	Financiële resultaten	X			
Proces	Kwaliteit	X	X	X	X
	Productiviteit	X	X	X	X
	Doorlooptijd	X	X	X	X
	Cyclustijd		X	X	X
	Voorraad en WIP		X	X	X
	Verspilling		X	X	X
	Variatie		X	X	X
	Uniforme proces output		X	X	
	Proces		X	X	
	Werkomgeving	X		X	
	Defecten		X	X	
	Voorspelbaarheid		X		
	Capaciteit en betrouwbaarheid		X		
	Opstart- en bewerkingstijd			X	
	Beperkingen				X
Omloopsnelheid				X	

Tabel 15: Overzicht effecten productieconcepten

Vervolgens verbeteren **zowel Six Sigma als Lean Productie** het aantal defecten maar op een andere manier. Zo vermindert Six Sigma het aantal verliezen en risico's terwijl Lean Productie zorgt voor het verminderen van de herbewerkingen, de kans op schade/veroudering, de onzekerheid en het aantal fouten bij orderverwerking. Beide productieconcepten zorgen ook voor een uniforme proces output, een verandering in de cultuur en een verbetering van de processen. Zo verbetert Six Sigma de processtromen en vereenvoudigt Lean Productie de processen.

Bovendien verhogen **TQM en Six Sigma** het marktaandeel van het bedrijf en hebben beide productieconcepten een effect op de concurrentie. Zo zorgt bijvoorbeeld TQM voor een betere overleving in de competitieve wereld en behaalt Six Sigma een betere concurrentiepositie. Verder bereiken **zowel TQM als Lean Productie** verbeteringen omtrent de werkomgeving. Zo wordt bij TQM een verbetering vastgesteld van zowel de werkprocedures als van de kwaliteit en veiligheid van de faciliteiten. Lean Productie zorgt voor een betere werkomgeving en apparatuur en ook voor een verhoging van de efficiënte van de gebouwen en faciliteiten.

Ten slotte worden de effecten weergegeven die **geen overeenkomsten** hebben met andere productieconcepten. Zo bereikt TQM een verbetering van de financiële resultaten en de aandeelhouderswaarde van de organisatie. Ook heeft TQM een positieve invloed zowel op de marktwaarde als op het boekhoudkundig rendement. Six Sigma bereikt een betere voorspelbaarheid van het proces en een hogere capaciteit en betrouwbaarheid. Verder zorgt Lean Productie voor een verbetering van de bewerkingstijd en de opstarttijd en zorgt TOC voor het verhogen van de omloopsnelheid en het beheren en verbeteren van de beperking.

7.1.8 Kritiek

Wat de kritiek betreft, hebben **TQM en Lean Productie** een onduidelijke definitie waardoor er verschillende doelen en uitkomsten ontstaan. Daarnaast krijgen **zowel Six Sigma als Lean Productie** kritiek op het werkelijke doel. Zo zou Six Sigma zich voornamelijk focussen op economische besparingen en daarna pas op de klanttevredenheid. Lean Productie zou verspilling elimineren om de kosten te verlagen en niet om de klantwaarde te verhogen. Verder krijgen **Six Sigma en TOC** kritiek over de betrokkenheid van de werknemers. Zo blijkt dat Six Sigma elite werknemers creëert door de verschillende gordels te gebruiken en is er bij TOC sprake van een minimale betrokkenheid van de werknemers. Daarnaast krijgt Six Sigma kritiek over de complexiteit van de techniek en de analyse en heeft de implementatie van TOC een hoge moeilijkheidsgraad.

7.1.9 Andere gelijkenissen en verschillen

Pettersen (2009) stelt nog gelijkenissen en verschillen vast tussen **Lean Productie en TQM**. Beide productieconcepten beschouwen de organisatie als een systeem. Toch is er een klein verschil in het perspectief. Zo is TQM sterk gericht op de interne structuur en integratie van afdelingen binnen de organisatie. Lean Productie daarentegen legt de nadruk op het perspectief van de toeleveringsketen, waarbij de interne productieactiviteiten beschouwd worden als onderdeel van een waardestream van de sub-leverancier naar de eindklant. Ook creëren TQM managers structuren die werknemers ondersteunen bij het produceren van producten van hoge kwaliteit. Lean Productie deelt dit idee, maar gebruikt deze structuur voor een andere reden, namelijk het elimineren van de menselijke factoren uit het systeem door middel van Jidoka en Poka-yoke. Bovendien is de relatie met de leveranciers ook belangrijk voor beide productieconcepten en wordt de nadruk gelegd op het maken van lange termijn partnerships en het uitvoeren van verbeteringen samen met deze leveranciers.

Daarnaast stelt Dettmer (2001) dat **zowel Lean Productie als TOC** kleinere batches ondersteunen en een voortdurende stroom stimuleren in plaats van een grote wachtrij. Verder beweren Cook (1994), Watson en Patti (2008) en Miltenburg (1997) dat TOC minder voorraad nodig heeft dan het JIT systeem van Lean Productie waardoor TOC over meer voorraad beschikt. Volgens Cook kan het JIT systeem niet meer output produceren dan TOC, ook niet met lage hoeveelheden voorraad. Ook Watson en Patti stellen dat TOC gemiddeld 50% minder voorraad nodig heeft dan de voorraad die JIT nodig heeft voor dezelfde productiviteit. Miltenburg vult aan dat TOC over meer voorraad beschikt omdat de beperking voorraad nodig heeft. JIT daarentegen probeert alle voorraad te elimineren waardoor het ook de laagste voorraad heeft.

Ten slotte beweren Cook (1994) en Miltenburg (1997) dat **TOC** meer output genereert dan **Lean Productie**. Volgens Cook zijn de prestaties van TOC beter. Om de prestaties net zo goed te maken als die van TOC, moet het JIT systeem van Lean Productie bijna alle systeemvariabiliteit elimineren. Bovendien concludeert Miltenburg dat TOC de beste aanpak is voor organisaties die de hoogst mogelijke output van hun productiesysteem nodig hebben terwijl Lean Productie de beste aanpak is wanneer er veel concurrentie is en de productie een hoge output moet leveren met de snelst mogelijke cyclustijd.

7.2 Combinaties productieconcepten

Het is mogelijk om alle vier productieconcepten met elkaar te combineren. Deze sectie wordt beperkt tot het bespreken van vier combinaties die in verschillende onderzoeken worden besproken. Eerst bespreekt sectie 7.2.1 de bekendste combinatie, namelijk Lean Six Sigma (LSS). Vervolgens worden andere combinaties besproken die minder bekend zijn. Sectie 7.2.2 bespreekt de combinatie van TOC, Lean Productie en Six Sigma. Verder bespreekt sectie 7.2.3. de combinatie van Lean Productie en TOC. Ten slotte bespreekt sectie 7.2.4 de combinatie van Six Sigma en TOC.

7.2.1 Lean Six Sigma (LSS)

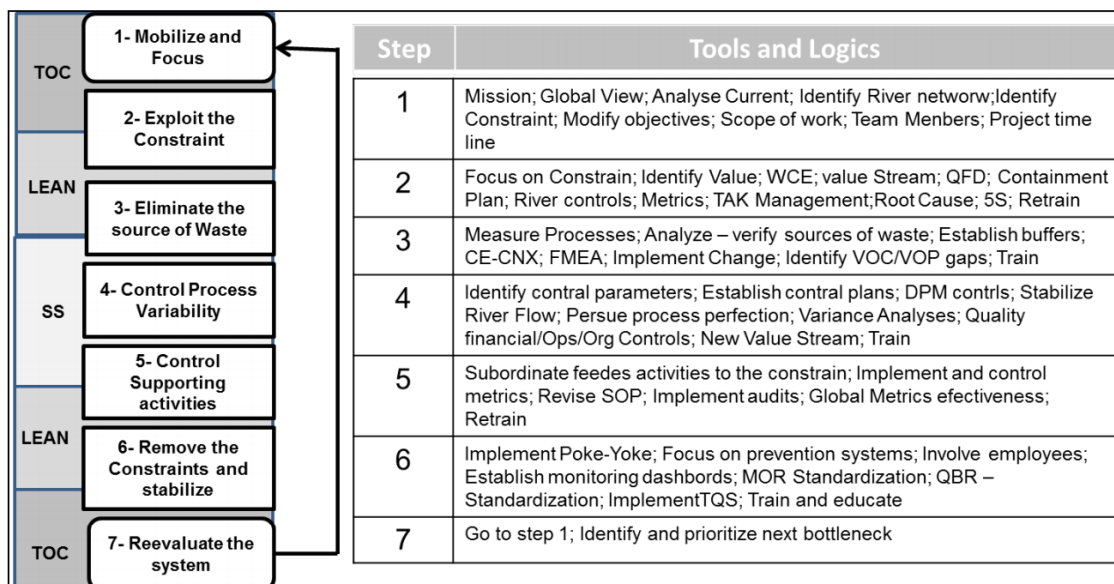
Lean Six Sigma (LSS) is een aanpak die gericht is op het verbeteren van de kwaliteit, het verminderen van de variatie en het elimineren van verspilling in een organisatie (Furterer & Elshennawy, 2005). LSS hanteert Six Sigma tools en technieken die variabiliteit verminderen in combinatie met de tools en technieken van Lean Productie die verspilling en niet-waarde toevoegende activiteiten elimineren (Kumar et al., 2006).

Ook worden een aantal voordelen vastgesteld. LSS bereikt resultaten die de systemen alleen niet kunnen bereiken. De geïntegreerde aanpak van LSS zou beter werken omdat het de menselijke aspecten (bijvoorbeeld leiderschap, klantgerichtheid en cultuurverandering) en de procesaspecten van procesverbetering (bijvoorbeeld procescapaciteit en procesmanagement) integreert (Antony, 2011). Verder stelt Snee (2010) acht belangrijke kenmerken vast die bijdragen aan de prestaties wanneer Lean Productie en Six Sigma synergetisch worden toegepast. Deze acht kenmerken zijn: het creëren van financiële resultaten, het activeren van de betrokkenheid van het topmanagement, het gebruiken van een gedisciplineerde aanpak (DMAIC), het snel afronden van de projecten (drie

tot zes maanden), het bestaan van een duidelijke definitie van succes, het focussen op klanten en processen, het creëren van een infrastructuur door de gordels en het gebruiken van een statistische aanpak.

7.2.2 TOC, Lean Productie en Six Sigma

Er bestaan verschillende modellen die TOC, Lean Productie en Six Sigma combineren zoals de ultieme verbeteringscyclus en het iTLS model. De ultieme verbeteringscyclus combineert op harmonische wijze de beste elementen van de drie productieconcepten. Hierdoor ontstaat een krachtige en haalbare strategie voor het verbeteren van elk systeem. Het iTLS model gebruikt de kenmerken van TOC en de tools van Lean Productie en Six Sigma om verspilling en variabiliteit te elimineren. Deze twee modellen worden uitgebreid besproken in het onderzoek van Dias, Silva en Tenera (2019). Figuur 6 illustreert de zeven stappen van het iTLS model.



Figuur 6: Zeven stappen van het iTLS model (figuur overgenomen van Dias et al., 2019)

Bovendien worden TLS projecten aangeraden om resultaten te bereiken op korte termijn. De gevonden beperking kan van het meest inefficiënte proces naar één van de meest efficiënte processen verschuiven. Alle andere processen profiteren ook van de verbeteringen die overeenkomen met een algemene vermindering van de cyclustijd (Dias et al., 2019). Volgens Pirasteh en Farah (2006) presteren fabrieken die TLS gebruiken uitstekend op het gebied van kostenreductie.

7.2.3 Lean Productie en TOC

De combinatie van Lean Productie en TOC wordt aangeraden door verschillende auteurs. Hein (1999) raadt het combineren van Lean Productie en TOC aan om de effectiviteit van de voortdurende verbeteringsinspanningen te verbeteren. Vervolgens stellen ook Sale en Iman (2003) vast dat het combineren van Lean Productie en TOC kan zorgen voor betere prestaties in vergelijking met de afzonderlijke benaderingen. Dettmer (2001) bevestigt dat de combinatie van Lean Productie en TOC

sterker en productiever is en stelt ook dat de combinatie eenvoudiger is om te implementeren dan één van de twee productieconcepten. Ook heeft hij een schema opgesteld om de stappen van Lean Productie en TOC te integreren. Zo biedt TOC een nuttig kader op systeemniveau om de Lean Productie inspanningen te sturen naar de systeemrestrictie en om te vermijden dat ze toegepast worden in valkuilen waar ze schade aanrichten. Ook kan TOC de logistieke management- en verbeteringstools van Lean Productie gebruiken, zoals Poka-yoke, SMED en vijf S. In Bijlage 5 worden de verschillende tools en -methoden van Lean Productie gecombineerd met de vijf focusstappen waarop ze van toepassing zijn. Voor een uitgebreide uitleg wordt verwezen naar het onderzoek van Dettmer.

Bovendien is de Kanban tool van Lean Productie een effectieve aanpak om beperkingen te beheren, meer in het bijzonder de overproductie van voorraden bij niet-beperkingen. Kanban kan de beperkingen op drie manieren beheren. Ten eerste stelt Kanban strakke grenzen aan de wachtrijen door de processen die geen beperkingen opleveren visueel te synchroniseren met de plaats waar de beperkingen zich voordoen. Ten tweede garandeert Kanban deze visuele synchronisatie, ook wanneer de beperkingen verschuiven. Ten derde moedigt Kanban voortdurende verbeteringsinitiatieven aan om wachtrijgroottes kort te houden en zo de vorming van beperkingen te minimaliseren (Schonberger, 2001).

7.2.4 Six Sigma en TOC

Six Sigma en TOC kunnen geïntegreerd worden door eerst de beperking van het bedrijf te identificeren. Zodra het systeem gelokaliseerd is, wordt Six Sigma toegepast om de variatie te verminderen of om het probleem op te lossen (Nave, 2002).

Geïntegreerd systeem	(stap) TOC	(stap) Six Sigma
Stap 1	(1) Identificeer beperkingen	(1) Definieer behoeften en projecten
Stap 2	(2) Benut beperkingen	(2) Meet prestaties
Stap 3		(3) Analyseer hoofdoorzaak
Stap 4	(3) Ondergeschikt maken beperkingen	(4) Verbeter het proces
Stap 5	(4) Verhoog beperkingen	(5) Controleer en onderhoud de verbetering
Stap 6	(5) Controleer voor volgende beperkingen	/

Tabel 16: Een geïntegreerd kader van voortdurende verbetering: het combineren van Six Sigma en TOC (aangepast van Ehie & Sheu, 2005)

Zo hebben Ehie en Sheu (2005) een geïntegreerd systeem van Six Sigma en TOC ontwikkeld. Het systeem bevat zes stappen en wordt in Tabel 16 weergegeven. Het geïntegreerd model van Jin, Abdul-Razzak, Elkassabgi, Zhou en Herrera (2009) bestaat ongeveer uit dezelfde stappen, maar

hier wordt een extra stap toegevoegd, namelijk het verifiëren van data. Deze extra stap staat tussen het ondergeschikt maken van de beperking en het verbeteren van het proces. Een voordeel van deze integratie is dat de afzonderlijke tools van elke methode worden samengevoegd. Zo kan de beperking geanalyseerd, gemeten en gecontroleerd worden door middel van data-analyses en grafieken die het inzicht van de mogelijkheden vergroten. Uiteraard bestaat er altijd de onzekerheid of de combinatie van methodologieën de verwachte resultaten zal opleveren.

Hoofdstuk 8: Algemene conclusie en bemerkingen

Dit laatste hoofdstuk bestaat uit een algemene conclusie en een aantal bemerkingen. In sectie 8.1 worden een aantal conclusies getrokken uit de vergelijkende analyse. Vervolgens bespreekt sectie 8.2 de beperkingen van deze masterproef. Ten slotte wordt in sectie 8.3 verder onderzoek aangeraden.

8.1 Conclusie

Het doel van deze masterproef is het opstellen van een vergelijkende analyse tussen hedendaagse productieconcepten. Een algemene conclusie is dat er geen beste productieconcept bestaat om in bedrijven te implementeren. Het productieconcept dat een bedrijf kiest en implementeert, kan afhankelijk zijn van verschillende elementen die het bedrijf belangrijk vindt en/of waar het bedrijf waarde aan hecht, zoals het doel, de betrokkenheid van de werknemers, de moeilijkheidsgraad van de implementatie en de mogelijke effecten.

Bedrijven kunnen een productieconcept kiezen op basis van de doelen. In het algemeen kan geconcludeerd worden dat de vier productieconcepten andere doelen hebben. Six Sigma legt de focus op het verminderen van variatie en defecten door problemen op het gebied van proceseffectiviteit aan te pakken. TQM legt een grote focus op de kwaliteit en op de klanten. Lean Productie focust op het verminderen van de cyclustijd en het verwijderen van verspilling door proces- en waardeanalyse. Ook kan Lean Productie gebruikt worden om proces inefficiëntie vraagstukken aan te pakken. TOC legt de focus op het beheren van beperkingen en het verhogen van de winst. Desondanks bestaan er een aantal overeenkomsten wanneer er naar de specifieke elementen van het doel wordt gekeken, zie sectie 7.2.1.

Vervolgens kan een productieconcept gekozen worden op basis van de betrokkenheid van de werknemers. Bedrijven die veel belang hechten aan de werknemers kunnen TQM, Lean Productie of TOC implementeren. Deze productieconcepten betrekken de werknemers en maken geen gebruik van hiërarchie of verschillende verantwoordelijkheden en rollen zoals Six Sigma. Six Sigma kan geïmplementeerd worden door bedrijven die een hiërarchie willen toepassen of die al een hiërarchie in het bedrijf hebben en deze willen behouden.

Daarnaast kunnen bedrijven rekening houden met de moeilijkheidsgraad van het implementeren van de productieconcepten. Er wordt geconcludeerd dat Lean Productie het gemakkelijkst is om te implementeren. Lean Productie hanteert analytische tools en is een goede keuze wanneer er veel concurrentie is en bedrijven een hoge output moeten produceren met de snelst mogelijke cyclustijd. Bedrijven die TOC willen implementeren, moeten weten dat de implementatie hiervan het moeilijkst is, maar wel zorgt voor de hoogst mogelijke output van het productiesysteem. Ook wordt geconcludeerd dat de implementatie van Six Sigma gemiddeld is en er complexe technieken en analyses worden gehanteerd. Verder hanteert TQM statistische en analytische tools. De moeilijkheidsgraad van TQM werd niet vermeld.

Ten slotte kunnen bedrijven één of meerdere productieconcepten kiezen op basis van de mogelijke effecten. Uit Tabel 15, zie sectie 7.2.7, kan afgeleid worden welk productieconcept voor het gewenste effect zorgt. Ondanks de verschillen in de theorie, doelen, methoden en tools wordt geconcludeerd dat er zes gemeenschappelijk effecten bestaan tussen de vier productieconcepten. Deze gemeenschappelijke effecten zijn: het verbeteren van de kosten, winst, klanttevredenheid, kwaliteit, productiviteit en doorlooptijd. Wanneer meerdere productieconcepten hetzelfde effect bereiken, kan het bedrijf kiezen. Het is mogelijk om één of meerdere productieconcepten samen te implementeren door gebruik te maken van een combinatie. Ook worden enkele effecten vastgesteld die alleen bereikt worden door een bepaald productieconcept. Bedrijven die waarde hechten aan dat specifieke effect kunnen dit productieconcept afzonderlijk implementeren of eventueel kiezen voor een combinatie die dit productieconcept omvat.

8.2 *Beperkingen*

Deze masterproef wordt gekenmerkt door een aantal beperkingen. Allereerst wordt het literatuuronderzoek beperkt tot het bespreken van vier productieconcepten waarover veel literatuur aanwezig is, namelijk TQM, Six Sigma, Lean Productie en TOC. Een tweede beperking ontstaat door het maximum aantal pagina's van deze masterproef. Hierdoor worden verschillende methodologieën, tools, combinaties en andere elementen niet of kort besproken. Voor meer details wordt verwezen naar de vermelde bronnen. Een laatste beperking is dat het literatuuronderzoek effecten en kritieken bespreekt die vermeld zijn in de gebruikte literatuur. Het is mogelijk dat er nog andere effecten of kritieken bestaan die wel/niet in deze literatuurstudie naar voren komen, maar in een ander literatuuronderzoek wel/niet besproken worden.

8.3 *Verder onderzoek*

Voor verder onderzoek wordt gesuggereerd om deze vergelijkende analyse uit te breiden of een nieuwe uit te voeren met hedendaagse of toekomstige productieconcepten, zoals Quick Response Manufacturing (QRM), Agile productie, Virtuele productie, Intelligente/slimme productie, Internet of Things geactiveerde productie, Cloud Manufacturing (CMfg), Computer Geïntegreerde Productie (CIM), Time-Based Competition (TBC) en Additive manufacturing (AM). Daarnaast is het ook mogelijk om de combinaties van de productieconcepten uitgebreider te onderzoeken en eventueel op te nemen in een vergelijkende analyse.

Referenties

- Abdullah, F. (2003). *Lean Manufacturing tools and techniques in the process industry with a focus on steel* (Gepubliceerde doctoraatsthesis). Universiteit van Pittsburgh, Verenigde Staten. Geraadpleegd via <http://d-scholarship.pitt.edu/7968/1/Abdullah.pdf>
- Afteni, C., & Frumuşanu, G. (2017). A review on optimization of manufacturing process performance. *International Journal of Modeling and Optimization*, 7(3), 139-144.
- Alhuraish, I., Robledo, C., & Kobi, A. (2017). A comparative exploration of Lean Manufacturing and Six Sigma in terms of their critical success factors. *Journal of Cleaner Production*, 164, 325-337.
- Andersson, E. W., Fornell, C., & Lehmann, D. R. (1994). Customer satisfaction, market share, and profitability: Findings from Sweden. *Journal of Marketing*, 58(3), 53-66.
- Andersson, R., Eriksson, H., & Torstensson, H. (2006). Similarities and differences between TQM, Six Sigma and Lean. *The TQM Magazine*, 18(3), 282-296.
- Antony, J. (2011). Six Sigma vs Lean: Some perspectives from leading academics and practitioners. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 60(2), 185-190.
- Arnheiter, E. D., & Maleyeff, J. (2005). The integration of Lean management and Six Sigma. *The TQM Magazine*, 17(1), 5-18.
- Azizi, A. (2015). Evaluation improvement of production productivity performance using statistical process control, overall equipment efficiency, and autonomous maintenance. *Procedia Manufacturing*, 2, 186-190.
- Belcher, J. G. Jr. (1987). *Productivity Plus: How Today's Best Run Companies Are Gaining the Competitive Edge*. Houston, TX: Gulf.
- Bendell, T. (2006). A review and comparison of Six Sigma and the Lean organisations. *The TQM Magazine*, 18(3), 255-262.
- Bhamu, J., & Sangwan, K. S. (2014). Lean manufacturing: Literature review and research issues. *International Journal of Operations & Production Management*, 34(7), 876-940.
- Boaden, R. J. (1997). What is Total Quality Management... And does it matter? *Total Quality Management*, 8(4), 53-71.
- Bożek, M., & Hamrol, A. (2012). Analysis of efficiency of Lean Manufacturing and Six Sigma in a production enterprise. *Management and Production Engineering Review*, 3(4), 14-25.

- Chakravorty, S. S., & Atwater, J. B. (1996). A comparative study of line design approaches for serial production systems. *International Journal of Operations and Production Management*, 16(6), 91–108.
- Chen, C.-K., Anchecta, K., Lee, Y.-D., & Dahlgaard, J. J. (2016). A stepwise ISO-based TQM implementation approach using ISO 9001. *Management and Production Engineering Review*, 7(4), 65-75.
- Chiarini, A. (2013). *Lean organization: From the tools of the Toyota Production System to Lean office*. Milan, Italy: Springer.
- Cook, D. P. (1994). A simulation comparison of traditional, JIT and TOC manufacturing systems in a flow shop with bottlenecks. *Production and Inventory Management Journal*, 35(1), 73–78.
- Cooney, R. (2002). Is “Lean” a universal production system? – Batch production in the automotive industry. *International Journal of Operations & Production Management*, 22(10), 1130-1147.
- Corbett, C. J. & Klassen, R. D. (2006). Extending the horizons: Environmental excellence as key to improving operations. *Manufacturing & Service Operations Management*, 8(1), 5-22.
- Cusumano, M. A. (1992). Shifting economies: From craft production to flexible systems and software factories. *Research Policy*, 21, 453–480.
- Dahlgaard, J. J., Chen, C.-K., Jang, J.-Y., Banegas, L. A., & Dahlgaard-Park, S. M. (2013). Business excellence models: Limitations, reflections and further development. *Total Quality Management & Business Excellence*, 24(5-6), 519-538.
- Dahlgaard, J. J., & Dahlgaard-Park, S. M. (2006). Lean Production, Six Sigma quality, TQM and company culture. *The TQM Magazine*, 18(3), 263–281.
- Dahlgaard-Park, S. M., Chen, C. K., Jang, J. Y., & Dahlgaard, J. J. (2013). Diagnosing and prognosticating the quality movement – A review on the 25 years quality literature (1987-2011). *Total Quality Management & Business Excellence*, 24(1-2), 1-18.
- de Mast, J. (2004). A methodological comparison of three strategies for quality improvement. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 21(2), 198-213.
- Dennis, P. (2007). *Lean production simplified*. New York, NY: Productivity Press.
- Dettmer, H. W. (2001). *Beyond Lean Manufacturing: Combining Lean and the Theory of Constraints for Higher Performance*. Goal Systems International, Port Angeles, WA, USA.
- Dias, R. M. F., Silva, L. D., & Tenera, A. (2019). Application of a proposed TLS model in a Lean productive system. *Independent Journal of Management & Production*, 10(1), 76-100.

- Dove, R. (1999). Knowledge management, response ability and the agile enterprise. *Journal of Knowledge Management*, 3(1), 18-35.
- Duflou, J., Sutherland, J., Dornfeld, D., Herrmann, C., Jeswiet, J., Kara, S., Hauschild, M., & Kellens, K. (2012). Towards energy and resource efficient manufacturing: A processes and systems approach. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 61, 587-609.
- Duguay, C. R., Landry, S., & Pasin, F. (1997). From mass production to flexible/agile production. *International Journal of Operations & Production Management*, 7(12), 1183-1195.
- Eckes, G. (2001). *The Six Sigma Revolution*. New York, NY: John Wiley & Sons.
- Ehie, I., & Sheu, C. (2005). Integrating Six Sigma and Theory of Constraints for continuous improvement: A case study. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 16(5), 542-553.
- Eklöf, J. A., Hackl, P., & Westlund, A. (1999). On measuring interaction between customer satisfaction and financial results. *Total Quality Management*, 10(4-5), 514-22.
- Eskildson, L. (1994). Improving the odds of TQM's success. *Quality Progress*, 27(4), 61-3.
- Fisher, C. M., Elrod, C. C., & Mehta, R. (2011). A replication to validate and improve a measurement instrument for Deming's 14 Points. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 28(3), 328-358.
- Forbes, L. H. & Ahmed S. M. (2011). *Modern construction: Lean project delivery and integrated practices*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Ford, H. (1926). *Today and tomorrow*. Garden City, NY: Doubleday, Page.
- Fu, S.-L., Chou, S.-Y., Chen, C.-K., & Wang, C.-W. (2015). Assessment and cultivation of Total Quality Management organizational culture - An empirical investigation. *Total Quality Management & Business Excellence*, 26(1-2), 123-139.
- Furterer, S., & Elshennawy, A. K. (2005). Implementation of TQM and Lean Six Sigma tools in local government: A framework and a case study. *Total Quality Management*, 16(10), 1179-1191.
- Gaikwad, L., & Sunnapwar, V. (2020). An integrated Lean, Green and Six Sigma strategies. *The TQM Journal*, 32(2), 201-225.
- General Accounting Office (GAO) (1991). *Management practices: US companies improve performance through quality efforts*. (GAO/NSIAD-91-190). Geraadpleegd via http://www.gpsinc.us/files/GAO_91-190.pdf

- George, M. L. (2003). *Lean Six Sigma: Combining Six Sigma quality with Lean Production speed*. New York, NY: McGraw-Hill.
- George, M., Rowlands, D., & Kastle, B. (2003). *What is Lean Six Sigma?* New York, NY: McGraw-Hill.
- Gershon, M. (2010). Choosing which process improvement methodology to implement. *The Journal of Applied Business and Economics*, 10(5), 61-69.
- Goldratt, E. M. (1980). Optimized production timetable: Beyond MRP: Something better is finally here. *APICS 23rd Annual International Conference Proceedings*.
- Goldratt, E. M. (1988). Computerized shop floor scheduling. *International Journal of Production Research*, 26(3), 443-455.
- Goldratt, E. M. (1990a). *The Haystack syndrome: Sifting information out of the data ocean*. Croton-on-Hudson, NY: North River Press.
- Goldratt, E. M. (1990b). *What is this thing called the Theory of Constraints and how should it be implemented?* Croton-on-Hudson, NY: North River Press.
- Goldratt, E. M. (1994). *It's Not Luck*. Great Barrington, MA: North River Press.
- Goldratt, E. M., & Fox, R. E. (1987). Revolutionizing the factory floor. *Management Accounting*, May, 18-22.
- Goldsby, T., & Martichenko, R. (2005). *Lean Six Sigma Logistics: Strategic Development to Operational Success*. Boca Raton, FL: J. Ross.
- Gupta, M. C., & Boyd, L. H. (2008). Theory of Constraints: A theory for operations management. *International Journal of Operations & Production Management*, 28(10), 991-1012.
- Gupta, M., & Snyder, D. (2009). Comparing TOC with MRP and JIT: A literature review. *International Journal of Production Research*, 47(13), 3705-3739.
- Gupta, S., & Jain, S. K. (2013). A literature review of Lean manufacturing. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 8(4), 241-249.
- Hahn, G. J., Doganaksoy, N., & Hoerl, R. (2000). The evolution of Six Sigma. *Quality Engineering*, 12(3), 317-326.
- Hansson, J., & Eriksson, H. (2002). The impact of TQM on financial performance. *Measuring Business Excellence*, 6(4), 44-54.
- Harari, O. (1993). Ten reasons why TQM doesn't work. *Management Review*, 86(1), 33-38.

- Harry, M. J. (1998). Six Sigma: A breakthrough strategy for profitability. *Quality Progress*, 31(5), 60-64.
- Harry, M. J., & Crawford, J. D. (2004). Six Sigma for the little guy: Think you can't afford this business initiative? Recent changes have made it more affordable and accessible than ever. *Mechanical Engineering*, 126(11), 8-10.
- Hein, K. (1999). Creating continuous improvement synergy with Lean and TOC. *ASQ World Conference on Quality and Improvement proceedings*, 543-549.
- Hellsten, U., & Klefsjö, B. (2000). TQM as a management system consisting of values, techniques and tools. *TQM Magazine*, 12(4), 238-44.
- Hendricks, K. B. & Singhal, V. R. (1997). Does implementing an effective TQM program actually improve operating performance? Empirical evidence from firms that have won quality awards. *Management Science*, 43(9), 1258-1274.
- Higgins, K. T. (2005). Lean builds steam. *Food engineering: The magazine for operations and manufacturing management*. Geraadpleegd op 1 december 2020, via <https://www.foodengineeringmag.com/articles/84465-Lean-builds-steam>
- Hines, P., Holweg, M., & Rich, N. (2004). Learning to evolve. *International Journal of Operations & Production Management*, 24(10), 994-1011.
- Hines, P., & Rich, N. (1997). The seven value stream mapping tools. *International Journal of Operations & Production Management*, 17(1), 46-64.
- Hu, S. J. (2013). Evolving Paradigms of Manufacturing: From Mass Production to Mass Customization and Personalization. *Procedia CIRP*, 7, 3-8.
- Hu, S. J., Ko, J., Weyland, L., ElMaraghy, H. A., Lien, T. K., Koren, Y., Bley, H., Chryssolouris, G., Nasr, N., & Shpitalni, M. (2011). Assembly system design and operations for product variety. *CIRP Annals*, 60(2), 715-733.
- Hu, S. J., Zhu, X., Wang, H., & Koren, Y. (2008). Product variety and manufacturing complexity in assembly systems and supply chains. *CIRP Annals*, 57(1), 45-48.
- Imai, M. (2012). *Gemba Kaizen: A commonsense approach to a continuous improvement strategy* (2nd Edition). New York, NY: McGraw-Hill.
- Ingle, S., & Roe, W. (2001). Six Sigma black belt implementation. *The TQM Magazine*, 13(4), 273-280.

- Jin, K., Abdul-Razzak, H., Elkassabgi, Y., Zhou, H., & Herrera, A. (2009). Integrating the Theory of Constraints and Six Sigma in manufacturing process improvement. *Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology*, 3, 85-89.
- Jordan. (2012). *Why is manufacturing important?* The Global Teach-In. Geraadpleegd op 13 september 2020, via <https://www.globalteachin.com/articles/why-is-manufacturing-important>
- Juran, J. M., & Godfrey, A. B. (1998). *Juran's quality handbook* (5th edition). Washington, DC: McGraw-Hill.
- Kaewchaineim, R., & Phusavat, K. (2011). Quality Management Control Tool Development for Working with EPC Project. *International Conference on Management and Service Science*, 8, 58-63.
- Karlsson, C., & Åhlström, P. (1996). Assessing changes towards Lean Production. *International Journal of Operations & Production Management*, 16(2), 24-41.
- Katayama, H., & Bennett, D. (1996). Lean Production in a changing competitive world: A Japanese perspective. *International Journal of Operations & Production Management*, 16(2), 8-23.
- Kaynak, H. (2003). The relationship between Total Quality Management practices and their effects on firm performance. *Journal of Operations Management*, 21(4), 405-435.
- Kerzner, H. (2003). *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling* (8th edition). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Keys, J. B. & Miller, T. R. (1984). The Japanese Management Theory Jungle. *The Academy of Management Review*, 9(2), 342-353.
- Kim, S., Mabin, V. J., & Davies, J. (2008). The Theory of Constraints thinking processes: Retrospect and prospect. *International Journal of Operations & Production Management*, 28(2), 155-184.
- Klefsjö, B., Wiklund, H., & Edgeman, R. L. (2001). Six Sigma seen as a methodology for Total Quality Management. *Measuring Business Excellence*, 5(1), 31-35.
- Kotler, P. (1989). From mass marketing to mass customization. *Planning Review*, 17(5), 10-47.
- Kramer, L. (2019). *The Difference between Production & Manufacturing*. Bizfluent. Geraadpleegd op 3 december 2020, via <https://bizfluent.com/info-8573677-difference-between-production-manufacturing.html>
- Kumar, A. (2007). From Mass Customization to Mass Personalization: A Strategic Transformation. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 19, 533-547.

- Kumar, M., Antony, J., Singh, R. K., Tiwari, M. K., & Perry, D. (2006). Implementing the Lean Sigma framework in an Indian SME: A case study. *Production Planning & Control*, 17(4), 407-423.
- Kwak, Y. H., & Anbari, F. T. (2006). Benefits, obstacles, and future of Six Sigma approach. *Technovation*, 26(5-6), 708-715.
- Laureani, A., & Antony, J. (2011). Standards for Lean Six Sigma certification. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 61(1), 110-120.
- Lemak, D. J., & Reed, R. (1997). Commitment to Total Quality Management: Is there a relationship with firm performance? *Journal of Quality Management*, 2(1), 67-86.
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from The World's Greatest Manufacturer*. New York, NY: McGraw-Hill.
- Magnusson, K., Kroslid, D., & Bergman, B. (2003). *Six Sigma – The Pragmatic Approach*. Lund, Sweden: Studentlitteratur.
- Mazzarol, T. (2012). *Manufacturing matters: Why it is important for an economy to have a manufacturing base*. The Conversation. Geraadpleegd op 12 september 2020, via <https://theconversation.com/manufacturing-matters-why-it-is-important-for-an-economy-to-have-a-manufacturing-base-8404>
- Mehrjerdi, Y. Z. (2011). Six-Sigma: Methodology, tools and its future. *Assembly Automation*, 31(1), 79-88.
- Miltenburg, J. (1997). Comparing JIT, MRP and TOC, and embedding TOC into MRP. *International Journal of Production Research*, 35(4), 1147-1169.
- Montgomery, D. C. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control* (6th edition). Danvers, MA: John Wiley & Sons.
- Moore, R., & Scheinkopf, L. (1998). Theory of Constraints and Lean Manufacturing: Friends or foes? *Chesapeake Consulting*, 1-37.
- Naor, M., Bernardes, E. S., & Coman, A. (2013). Theory of Constraints: Is it a theory and a good one? *International Journal of Production Research*, 51(2), 542-554.
- National Institute of Standards and Technology (NIST) (2000). *Principles of Lean Manufacturing with live simulation*. Gaithersburg, MD: Manufacturing Extension Partnership.
- Nave, D. (2002). How To Compare Six Sigma, Lean and the Theory of Constraints A framework for choosing what's best for your organization. *Quality Progress*, 35(3), 73-78.

- Neyestani, B. (2017). Seven Basic Tools of Quality Control: The Appropriate Quality Techniques for Solving Quality Problems in the Organizations. *SSRN Electronic Journal*, 1-10.
- Oláh, J., & Popp, J. (2016). Lean Management, Six Sigma and Lean Six Sigma: Possible Connections. *Óbuda University e-Bulletin*, 6(2), 25-31.
- Omachonu, V. K., & Ross, J. E. (2004). *Principles of total quality* (3rd Edition). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Pacheco, D. A. J. (2015). TOC, Lean and Six Sigma: The missing link to increase productivity? *African Journal of Business Management*, 9(12), 513-520.
- Pampanelli, A. B., Found, P., & Bernardes, A. M. (2014). A Lean & green model for a production cell. *Journal of Cleaner Production*, 85, 19-30.
- Patel, A., & Chudgar, C. (2020). Understanding basics of Six Sigma. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 9(5), 1204-1210.
- Pavletić, D. & Soković, M. & Paliska, G. (2008). Practical application of quality tools. *International journal for Quality research*, 2(8), 297-303.
- Pepper, M. P. J., & Spedding, T. A. (2010). The evolution of Lean Six Sigma. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 27(2), 138-155.
- Pettersen, J. (2009). Defining Lean Productions: Some conceptual and practical issues. *The TQM Journal*, 21(2), 127-142.
- Piller, F., & Müller, M. (2004). A new marketing approach to mass customization. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 17(7), 583-593.
- Pine, B. J. (1993). *Mass customization: The new frontier in business competition*. Boston, MA: Harvard Business School.
- Pirasteh, R. M., & Farah, K. S. (2006). Continuous improvement trio: The top elements of TOC, Lean, and Six Sigma (TLS) make beautiful music together. *APICS Magazine article*, may, 31-33.
- Plotkin, H. (1999). *Six Sigma: What it is and how to use it*. Boston, MA: Harvard Business School.
- Pyzdek, T. (2003). *The Six Sigma handbook revised and expanded: The complete guide for green belts, black-belts, and managers at all levels*. (2nd revised edition). New York, NY: McGraw-Hill.
- Rahman, S. (1998). Theory of Constraints – A review of its philosophy and its applications. *International Journal of Operations & Production Management*, 18(4), 336-355.

- Rahman, S. (2002). The Theory of Constraints' thinking process approach to developing strategies in supply chains. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 32(10), 809-828.
- Rancour, T., & McCracken, M. (2000). Applying Six Sigma methods for breakthrough safety performance. *Professional Safety*, 45(10), 29-32.
- Rawabdeh, I. A. (2005). A model for the assessment of waste in job shop environments. *International Journal of Operations & Production Management*, 25(8), 800-822.
- Razaee, Z., & Elmore, R. C. (1997). Synchronous manufacturing: Putting the goal to work. *Journal of Cost Management*, March/April, 6-15.
- Rother, M., & Shook, J. (1999). *Learning to see: Value stream mapping to add value and eliminate Muda*. Brookline, MA: The Lean Enterprise Institute.
- Russell, R. S., & Taylor, B. W. (2000). *Operations management: multimedia version*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Sadikoglu, E., & Olcay, H. (2014). The effects of Total Quality Management practices on performance and the reasons of and the barriers to TQM practices in Turkey. *Advances in Decision Sciences*, 2014, 1-7.
- Salah, S., Rahim, A., & Carretero, J. A. (2010). The integration of Six Sigma and Lean management. *International Journal of Lean Six Sigma*, 1(3), 249-274.
- Schonberger, R. J. (2000). Kanban—automatic constraints manager. *Journal of Corporate Accounting and Finance*, 11(4), 73-76.
- Sethi, S. (2020). *Manufacturing vs Production*. WallStreetMojo. Geraadpleegd op 3 december 2020, via <https://www.wallstreetmojo.com/manufacturing-vs-production/>
- Siebels, D. (2004). *The quality improvement glossary*. Milwaukee, WI: American Society of Quality.
- Şimşit, Z. T., Günay, N. S., & Vayvay, Ö. (2014). Theory of Constraints: A literature review. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 150, 930-936.
- Singh, B., Garg, S. K., Sharma, S. K. & Grewal, C. (2010). Lean implementation and its benefits to production industry. *International Journal of Lean Six Sigma*, 1(2), 157-168.
- Snee, R. D. (2004). The future of Six Sigma. *Six Sigma Forum Magazine*, August, 39-40.
- Snee, R. D. (2010). Lean Six Sigma – getting better all the time. *International Journal of Lean Six Sigma*, 1(1), 9-29.

- Staats, B. R., Brunner, D. J., & Upton, D. M. (2011). Lean principles, learning, and knowledge work: Evidence from a software services provider. *Journal of Operations Management*, 29(5), 376-390.
- Sugimori, Y., Kusunoki, K., Cho, F., & Uchikawa, S. (1977). Toyota Production System and Kanban system: Materialization of Just-In-Time and respect-for-human system. *International Journal of Production Research*, 15(6), 553-564.
- Su, C-T., Chiang, T-L., & Chang, C-M. (2006). Improving service quality by capitalising on an integrated Lean Six Sigma methodology. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, 2(1), 1-22.
- Sunder, M. V. (2015). Corporate perspectives: Commonalities and differences between Six Sigma and Lean. *International Journal of Lean Six Sigma*, 6(3), 281-288.
- Sunder, M. V. (2013). Synergies of Lean Six Sigma. *The IUP Journal of Operations Management*, 12(1), 21-31.
- Surbhi, S. (2018). *Difference between manufacturing and production (with comparison chart)*. Key Differences. Geraadpleegd op 14 september 2020, via <https://keydifferences.com/difference-between-manufacturing-and-production.html>
- Taj, S., & Morosan, C. (2011). The impact of Lean operations on the Chinese manufacturing performance. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 22(2), 223-240.
- Talib, F., & Rahman, Z. (2012). Total quality management practices in manufacturing and service industries: a comparative study. *International Journal Advanced Operations Management*, 4(3), 155-176.
- Tari, J. J., & Sabater, V. (2004). Quality tools and techniques: Are they necessary for quality management? *International Journal of Production Economics*, 92(3), 267-280.
- Upadhye, N., Deshmukh, S. G., & Garg, S. (2010). Lean manufacturing system for medium size manufacturing enterprises: An Indian case. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 5(5), 362-375.
- Vokurka, R.J., Stading, G. L. & Brazeal, J. (2000). A comparative analysis of national and regional quality awards. *Quality Progress*, 33(8), 41-49.
- Watson, K. J., & Patti, A. (2008). A comparison of JIT and TOC buffering philosophies on system performance with unplanned machine downtime. *International Journal of Production Research*, 46(7), 1869-1885.
- Wilson, L. (2009). *How To Implement Lean Manufacturing*. New York, NY: McGraw-Hill.

Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). *Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation*. New York, NY: Simon & Schuster.

Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *The machine that changed the world*. New York, NY: Rawson.

Zhang, H., Amodio, J. C., & Haapala, K. R. (2015). Establishing foundational concepts for sustainable manufacturing systems assessment through systems thinking. *International Journal of Strategic Engineering Asset Management*, 2(3), 249.

Bijlagen

Bijlage 1: Zeven kwaliteitstools TQM

Bijlage 2: Vijf soorten gordels van Six Sigma

Bijlage 3: Acht soorten verspilling

Bijlage 4: Tools Lean Productie

Bijlage 5: Combinatie Lean Productie en TOC

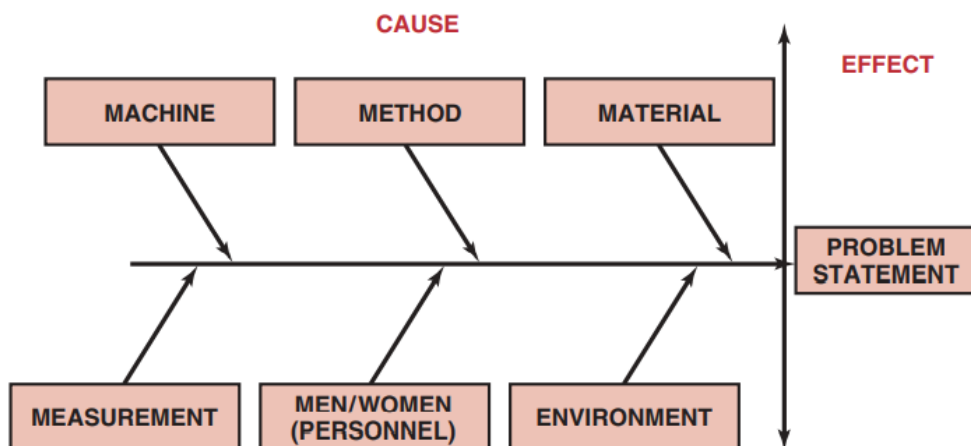
Bijlage 1: Zeven kwaliteitstools TQM

Flowchart

Een stroomdiagram geeft een schematisch beeld weer met een reeks symbolen om de volgorde van de stappen in een bewerking of proces te beschrijven. Het visualiseert een beeld, inclusief de inputs, activiteiten, beslissingspunten en outputs, om de algemene doelstelling te gebruiken en te begrijpen door het proces heen (Forbes & Ahmed, 2011).

Oorzaak- en gevolgdigram (Cause-and-effect diagram)

Het oorzaak- en gevolgdigram werd ontwikkeld door Kaoru Ishikawa in 1943 en wordt ook wel Ishikawa diagram of visgraat genoemd (Forbes & Ahmed, 2011; Neyestani, 2017). Het is een grafische, probleemoplossende techniek die alle potentiële of werkelijke oorzaken, die resulteren in één enkel probleem, systematisch identificeert en organiseert (Juran & Godfrey, 1998; Vivekananthamoorthy & Sankar, 2011). Er worden probleemoplossende inspanningen geleverd door het verzamelen en organiseren van de mogelijke oorzaken, het bereiken van een gemeenschappelijk begrip van het probleem, het blootleggen van hiaten in de bestaande kennis, het rangschikken van de meest waarschijnlijke oorzaken en het bestuderen van elke oorzaak (Omachonu & Ross, 2004). De algemene categorieën van het oorzaak- en gevolgdigram zijn meestal zes elementen (oorzaken), zoals omgeving, materialen, machine, meting, mens en methode. Verder kunnen potentiële oorzaken worden aangegeven met pijlen die de hoofdoorzaakpijl invoeren (Neyestani, 2017). Figuur 7 geeft een voorbeeld van de oorzaak- en gevolgdigram.

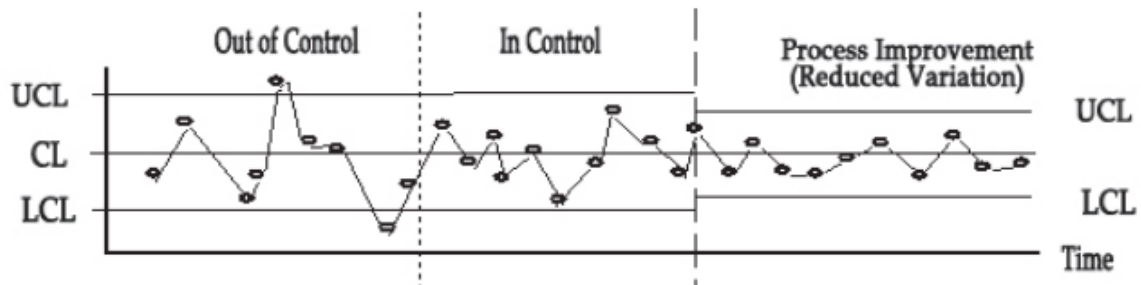


Figuur 7: Oorzaak- en gevolgdigram (figuur overgenomen van Kerzner, 2003)

Controlekaart (Control chart)

De controlekaart of Shewhart controlekaart werd geïntroduceerd en ontwikkeld door Walter Shewhart in de jaren 1924 en is waarschijnlijk het meest technisch geavanceerd voor kwaliteitsmanagement (Montgomery, 2009). Deze controlekaarten presenteren een grafische weergave van de processtabiliteit of -instabiliteit in de loop van de tijd. Het doel van een controlekaart is het bereiken

en behouden van processtabiliteit. Processtabiliteit is een toestand waarin een proces in het verleden een bepaalde consistentie had en verwacht wordt dat deze ook in de toekomst zal blijven. Consistentie wordt gekenmerkt door een stroom van gegevens die binnen de controlegrenzen vallen op basis van plus of min drie standaardafwijkingen (3 sigma) van de middellijn (Vivekananthamoorthy & Sankar, 2011). Figuur 8 geeft een voorbeeld van de controlekaarten.



Figuur 8: Control Charts (figuur overgenomen van Vivekananthamoorthy & Sankar, 2011)

Histogram

Een histogram is een soort staafdiagram dat zowel attribuut- als variabele gegevens van een product of proces visualiseert. Het helpt gebruikers om de verdeling van de gegevens en de hoeveelheid variatie binnen een proces aan te tonen (Forbes & Ahmed, 2011; Omachonu & Ross, 2004). Daarnaast bieden histogrammen een snelle blik op de gegevens en vertonen geen variantie of trends in de tijd (Kerzner, 2003).

Check sheets

Check sheets zijn eenvoudige formulieren die gebruikt worden om systematische gegevens te verzamelen (Omachonu & Ross, 2004). Deze kunnen ook informatie bevatten, zoals de positie waar de gebeurtenis zich heeft voorgedaan en alle bekende oorzaken. Verder helpen check sheets bij het identificeren en oplossen van problemen aangezien de waarde van een controleformulier achteraf geanalyseerd kan worden (Forbes & Ahmed, 2011).

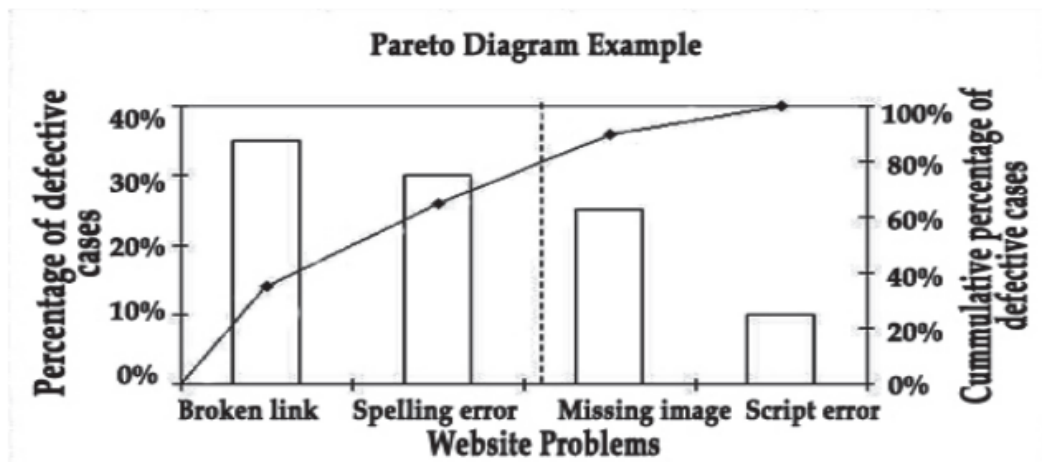
Spreidingsdiagram (Scatter diagram)

Een spreidingsdiagram organiseert de gegevens met behulp van een onafhankelijke en afhankelijke variabele. Deze gegevens worden geregistreerd op een eenvoudige grafiek met X- en Y-coördinaten die de relatie tussen de variabelen toont (Kerzner, 2003). Ook geeft het spreidingsdiagram aan welke soort correlatie er bestaat tussen de twee variabelen, namelijk een positieve correlatie, een negatieve correlatie of geen correlatie (Neyestani, 2017).

Pareto analyse

De Pareto analyse werd geïntroduceerd door de Italiaanse econoom Vilfredo Pareto en ontwikkeld in 1950 door Juran (Juran & Godfrey, 1998). Het is een statistische techniek in de besluitvorming die

wordt gebruikt om een beperkt aantal taken te selecteren die een significant algemeen effect hebben. Het Pareto principe staat ook bekend als de 80/20 regel. Dit is het idee dat een grote meerderheid van de problemen (80%) geproduceerd worden door enkele belangrijke oorzaken (20%). Zo zijn bijvoorbeeld 20% van uw producten of diensten goed voor 80% van uw winst (Vivekananthamoorthy & Sankar, 2011). Ook kan het gemakkelijk toegepast worden om kwaliteitsproblemen, omstandigheden of oorzaken te vinden en te prioriteren (Juran & Godfrey, 1998). Een voorbeeld van de Pareto diagram wordt weergegeven in Figuur 9.



Figuur 9: Pareto diagram (figuur overgenomen van Vivekananthamoorthy & Sankar, 2011)

Bijlage 2: Vijf soorten gordels van Six Sigma

Witte gordels

De witte gordels krijgen een training die gebaseerd is op kennis. Hier worden de basisconcepten van Six Sigma geïntroduceerd door een inleidend overzicht, inclusief kwaliteit en procesmatig denken. Deze training zorgt ervoor dat er interesse is en zorgt ook voor het begrijpen van Six Sigma (Patel & Chudgar, 2020).

Gele gordels

De gele gordels worden getraind in het leiden en faciliteren van verbeteringssessies met behulp van de aangeleerde tools. Gedurende deze training wordt de DMAIC methode geïntroduceerd en worden de gebruikte kwaliteitstools aangeleerd, zoals het concept van variatie, Voice Of the Customer (VOC) analyse, processen in kaart brengen en brainstormen voor de analyse van de grondoorzaken (Patel & Chudgar, 2020). Daarnaast wordt de gele gordel vaak gebruikt om werknemers aan te geven die, naast hun andere functieverantwoordelijkheid, ook in Six Sigma projecten werken (Harry & Crawford, 2004).

Groene gordels

Groene gordels zijn gespecialiseerde teamleden en werken parttime aan Six Sigma projecten (Bendell, 2006; Patel & Chudgar, 2020; Pyzdek, 2003). Na het volgen van een training van ongeveer 80 uur, nemen ze naast hun andere functieverantwoordelijkheden ook een rol op zich in de Six Sigma projecten (Laureani & Antony, 2011). De groene gordels assisteren de zwarte gordels (Harry & Crawford, 2004; Laureani & Antony, 2011). Bovendien kunnen ze ook Six Sigma teams vormen en faciliteren en Six Sigma projecten managen van concept tot oplevering (Pyzdek, 2003).

Zwarte gordels

De zwarte gordels zijn fulltime Six Sigma specialisten. Deze gordels leiden complexe projecten en voeren deze uit omdat het senior management dit aan hen heeft toegewezen. Ze worden zorgvuldig geselecteerd en krijgen een training in geavanceerde kwaliteits- en statistische tools die worden gebruikt in Six Sigma, zoals Design of Experiments (Patel & Chudgar, 2020).

Meester zwarte gordels

De meester zwarte gordels zijn fulltime beoefenaars van de Six Sigma tools (Ingle & Roe, 2001). Ze dienen als Six Sigma trainers en coachen de rest van de organisatie. Hiervoor krijgen ze een extra training zoals geavanceerde statistische analyse, processimulatie, projectmanagement en verandermanagement (Patel & Chudgar, 2020).

Bijlage 3: Acht soorten verspilling

1. Overproductie

Wanneer er te veel of te vroeg geproduceerd wordt, is er sprake van overproductie (Liker, 2004; Oláh & Popp, 2016; Wilson, 2009; Womack & Jones, 1996). Overproductie is de meest ernstige soort van verspilling en verergert de andere soorten verspilling (Hines & Rich, 1997; Sugimori et al., 1977; Wilson, 2009; Womack & Jones, 1996). Zo moet bijvoorbeeld het volume van de overproductie worden vervoerd, opgeslagen en geïnspecteerd waardoor er nog meer verspilling en kosten ontstaan (Liker, 2004; Wilson, 2009). Ook veroorzaakt het overdreven doorloop- en opslagtijden en overmatige werk in uitvoering (WIP). Deze soorten verspilling kunnen worden voorkomen door het pull- of Kanban systeem (Hines & Rich, 1997).

2. Defecten

Defecten zijn directe kosten en worden aangepakt door Kaizen toe te passen (Hines & Rich, 1997). Defecte producten kunnen een herbewerking ondergaan of worden verwijderd. Bovendien zorgen deze defecten niet alleen voor verspilling van productie-eenheden, materiaal en arbeid, maar ook voor het creëren van inactieve tijd op de volgende werkplekken, het verlengen van de productie doorlooptijd en het verspillen van waardevolle tijd, moeite en energie die de mensen hieraan besteedden (Liker, 2004; Rawabdeh, 2005; Wilson, 2009).

3. Onnodige voorraad

Er bestaan drie soorten voorraad: grondstoffen, werk in uitvoering (WIP) en eindproducten (Liker, 2004; Wilson, 2009; Womack & Jones, 1996). Onnodige voorraad is elke voorraad die verder gaat dan wat nodig is om aan de klant te leveren en niet direct omgezet wordt tot verkoop (Wilson, 2009). Door het aanhouden van voorraad zijn de problemen niet zichtbaar. Deze problemen worden niet snel opgespoord omdat er lange doorlooptijden zijn (Hines & Rich, 1997; Liker, 2004; Rawabdeh, 2005; Womack & Jones, 1996).

Verder leidt het aanhouden van onnodige voorraad tot het verhogen van de transport-, financierings- en opslagkosten, defectpercentages, vertragingen en het verminderen van de concurrentiekracht van de organisatie of de waardeestroom waarin ze bestaan (Hines & Rich, 1997; Liker, 2004; Rawabdeh, 2005; Womack & Jones, 1996). Ook is er meer ruimte waardoor communicatie wordt ontmoedigd (Hines & Rich, 1997; Rawabdeh, 2005; Womack & Jones, 1996).

4. Onnodig transport

Onnodig transport is elke beweging van materialen die geen waarde toevoegt aan het product. Dit komt voor tussen processtappen/verwerkingsstappen en proceslijnen/verwerkingslijnen en wanneer een product naar de klant verzonden moet worden (Wilson, 2009). Zo leiden dubbele handelingen en overmatige bewegingen tot schade en achteruitgang voor de productiviteit en kwaliteit (Hines &

Rich; 1997; Womack & Jones, 1996). In het extreemste geval kan elke beweging in een bedrijf beschouwd worden als verspilling (Hines & Rich, 1997).

5. Wachten

Wachten is tijd dat inefficiënt gebruik wordt. In een productieomgeving ontstaat deze verspilling omdat goederen niet verplaatst of bewerkt worden. Dit heeft invloed op zowel de goederen als op de werknemers. Wachttijden kunnen kort van duur zijn wanneer iets gebeurt in de onevenwichtige lijn, maar er kunnen ook langere wachttijden optreden wanneer geen voorraad beschikbaar is of een storing optreedt in de machines (Liker, 2004; Wilson, 2009). Zo moeten werknemers bijvoorbeeld wachten op de volgende verwerkingsstap, gereedschap, levering, onderdeel of hebben werknemers geen werk door stilstand van apparatuur (Liker, 2004). Deze wachttijd kan benut worden door verschillende activiteiten, zoals onderhoud of Kaizen, maar mogen niet leiden tot overproductie (Hines & Rich, 1997).

6. Onnodige beweging

Onnodige bewegingen zijn alle fysieke bewegingen die werknemers afleiden van het eigenlijke werk, zoals wandelen of onderdelen zoeken en stapelen (Liker, 2004; Wilson, 2009). Beweging lijkt niet op verspilling en wordt vaak over het hoofd gezien omdat werknemers bewegen, actief zijn en er druk uitzien (Wilson, 2009). Deze bewegingen leveren geen toegevoegde waarde en moeten geëlimineerd worden (Rawabdeh, 2005; Sugimori et al., 1977; Wilson, 2009). Het is belangrijk om een ontwerp te maken voor de werkplek en te zorgen voor een werkstation (Wilson, 2009).

7. Procesverspilling

Procesverspilling ontstaat wanneer er onbedoeld meer wordt verwerkt dan de klant nodig heeft op het gebied van productkwaliteit of -eigenschappen. Dit soort verspilling is vaak gecreëerd in het ontwerpstadium omdat de ingenieurs specificaties maken die verder gaan dan de behoeften van de klant (Liker, 2004; Wilson, 2009). Ook ontstaat procesverspilling bijvoorbeeld door grote inflexibele machines te gebruiken in plaats van meerdere kleine flexibele machines. Deze kleine machines bevinden zich naast de voorgaande en volgende bewerkingen en zijn in staat om de vereiste kwaliteit te produceren (Hines & Rich, 1997).

8. Onbenutte menselijke middelen

Er gaat veel verloren door niet te luisteren naar de werknemers of door deze niet te betrekken, zoals het verliezen van tijd, ideeën, vaardigheden en leermogelijkheden (Liker, 2004).

Bijlage 4: Tools Lean Productie

Cellen

In een cel worden machines en apparatuur zo geplaatst dat verspilling van transport, voorraad, beweging en WIP wordt vermeden (Chiarini, 2013; Wilson, 2009). De werkgebieden worden gerangschikt zodat de verwerkingsstappen direct naast elkaar staan. Dankzij deze opstelling kunnen onderdelen in een bijna voortdurende stroom verwerkt worden. De "Inside U" cel is de meest voorkomende vorm en minimaliseert de loopafstand van de werknemers (Wilson, 2009).

Poka-yoke

Poka-yoke is een reeks van technieken die beperkt worden door de verbeelding van de ingenieur. Het doel van Poka-yoke is het bereiken van foutbestendigheid van een procesactiviteit. Hierdoor wordt het proces sterker. Ook wordt Poka-yoke gebruikt in het inspectieproces om 100 procent inspectie te bereiken (Wilson, 2009). Verder worden de producten en processen gecontroleerd en worden defecten onmiddellijk gesignaleerd via een Andon, dit is Japans voor lamp of signaal. Vaak zorgen deze signalen ervoor dat de stroom stopt (Chiarini, 2013; Wilson, 2009).

Single Minute Exchange of Dies (SMED)

Single Minute Exchange of Dies (SMED) is ontworpen door Shigeo Shingo en is essentieel om een snelle omschakeling te bereiken waardoor de WIP vermindert en de doorlooptijd verbetert (Chiarini, 2013; Wilson, 2009). Wanneer de omschakeltijden verkorten, zal dit ook zorgen voor een vermindering van andere soorten verspilling zoals overproductie. Daarnaast moet het aantal minuten onder de tien blijven (Wilson, 2009).

Takt tijd

De takt tijd is het ontwerpproces van de cyclustijd om aan de vraag van de klant te voldoen (Wilson, 2009). Dit wordt berekend door de totale beschikbare productietijd per dag te delen door de productvraag (Dettmer, 2001; Wilson, 2009). Na het bepalen van de takt tijd wordt een systeem ontworpen dat producten produceert op het tempo van deze takt tijd. Wanneer er geproduceerd wordt in een cyclustijd die hoger is dan de takt tijd, heeft het bedrijf te maken met onderproductie. Hierdoor is het niet mogelijk om de vraag van de klant te voorzien. Wanneer er geproduceerd wordt in een cyclustijd die lager is dan de takt tijd, is er overproductie. Deze overproductie kan worden gestopt door bijvoorbeeld de productielijn stil te leggen (Wilson, 2009).

Total Productive Maintenance (TPM)

Total Productive Maintenance (TPM) organiseert het onderhoud en streeft naar het verminderen van machinebreuken en dergelijke problemen die de efficiëntie van productieve processen en de uitvoering van diensten verminderen. TPM mag uitgevoerd worden door zowel de werknemers en het onderhoudspersoneel als de supervisors en het senior management (Chiarini, 2013).

5S

Tabel 17 geeft een omschrijving van de 5S-benadering.

Japans	Engels	Betekenis
Seiri	Sorting	Identificeer onnodige items op de werkplek en verwijder ze (bijvoorbeeld: red tagging).
Seiton	Straightening	Organiseer de werkplek voor veiligheid en efficiëntie (bijvoorbeeld: tikken en labelen).
Seiso	Scrubbing	Behoud netheid met verantwoordingsplicht en regelmatig geplande schoonmaakbeurten (bijvoorbeeld: TPM).
Seiketsu	Standardizing	Documenteer verwachtingen en procedures om consistente prestaties te garanderen.
Shitsuke	Sustaining	Handhaaf de discipline met goede werkgewoontes en probleemoplossende denkwijze (bijvoorbeeld: Poka-yoke en werkplek Kaizen).

Tabel 17: De 5S-benadering van de organisatie van de werkplek (aangepast van Goldsby & Martichenko, 2005)

Value Stream Mapping (VSM)

Om een echte Lean operatie te bereiken, moet VSM vóór de andere tools toegepast worden (Rother & Shook, 1999). VSM is een wereldberoemd grafisch hulpmiddel dat gebruikt wordt om verspilling in de waardeestroom van een product te vinden en om de werkstroom te verduidelijken en te analyseren (Gupta & Jain, 2013; Wilson, 2009). Het doel van VSM is procesverbetering op systeemniveau (Wilson, 2009). Om de processen zichtbaarder te maken, worden alle activiteiten in het proces ingedeeld in een waarde toevoegende of niet-waarde toevoegende categorie (Staats et al., 2011). Vervolgens worden de verbanden tussen de informatie- en materiaalstroom weergegeven op slechts één kaart (Gupta & Jain, 2013; Rother & Shook, 1999).

Overige tools

Voor de overige tools, zoals de vijf waarom vragen, de standaardisatie van het werk, verkorten doorlooptijd, Heijunka, Continuous Improvement Process (CIP), cyclusvoorraad, buffervoorraad en veiligheidsvoorraad, Andon, Gemba Hoshin planning, minimale lotgroottes, stroom, evenwichtige operaties, multifunctionele teams, betrokkenheid leveranciersrelatie, wordt verwezen naar het boek van Wilson (2009) en het literatuuronderzoek van Bhamu en Sangwan (2014).

Bijlage 5: Combinatie Lean Productie en TOC

Stap 1: Bepaal de beperking van het systeem (TOC)

- Identificeer de waardeestroom (Lean Productie)
- Proceskartering (Lean Productie)
- Routinganalyse (Lean Productie)
- Capaciteitsbepaling (TOC)
- Indelen en ontwerpen cel (Lean Productie)
- Standaardwerk (Lean Productie)
- Rollen en verantwoordelijkheden (Lean Productie)

Stap 2: Beslissen hoe de beperking van het systeem te benutten (TOC)

- Kanban grootte (Lean Productie)
 - Overdracht partijgrootte (TOC)
- Eén stuk stroom (Lean Productie)
 - Proces batchafmetingen (TOC)
- Achterwaarts plan (TOC)
- Trommel (TOC)
- SMED (Lean Productie) *
- Poka-yoke (Lean Productie) *
- Kaizen (Lean Productie) *
- Grafische werkinstructies (Lean Productie)

Stap 3: Al het andere ondergeschikt maken aan de beslissing in stap 2 (TOC)

- Kanban-treksignaal (Lean Productie)
 - Touw (TOC)
- Buffer (TOC)
- 5S huishouding (Lean Productie) **
- SMED (Lean Productie) **
- TPM (Lean Productie) **
- Kaizen (Lean Productie) **
- Opleiding (Lean Productie, TOC) **

Stap 4: Verhoog de beperking van het systeem (TOC)

Stap 5: Ga terug naar stap 1, maar pas op voor traagheid (TOC)

Opmerking:

Activiteiten met een ster (*) worden bij de CCR gecombineerd als engineering en systeembeheerder. Deze activiteiten worden buiten de normale productieschema's om uitgevoerd (buiten ploegendiensten, weekends indien mogelijk) om de CCR-stilstand tot een minimum te beperken. Dit

zijn inspanningen met hoge prioriteit die nodig zijn om de beschikbare CCR-capaciteit te maximaliseren.

Activiteiten met een dubbele ster (**) zijn grotendeels door systeembeheerders geïnitieerde en gemanoeuvreeerde inspanningen bij alle niet-CCR's (dus overal anders dan bij de CCR). Deze activiteiten worden uitgevoerd in normale ploegendiensten, indien mogelijk, tijdens de rusttijd tussen de productiebanen. Dit zijn inspanningen met een lagere prioriteit, tenzij een niet-CCR het gevaar loopt een CCR te worden.