

Adaption bekannter Lean-Methoden auf die Anforderungen einer mehrstufigen Teilefertigung

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktoringenieurin (Dr.-Ing.)

von Dipl. Wirtschafts-Ingenieur Doreen Liebig
geb. am 19.01.1980 in Wolfen
genehmigt durch die Fakultät Maschinenbau
der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Gutachter:

Prof. Dr.-Ing. Hartmut Zadek

Prof. Dr. Michael Henke

Promotionskolloquium am 18.08.2016

Ehrenerklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Insbesondere habe ich nicht die Hilfe einer kommerziellen Promotionsberatung in Anspruch genommen. Dritte haben von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen.

Ich habe insbesondere nicht wissentlich:

- Ergebnisse erfunden oder widersprüchliche Ergebnisse verschwiegen,
- statistische Verfahren absichtlich missbraucht, um Daten in ungerechtfertigter Weise zu interpretieren,
- fremde Ergebnisse oder Veröffentlichungen plagiiert,
- fremde Forschungsergebnisse verzerrt wiedergegeben

Mir ist bekannt, dass Verstöße gegen das Urheberrecht Unterlassungs- und Schadensersatzansprüche des Urhebers sowie eine strafrechtliche Ahndung durch die Strafverfolgungsbehörden begründen kann.

Ich erkläre mich damit einverstanden, dass die Dissertation ggf. mit Mitteln der elektronischen Datenverarbeitung auf Plagiate überprüft werden kann.

Die Arbeit wurde bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form als Dissertation eingereicht und ist als Ganzes auch noch nicht veröffentlicht.

Horneburg, 30.09.2015

Vorwort

Die Idee zur vorliegenden Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als Unternehmensberaterin bei Festool Engineering GmbH in Neidlingen. In vielen Diskussionen konnte ich mit Klienten und Beraterkollegen in einen fachlichen Austausch treten. Zudem ist das Thema „Lean Management“ oder „Schlanke Produktion“ ein Kernthema in der gesamten Unternehmensgruppe. Aufgrund dieser sehr günstigen Ausgangssituation wurde ich im Unternehmen gut unterstützt, beginnend bei der Inhaberkategorie über den Vorstand und die Produktion bis hin zu den produktionsnahen Bereichen. Für diese Unterstützung möchte ich mich bedanken. Mein ganz besonderer Dank gilt meinem Mentor bei Festool Engineering und späteren Vorstand Dr. Thorsten Hartmann. Weiterhin möchte ich mich für das persönliche Engagement und für das wohlgesetzte, aber sehr hilfreiche Feedback von meinem Vorgesetzten Gerhard Grebing bedanken, der es ermöglicht hat, dass dieses Projekt zu einem glücklichen Ende geführt werden konnte.

Ein Projekt wie dieses erfordert sehr viele Opfer, die mitunter nicht nur von einem selbst zu erbringen sind, sondern in großem Maße auch von der eigenen Familie und von nahestehenden Freunden. Meinem Mann, Jörg Buschhoff, möchte ich für seine Geduld, Ruhe und Gelassenheit danken, an all den Tagen, die ich am Schreibtisch verbrachte oder an denen das Vorankommen mit der Arbeit nicht den eigenen Ansprüchen genügte. Weiterhin danke ich Rebekka und Jakob, die an vielen Wochenenden nicht das gewohnte Familienleben erleben durften und die sich dennoch nicht beklagten.

Möglich wird eine Arbeit wie diese nur dann, wenn es gelingt, andere von seinem Thema so sehr zu überzeugen, dass die anderen Rahmenbedingungen vernachlässigt werden können. Eine Dissertation neben meiner Vollzeit-Berufstätigkeit als Berater und später als Q-Leiter eines Produktionswerkes anfertigen zu können, war nur deshalb möglich, weil Prof. Harmut Zadek davon überzeugt war, dass dieses Thema der Mühe wert ist. Ich danke ihm für seine Unterstützung, die über die Ferne nicht immer einfach war.

Die vorliegende Arbeit ist das Ergebnis einer mehrjährigen Arbeit, die von verschiedenen Personen unterstützt wurde - sei es durch Diskussionen, gute Fragen, Anregungen, Kritik, Mutmachen u.v.a.m. All diesen Personen danke ich durch namentliche Nennung an dieser Stelle: Dr. Jörg Liebig, Dietmar und Karin Liebig, Hans und Ingrid Buschhoff, Silke Pohl, Mona Wappler, Dr. Mark Wappler, Dr. Knut Borrmann, Dr. Henning Strubelt, Martin Bitz, Wilhelm Hahn, Christian Russ, Steffen Schnürch, Linus Trippe, Frank Lehmann, Xenia Guber, Boje Ottenlinger, Jochen Mohn, Sandra Nippert, Dr. Uwe Bader, Michael Weinfurter, Hans Eggerth, Andreas Gombert, Jochen Braunstein, den Kollegen des Festool Qualitätsmanagements, Milan Čunát, Jan Cihlář, Jan Houda, Jochen Mann, Jutta Klopfer, Guillaume Simler, Rüdiger Kaufmann, Uwe Köngeter, Jörg Krämer, Marcus Kühnel, Hartmut Zügel, Maik Glutting, Frank Bader, Michael Krimpmann, Thomas Heinze, Volker Bachmann, Linda Scheiding, Eddie Koll, Dr. Thomas Bleis, Sascha Jaksic, Rainer Krause, Oliver Garn, Dr. Ulrich Lübke u.v.a.m.

Kurzreferat

Für gerichtete Produktionssysteme liegen zahlreiche Veröffentlichungen und Erkenntnisse vor, die es gestatten, eine umfassende Umstrukturierung nach Lean-Prinzipien vorzunehmen - ursprünglich bekannt unter dem Stichwort „Toyota Produktionssystem“. Die typischen Ziele der Umstrukturierung bestehen darin, die Bestände und die Durchlaufzeiten zu reduzieren, die Produktivität zu erhöhen und eine kontinuierliche Verbesserungssystematik zu installieren. Für eine mehrstufige Teilefertigung mit einer hohen Variantenvielfalt bei den Teilen, den verfügbaren Technologien und den technologischen Abläufen liegen zwar netzartige Materialflüsse vor, doch sind die Ziele vergleichbar. Ein ganzheitlicher Ansatz zur Einführung der Lean-Prinzipien ist nicht bekannt. Es liegen nur zahlreiche singuläre Ansätze vor.

Die Adaption des „Toyota Produktionssystems“ hat in der Vergangenheit branchen- und länderübergreifend stattgefunden. Damit lautet die zentrale Frage der vorliegenden Arbeit: Wie können die Lean-Prinzipien in einer mehrstufigen Teilefertigung zur Anwendung gebracht werden? Es wird davon ausgegangen, dass in einer mehrstufigen Teilefertigung eine Teilmenge der bekannten Lean-Methoden direkt angewendet werden kann bzw. dass nur geringfügige Anpassungen an die besonderen Anforderungen einer mehrstufigen Teilefertigung erforderlich sind.

In der vorliegenden Arbeit werden die bekanntesten Lean-Methoden ermittelt und in Form eines Methodenkatalogs beschrieben. Mittels eines qualitativen Modells werden die Ursache-Wirkung-Zusammenhänge in einem Produktionssystem dargestellt. Die Modellierung erfolgt in einem ersten Schritt für die gerichteten Systeme. Mit Hilfe des Modells wird ermittelt, welche Wirkungen durch den Einsatz der ausgewählten Lean-Methoden - bei einer typischen Ausgangssituation - für gerichtete Produktionssysteme zu erwarten sind. Im nächsten Schritt wird das Modell an die besonderen Anforderungen der mehrstufigen Teilefertigung angepasst und weiterentwickelt. Der Methodenkatalog für die gerichteten Systeme wird hinsichtlich seiner Anwendbarkeit in der mehrstufigen Teilefertigung überprüft und an die speziellen Erfordernisse der mehrstufigen Teilefertigung angepasst. Der so entstandene vollständige Methodenkatalog berücksichtigt die typischen Anforderungen einer mehrstufigen Teilefertigung. Schließlich wird ein Verfahren entwickelt, das auf Basis von einem Modell und Simulationen eine Reihenfolge für die Einführung der einzelnen Lean-Methoden vorgibt. Dieses Verfahren orientiert sich in erster Linie an den Zielprioritäten sowie der jeweiligen Ausgangssituation eines Unternehmens. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit werden in Experten-Interviews mit 20 ausgewählten Interviewpartnern der mittelständisch strukturierten Industrie überprüft.

Die vorliegende Arbeit erbringt den Nachweis, dass der entwickelte Methodenkatalog für die Einführung der Lean-Prinzipien in einer mehrstufigen Teilefertigung geeignet ist. Die entwickelten Modelle, für gerichtete Produktionssysteme und für mehrstufige Teilefertigungen, eignen sich für die Ermittlung eines auf das jeweilige Unternehmen zugeschnittenen Vorgehensweise unter Berücksichtigung der individuellen Zielprioritäten. Es wird gezeigt, dass es kein allgemeingültiges Verfahren oder auch Methodenreihenfolge für die Einführung der Lean-Prinzipien gibt. Außerdem wird durch zahlreiche Simulationsläufe nachgewiesen, dass eine Verschiebung der Ausgangssituation des Unternehmens bzw. eine Änderung seiner Zielprioritäten die optimale Methodenreihenfolge verändert.

A Inhaltsverzeichnis

A	Inhaltsverzeichnis	II
B	Abkürzungsverzeichnis	V
C	Bildverzeichnis.....	VI
D	Tabellenverzeichnis	VIII
1	Einleitung	1
1.1	Einführung in das Thema	1
1.2	Problemstellung in der mehrstufigen Teilefertigung	2
1.3	Motivation für das Thema	4
1.4	Wissenschaftliche Lücke	5
1.5	Zielstellung der Arbeit und Aufbau	5
2	Stand der Wissenschaft	8
2.1	Lean-Philosophie und Lean-Methoden	8
2.1.1	Bedeutung von Lean	8
2.1.2	Abgrenzung zwischen dem Lean-Zielbild und dem Veränderungsprozess	10
2.1.3	Lean-Methoden	11
2.2	Verfahren zur Einführung von Lean in Fertigungssystemen	23
2.2.1	Übersicht über die Verfahren	23
2.2.2	Anforderungen an Verfahren	25
2.3	Lean für mehrstufige Teilefertigung	25
2.3.1	Übersicht zur Anwendung von Lean	25
2.3.2	Vergleich zu Methodeneinsätzen gerichteter Systeme	31
2.3.3	Methodische Lücke für mehrstufige Teilefertigung	32
2.4	Zusammenfassung der wissenschaftlichen Lücke	33
3	Forschungsansatz der Arbeit	34
3.1	Aufbau der Arbeit	34
3.2	Elementartypen der Produktion	35
3.2.1	Einführung in die Elementartypen der Produktion	35
3.2.2	Nutzen und Anwendung	40
3.3	Ereignis-Wirkung-Ketten	40
3.3.1	Methodenauswahl für die Wirkungsdarstellung der ausgewählten Methoden	40
3.3.2	Nutzen der Methoden zur Wirkungsdarstellung	46
3.3.3	Anwendung in der Arbeit	47
3.4	Evaluierung des entwickelten Verfahrens	49
4	Wirkungsweise Lean-Methoden für gerichtete Systeme	52
4.1	Problembeschreibung für eine typische Ausgangssituation vor der Lean- Gestaltung	52
4.2	Einordnung gerichteter Systeme in Elementartypen	57

4.3 Erfüllung der Anforderungen mit Lean-Methoden in gerichteten Systemen	59
4.3.1 Ermittlung der Anforderungen	59
4.3.2 Methodeneinsatz in den Fallbeispielen	60
4.3.3 Ergebnisse des Methodeneinsatzes in den Fallbeispielen	61
4.4 Modellierung der Methodenwirkung in gerichteten Systeme	63
4.4.1 Abbilden der Anforderungen in Wirkungsketten	63
4.4.2 Modellierung der Ausgangssituation gerichteter Systeme	68
4.4.3 Modellierung des Methodeneinsatzes in gerichteten Systemen	73
4.4.4 Evaluierung des entwickelten Modells	75
4.5 Methodenreihenfolge für gerichtete Systeme	77
4.5.1 Bewertungskriterien für die Ermittlung der Methodenreihenfolge für gerichtete Systeme	77
4.5.2 Bewertung der Methoden gemäß den Kriterien zur Ermittlung einer Methodenreihenfolge	79
4.5.3 Zusammenfassung der Modellierungserkenntnisse	80
5 Wirkungsweise Lean-Methoden für eine mehrstufige Teilefertigung	82
5.1 Ausgangssituation	82
5.1.1 Problembeschreibung einer typischen Ausgangssituation	82
5.1.2 Einordnung in Elementartypen der Produktion	88
5.1.3 Ableitung der Anforderungen	91
5.2 Methodenauswahl für die mehrstufige Teilefertigung	92
5.2.1 Anforderungen an die Methodenauswahl	92
5.2.2 Methodenauswahl	93
5.2.3 Zielstellung für die Modellierung	96
5.3 Modellierung der Methodenwirkung in der mehrstufigen Teilefertigung	96
5.3.1 Beschreibung der Anforderungen durch Wirkungsketten	96
5.3.2 Modellierung der Ausgangssituation	102
5.3.3 Modellierung des Methodeneinsatzes in der mehrstufigen Teilefertigung	106
5.3.4 Die ideale mehrstufige Teilefertigung nach Lean-Prinzipien	111
5.4 Methodenreihenfolge für die mehrstufige Teilefertigung	112
5.5 Zusammenfassung	116
6 Aufbau und Evaluierung des Verfahrens für eine mehrstufige Teilefertigung	118
6.1 Methodisches Vorgehen zur Evaluierung der Methodenreihenfolge	118
6.1.1 Konzept der Evaluierung	118
6.1.2 Aufbau des Experten-Interviews	119
6.1.3 Auswahl der Experten	120
6.2 Ergebnisse der Experten-Interviews zur Methodenreihenfolge	120
6.2.1 Quantitative Befragungsergebnisse	120
6.2.2 Qualitative Befragungsergebnisse	133

6.2.3 Zusammenfassung	136
6.2.4 Reihenfolgeentwicklung auf der Grundlage der Befragungsergebnisse.	137
6.3 Herleitung des Verfahrens und Evaluierung	139
6.3.1 Verfahrensaufbau Grundmuster	139
6.3.2 Handlungsempfehlungen zu einzelnen Verfahrensschritten	154
6.3.3 Überprüfung des Verfahrens durch Experten	158
6.4 Empfehlungen für die Umstrukturierung einer mehrstufigen TF	160
7 Zusammenfassung und Ausblick	161
7.1 Zusammenfassung der Ergebnisse	161
7.2 Reflektion der Ergebnisse	162
7.3 Ausblick	163
8 Literaturverzeichnis	165
9 Anhang	175
9.1 Wertstromsymbole und ihre Bedeutung	175
9.2 Abgrenzung Mittelstand	176
9.3 Detaillierte Simulationsergebnisse gerichtete Systeme	177
9.4 Ergebnisse der Simulationsläufe zur Evaluierung des Modells für gerichtete Systeme	178
9.5 Gewichtung der Kriterien zur Ermittlung der Methodenreihenfolge für gerichtete Systeme	183
9.6 Simulationsergebnisse zum Herleiten der Methodenreihenfolge für gerichtete Systeme	183
9.7 Detaillierte Simulationsergebnisse für Teilefertigung	192
9.8 Simulationsergebnisse zur Reihenfolge 1 für die mehrstufige TF	194
9.9 Simulationsergebnisse zur Reihenfolge 2 für die mehrstufige TF	205
9.10 Gesprächsleitfaden für Experten-Interviews	215
9.11 Vorbereitungsunterlage für Experten-Interviews	218
9.12 Auswertung zu Experten-Interviews	227
9.13 Entwicklung Methodenreihenfolge nach Priorisierung Experten	229
9.14 Entwicklung Reihenfolge nach Ausgangssituation und Priorisierung Experten	239
9.15 Alternative Methodenreihenfolge für gerichtete Systeme	249
9.16 Wirkungseinflüsse der Methoden in gerichteten Systemen	250
9.17 Visualisierung der Verfahrensschritte	251

B Abkürzungsverzeichnis

5S	fünf japanische Ordnungsprinzipien (Seiri = Ordnung, Seiton = Organisation, Seiso = Aufräumen, Seiketsu = Sauberkeit, Shitsuke = Disziplin)
CM	Consideo Modeler: Software zur Abbildung von Ursache-Wirkung-Zusammenhängen nach der Know-why-Methode
ERP	Enterprise Resource Planning (engl. Unternehmenssoftware zur Planung der Kapazitäten)
JIT	Just in time (engl. bedarfssynchron, hier für Materialbereitstellung beim Kunden oder in der Produktion)
JIS	Just in sequence (engl. bedarfssynchron in der richtigen Sequenz, hier für Materialbereitstellung beim Kunden oder in der Produktion in der richtigen Reihenfolge bzw. Sequenz)
MB	Mercedes Benz, Werk São Bernardo
MRP	Material Resource Planning (engl. für Material- und Kapazitätsplanung)
MTBF	Mean time between failure (engl. durchschnittliche Zeit zwischen zwei Anlagenausfällen)
MTTR	Mean time to repair (engl. durchschnittliche Zeit zum Reparieren bei Anlagenstörungen)
OEE	Overall equipment efficiency (engl. Gesamtanlageneffektivität)
ppm	parts per Million (Teile je eine Million)
SMED	Single minute exchange of die (engl. Werkzeugwechsel im einstelligen Minutenbereich)
TF	Teilefertigung
TPM	Total productive maintenance (engl. umfassende produktionsorientierte Instandhaltung)
TQM	Total Quality Management (engl. umfassendes Qualitätsmanagement)
VSD	Value Stream Design (engl. Wertstromgestaltung)
VSM	Value Stream Mapping (engl. Wertstromanalyse)

c Bildverzeichnis

Abbildung 1: Lean-Prinzipien und Gestaltungsansätze (vgl. [Liebig 2009]).....	9
Abbildung 2: Der Veränderungsprozess in Etappen (vgl. [Rother 2009], S. 63, 89, 131) ..	10
Abbildung 3: Ebenen des Veränderungsprozesses	11
Abbildung 4: Schritte zur Reduzierung der Rüstzeiten (Quelle: Schulungsunterlagen Festool Engineering GmbH Thema Rüsten, Stand April 2008, S. 25)	14
Abbildung 5: Sieben Stufen zum TPM (Quelle: Schulungsunterlage Festool Engineering GmbH, Stand Januar 2008, S. 15)	15
Abbildung 6: Abgrenzung von Fertigung im Fluss (Quelle: Schulungsunterlage Festool Engineering GmbH, Stand April 2008, S. 2)	18
Abbildung 7: Pull-Prinzip, mit Kanban realisiert (vgl. [Rother 2003], S. 46)	19
Abbildung 8: Prinzip-Darstellung Fifo bzw. Conwip (vgl. [Rother 2003], S. 49; [Lödding 2008], S. 328)	20
Abbildung 9: Schematische Darstellung der Unterschiede zwischen Werkstattfertigung und Fertigungszelle (vgl. [Hyer 2002], S. 21)	27
Abbildung 10: Schnittmenge der Lean-Methoden	32
Abbildung 11: Aufbau der vorliegenden Arbeit	34
Abbildung 12: Werkstattprinzip (vgl. [Nebl 2010], S. 313)	37
Abbildung 13: Gruppenprinzip (vgl. [Nebl 2001], S. 314)	38
Abbildung 14: Reihenprinzip (vgl. [Nebl 2001], S. 315)	38
Abbildung 15: Reihenverlauf (vgl. [Nebl 2001], S. 325)	39
Abbildung 16: Parallelverlauf (vgl. [Nebl 2001], S. 328)	39
Abbildung 17: Kombierter Verlauf (vgl. [Nebl 2001], S. 331)	39
Abbildung 18: Die iterative Aufbaustruktur des Sensitivitätsmodells (vgl. [Vester 2000], S. 169)	41
Abbildung 19: Schritte der Modellerstellung (vgl. [Matthies 2002], S. 36)	43
Abbildung 20: Beispiel eines Flussmodells für das Systemmodell einer Bevölkerungs- entwicklung (vgl. [Matthies 2002], S. 59)	44
Abbildung 21: Beispielmodell zur Auswirkung alternativer Energien auf das Wirtschaftswachstum (vgl. [Neumann 2009], S. 26)	45
Abbildung 22: Wirkungskette für den Faktor „Alternative Energien“ zum Beispielmodell (vgl. [Neumann 2009], S. 27)	45
Abbildung 23: Modellausschnitt für das Submodell „5S-Niveau der Fertigung“	48
Abbildung 24: Vereinfachter Wertstrom der Firma Festool, Stand 1993 (Quelle: [Festool])	53
Abbildung 25: Vereinfachte Wertstromdarstellung zum Produktionsfluss des Bosch- Lieferanten (vgl. [Schumacher 2007], S. 68)	55
Abbildung 26: Produktionsstruktur bei Lantech (vgl. [Womack 2003], S. 104)	56
Abbildung 27: Übersicht Zusammenspiel der Submodelle im Modell gerichteter Systeme	69
Abbildung 28: Wirkungszusammenhänge im Submodell „Mitarbeiterproduktivität“	69
Abbildung 29: Formelermittlung im Modell gerichteter Systeme	72
Abbildung 30: Datenverläufe in der Ausgangssituation bis eingeschwungener Zustand ..	73
Abbildung 31: Datenverläufe Ausgangssituation und Optimierung	75
Abbildung 32: Ergebnisse der Befragung mittelständischer Unternehmen zum Nutzen ganzheitlicher Produktionssysteme (vgl. [Jödicke 2013], S. 126)	78
Abbildung 33: Durchlaufzeiten-Syndrom (vgl. [Huber 2010], S. 134 ff.)	83
Abbildung 34: Prinzipdarstellung Glätten nach Teileklassen	94
Abbildung 35: Prinzipdarstellung Harmonisierung der Losdauer	95
Abbildung 36: Modellübersicht mehrstufige Teilefertigung	103
Abbildung 37: Wirkungszusammenhänge im Submodell „Mitarbeiterproduktivität“ der mehrstufigen Teilefertigung	103
Abbildung 38: Datenverläufe in der Ausgangssituation für mehrstufige TF	106
Abbildung 39: Datenverläufe Ausgangssituation und Optimierung für mehrstufige TF ...	109
Abbildung 40: Vereinfachte Abbildung der mehrstufigen TF nach Lean-Prinzipien	112

Abbildung 41: Verfahren zur Expertenbefragung	118
Abbildung 42: Auswertung der Experten-Interviews: Position der Interviewpartner.....	121
Abbildung 43: Auswertung der Experten-Interviews: Funktion der Interviewpartner in der TF	122
Abbildung 44: Auswertung der Experten-Interviews: Größe des Unternehmens	122
Abbildung 45: Auswertung der Experten-Interviews: Branche der Unternehmen.....	123
Abbildung 46: Auswertung der Experten-Interviews: Größe der TF	124
Abbildung 47: Auswertung der Experten-Interviews: Art der Produktionsauslösung	124
Abbildung 48: Auswertung der Experten-Interviews: Fertigungsauftragsgröße	125
Abbildung 49: Auswertung der Experten-Interviews: Organisationsform	126
Abbildung 50: Auswertung der Experten-Interviews: Ziele in der TF	127
Abbildung 51: Auswertung der Experten-Interviews: Verständlichkeit des Lösungsansatzes.....	128
Abbildung 52: Auswertung der Experten-Interviews: Bevorzugte Methodenreihenfolge	128
Abbildung 53: Auswertung der Experten-Interviews: Realisierbarkeit der Methodenreihenfolgen	129
Abbildung 54: Auswertung der Experten-Interviews: Erfolgsaussichten der Methodenreihenfolgen	130
Abbildung 55: Auswertung der Experten-Interviews: Umsetzungsdauer	130
Abbildung 56: Auswertung der Experten-Interviews: nächster Umsetzungsschritt in der TF	131
Abbildung 57: Auswertung der Experten-Interviews: Anwendbarkeit der Methoden	132
Abbildung 58: Auswertung der Experten-Interviews: Umsetzungsgrad der Methoden ..	133
Abbildung 59: Geeignete Produktionstypen für das Verfahren	142
Abbildung 60: Einstellen der Ausgangs- und Endwerte für Kriterien zur Entwicklung von Faktoren im Modell.....	149
Abbildung 61: Fragenkatalog Experten-Interviews Teil 1	215
Abbildung 62: Fragenkatalog Experten-Interviews Teil 2	216
Abbildung 63: Fragenkatalog Experten-Interviews Teil 3	217
Abbildung 64: Auswertung Experten-Interviews Alter der Teilnehmer.....	227
Abbildung 65: Auswertung Experten-Interviews Erfahrung zum Thema Lean.....	227
Abbildung 66: Auswertung Experten-Interviews Erfahrung mit mehrstufiger TF.....	228
Abbildung 67: Auswertung Experten-Interviews Einführung Lean in der TF	228

D Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Aufbau der Arbeit	7
Tabelle 2: Ergebnis der Methodenrecherche	13
Tabelle 3: Bewertung Lean-Charakter ausgewählter Methoden	22
Tabelle 4: Übersicht über die Verfahren der Lean-Methodeneinführung	24
Tabelle 5: Übersicht über die geeigneten Methoden (vgl. [Irani 2011]).....	30
Tabelle 6: Produktionsprozess-Typisierung (vgl. [Nebl 2001], S. 47 ff.).....	36
Tabelle 7: Bewertung der Methodenansätze	47
Tabelle 8: Merkmale der Stichprobe für die Auswahl der Experten	51
Tabelle 9: Einordnung der Fallbeispiele in die Elementartypen der Produktion	58
Tabelle 10: Methodeneinsatz bei den Fallbeispielen.....	60
Tabelle 11: Ergebnisse Einsatz Lean-Methoden Fallbeispiele.....	62
Tabelle 12: Definition der Modell-Variablen für gerichtete Systeme	63
Tabelle 13: Wirkungszusammenhänge gerichteter Systeme	66
Tabelle 14: Einflussmatrix gerichtete Systeme	71
Tabelle 15: Abbilden der Lean-Methoden im Modell über Kriterien	74
Tabelle 16: Wirkungsveränderungen durch Einführung von Lean-Methoden im Modell ...	76
Tabelle 17: Methodenreihenfolge für gerichtete Systeme	80
Tabelle 18: Einordnung der Fälle mehrstufige TF in die Elementartypen der Produktion	89
Tabelle 19: Prüfen der Methoden einstufiger Systeme auf die Kriterien der mehrstufigen TF	92
Tabelle 20: Ableitung der geeigneten Methodenauswahl für mehrstufige TF	94
Tabelle 21: Definition der Modell-Variablen für die mehrstufige TF	97
Tabelle 22: Wirkungszusammenhänge in einer mehrstufigen TF	100
Tabelle 23: Einflussmatrix mehrstufige Teilefertigung.....	105
Tabelle 24: Abbilden der Lean-Methoden im Modell der mehrstufigen TF	107
Tabelle 25: Wirkungsstärken der Lean-Methoden im Modell	108
Tabelle 26: Vergleich der Simulationsergebnisse der Modelle	110
Tabelle 27: Methodenreihenfolge 1 für Einführung von Lean in der mehrstufigen TF....	114
Tabelle 28: Empfohlenes Methodenreihenfolge 1 zur Einführung von Lean	114
Tabelle 29: Methodenreihenfolge 2 zur Einführung von Lean in der mehrstufigen TF ...	115
Tabelle 30: Empfohlenes Methodenreihenfolge 2 zur Einführung von Lean	115
Tabelle 31: Matrix zur Expertenauswahl	120
Tabelle 32: Ziele-Priorisierungen für die Reihenfolgeermittlung im Modell	137
Tabelle 33: Methodenreihenfolge 3 für die Einführung von Lean in der mehrstufigen TF (auf der Grundlage der Ergebnisse der Expertenbefragung zu Prioritäten). 138	
Tabelle 34: Methodenreihenfolge 4 für die Einführung von Lean in der mehrstufigen TF (auf der Grundlage der Ergebnisse der Expertenbefragung zur Priorität und zur Ausgangssituation)	139
Tabelle 35: Variantenbildung für das Verfahren	140
Tabelle 36: Verfahrensschritte als Grundmuster	141
Tabelle 37: Fragenkatalog zur einfachen Unterscheidung der Produktionssysteme nach gerichteten Systemen und mehrstufiger TF	143
Tabelle 38: Bewertung des Methodeneinsatzes in der Ausgangssituation	143
Tabelle 39: Bewertung des Methodeneinsatzes für gerichtete Systeme in der Ausgangssituation.....	144
Tabelle 40: Bewertung des Methodeneinsatzes für mehrstufige TF in der Ausgangssituation.....	145
Tabelle 41: Erfassung von Kennzahlen für die Bestimmung der Ausgangssituation gerichteter Systeme	146
Tabelle 42: Erfassung von Kennzahlen für die Bestimmung der Ausgangssituation in der mehrstufigen TF	147
Tabelle 43: Beispiel für Ziel Priorisierung für das Produktionssystem (in Anlehnung an [Jödicke 2013], S. 126)	149
Tabelle 44: Festlegen der Ausgangs- und Zielwerte für die Kriterien zur Entwicklung von Faktoren im Modell der gerichteten Systeme	150

Tabelle 45: Festlegen der Ausgangs- und Zielwerte für die Kriterien zur Entwicklung von Faktoren im Modell der mehrstufigen TF	151
Tabelle 46: Übersetzungstabelle der Unternehmensziele auf die relevanten Faktoren im Modell für gerichtete Systeme	152
Tabelle 47: Übersetzung der Unternehmensziele auf die relevanten Faktoren im Modell für die mehrstufige TF	153
Tabelle 48: Übersicht zu verfügbaren Methodenreihenfolgen	157
Tabelle 49: Auswahl der wichtigsten Wertstromsymbole (vgl. [Rother 2003])	175
Tabelle 50: Abgrenzung Mittelstand (vgl. [Jödicke 2013], S. 17)	176
Tabelle 51: Simulationsergebnisse gerichtete Systeme Ausgangssituation	177
Tabelle 52: Werte der Faktoren in der Ausgangssituation und nach Optimierung (eingeschwungenes System)	178
Tabelle 53: Ergebnis Simulationslauf Optimierung Variable 6-2 „Qualität Rüstablauf“ ..	178
Tabelle 54: Ergebnis Simulationslauf Optimierung Variable 6-3 „Qualität der Wartungsaktivitäten“	179
Tabelle 55: Ergebnis Simulationslauf Optimierung Variable 1-3 „Bewusstsein und Aktivität für Standardisierung“	179
Tabelle 56: Ergebnis Simulationslauf Optimierung Variable 1-4 „Qualität der Abtaktung“	180
Tabelle 57: Ergebnis Simulationslauf Optimierung Variable 12-2 „Niveau Trennung von Wertschöpfung und Logistik“	180
Tabelle 58: Ergebnis Simulationslauf Optimierung Variable 10 „Qualität des Fertigungsflusses“	181
Tabelle 59: Ergebnis Simulationslauf Optimierung Variable 8-2 „Bewusstsein und Aktivität für 5S“	181
Tabelle 60: Ergebnis Simulationslauf Optimierung Variable 2-2 „Umfang eingesetzter Pull-Methoden“	182
Tabelle 61: Ergebnis Simulationslauf Optimierung Variable 13-2 „Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters“	182
Tabelle 62: Gewichtung der Kategorien zur Bewertung der Simulationsschritte	183
Tabelle 63: Variablenbezeichnung als Überblick für Simulationsläufe	183
Tabelle 64: Simulationsläufe Stufe 1	184
Tabelle 65: Simulationsläufe Stufe 2	185
Tabelle 66: Simulationsläufe Stufe 3	186
Tabelle 67: Simulationsläufe Stufe 4	187
Tabelle 68: Simulationsläufe Stufe 5	188
Tabelle 69: Simulationsläufe Stufe 6	189
Tabelle 70: Simulationsläufe Stufe 7	190
Tabelle 71: Simulationsläufe Stufe 8	190
Tabelle 72: Simulationsläufe Stufe 9	191
Tabelle 73: Simulationsergebnisse mehrstufige TF in der Ausgangssituation	192
Tabelle 74: Simulationsergebnisse mehrstufige TF mit Einführung Lean-Methoden.....	193
Tabelle 75: Simulationsläufe Stufe 1	194
Tabelle 76: Simulationsläufe Stufe 2	195
Tabelle 77: Simulationsläufe Stufe 3	196
Tabelle 78: Simulationsläufe Stufe 4	197
Tabelle 79: Simulationsläufe Stufe 5	198
Tabelle 80: Simulationsläufe Stufe 6	199
Tabelle 81: Simulationsläufe Stufe 7	200
Tabelle 82: Simulationsläufe Stufe 8	201
Tabelle 83: Simulationsläufe Stufe 9	202
Tabelle 84: Simulationsläufe Stufe 10	203
Tabelle 85: Simulationsläufe Stufe 11	204
Tabelle 86: Simulationsläufe Stufe 12	204
Tabelle 87: Simulationsläufe Stufe 1	205
Tabelle 88: Simulationsläufe Stufe 2	206
Tabelle 89: Simulationsläufe Stufe 3	207
Tabelle 90: Simulationsläufe Stufe 4	208

Tabelle 91: Simulationsläufe Stufe 5	209
Tabelle 92: Simulationsläufe Stufe 6	210
Tabelle 93: Simulationsläufe Stufe 7	211
Tabelle 94: Simulationsläufe Stufe 8	212
Tabelle 95: Simulationsläufe Stufe 9	213
Tabelle 96: Simulationsläufe Stufe 10	213
Tabelle 97: Simulationsläufe Stufe 11	214
Tabelle 98: Simulationsläufe Stufe 12	214
Tabelle 99: Simulationsläufe Stufe 1	229
Tabelle 100: Simulationsläufe Stufe 2	230
Tabelle 101: Simulationsläufe Stufe 3	231
Tabelle 102: Simulationsläufe Stufe 4	232
Tabelle 103: Simulationsläufe Stufe 5	233
Tabelle 104: Simulationsläufe Stufe 6	234
Tabelle 105: Simulationsläufe Stufe 7	235
Tabelle 106: Simulationsläufe Stufe 8	236
Tabelle 107: Simulationsläufe Stufe 9	237
Tabelle 108: Simulationsläufe Stufe 10	237
Tabelle 109: Simulationsläufe Stufe 11	238
Tabelle 110: Simulationsläufe Stufe 12	238
Tabelle 111: Simulationsläufe Stufe 1	239
Tabelle 112: Simulationsläufe Stufe 2	240
Tabelle 113: Simulationsläufe Stufe 3	241
Tabelle 114: Simulationsläufe Stufe 4	242
Tabelle 115: Simulationsläufe Stufe 5	243
Tabelle 116: Simulationsläufe Stufe 6	244
Tabelle 117: Simulationsläufe Stufe 7	245
Tabelle 118: Simulationsläufe Stufe 8	246
Tabelle 119: Simulationsläufe Stufe 9	247
Tabelle 120: Simulationsläufe Stufe 10	247
Tabelle 121: Simulationsläufe Stufe 11	248
Tabelle 122: Simulationsläufe Stufe 12	248
Tabelle 123: Methodenreihenfolge für gerichtete Systeme und Ziele Liefertreue, Durchlaufzeit und Bestandsreduzierung	249
Tabelle 124: Wirkungsstärken der Lean-Methoden im Modell der gerichteten Systeme	250

1 Einleitung

1.1 Einführung in das Thema

Anfang der neunziger Jahre wurde das Buch „The machine that changed the world“ (dt. Titel: Die zweite Revolution in der Automobilindustrie) veröffentlicht (vgl. hierzu [Womack 2007]). Mit den Forschungsergebnissen von James P. Womack, Daniel T. Jones und Daniel Roos wurde zum erste Mal einer breiten Öffentlichkeit bewusst, dass die bis dahin entwickelten und damals noch vorherrschenden Produktionsparadigmen zu hinterfragen sind, um echte Veränderungen und dadurch deutliche Ergebnissteigerungen in der Produktion zu erzielen. Auf diese Forschungsarbeit folgten zahlreiche weitere Veröffentlichungen zu neuen Ansätzen in der Produktion, um den Zielkonflikt zwischen einer hohen Qualität, geringen Kosten und einer geringen Durchlaufzeit zu lösen (vgl. [Porter 2010]) bzw. diese Anforderungen zu meistern.

Die Bezeichnungen für die in den neunziger Jahren neu entwickelten Produktionsparadigmen sind sehr unterschiedlich und reichen von „Toyota Produktionssystem“¹ über „Lean Production“ (dt. „Schlanke Produktion“) bis zu späteren Bezeichnungen wie „Lean Management“ (dt. „Schlanke Unternehmensführung“) oder „Ganzheitliches Produktionssystem“. Wenn auch die Bezeichnungen variieren, so ist doch der eigentliche Kern der Konzepte immer derselbe. Es geht - unter Berücksichtigung des Zieldreiecks nach Porter - um die Produktion dessen, was der Kunde gerade tatsächlich benötigt, und um eine kontinuierliche Weiterentwicklung des bestehenden Systems, mit vielen kleinen Verbesserungsschritten in eine Zielrichtung, die als Ideal oder Vision eines Produktionssystems vorgegeben ist. Im weiteren Verlauf der vorliegenden Arbeit wird die Bezeichnung „Schlanke Produktion“ verwendet.

Seit der Veröffentlichung von Womack, Jones und Roos wurden die beschriebenen Ansätze zur Schlanke Produktion in vielen Unternehmen angewendet. Sie haben zu überzeugenden Ergebnissen wie beispielsweise zu einer Kostenreduzierung von 20% oder zu einer Lieferzeitverkürzung von 54% geführt (vgl. [Bendeich 2001] und [Reinhart 2003]). Insbesondere in Unternehmen mit großen Serien - wie in der Automobilproduktion und in der Automobilzulieferindustrie - konnten beeindruckende Ergebnisse erzielt werden. In diesen Branchen ist die Umsetzung der Prinzipien der Schlanke Produktion eine Voraussetzung, um die Wettbewerbsfähigkeit zu sichern.

In der Folgezeit wurden die Lösungsansätze und die Prinzipien der Schlanke Produktion auf weitere Anwendungsgebiete übertragen. Die Prinzipien wurden auch im indirekten Bereich bzw. in administrativen Prozessen adaptiert, z.B. bei der Entwicklung neuer Produkte (siehe [Maurya 2013] und [Romberg 2010]), in der Buchhaltung (vgl. [Maskell 2003]), in der Softwareentwicklung (siehe [Sprengholz 2011]) und sogar bei der Wiederaufbereitung von Rohstoffen (vgl. [Dunkel 2008]).

Neben der Adaption der Lean-Prinzipien in den produktionsfernen Bereichen wird auch der Versuch unternommen, andere Produktionssysteme, bei denen beispielsweise eine höhere Variantenvielfalt und geringere Bedarfe je Produktvariante oder stark schwankende Bedarfe in Kombination mit vielen Fertigungsstufen vorliegen, schlank zu gestalten. Die einschlägigen Veröffentlichungen reichen von der Einzelfertigung (engl. job shop) bis hin zu Gießereien (vgl. hierzu u.a. [Jina 1997]; [Chen 2010]; [Danford 2010]; [Slomp 2009]; [Lasa 2009]; [Specht 2009]; [Irani 2011]; [Halmosi 2005]; [Singh 2009]). Die Besonderheit dieser Produktionssysteme besteht darin, dass sie deutlich weniger repetitiv

¹ In der Veröffentlichung von Womack, Jones und Roos wird eine Benchmark-Studie vorgestellt, die Toyota als Automobilhersteller mit den westlichen Automobilunternehmen aus Europa und aus den USA vergleicht. Da die Ergebnisse bei Toyota einen deutlichen Vorsprung gegenüber den anderen Unternehmen aufzeigen und da dies durch die Anwendung neuer, bis dahin nur gering verbreiteter Methoden erreicht wurde, wird das Gesamtkonzept als „Toyota Produktionssystem“ bezeichnet.

sind. Aufgrund der hohen Teilevielfalt und der hohen Varianz der technologischen Abläufe ist eine einfache Übertragung der bewährten Lösungen des „Toyota Produktionssystems“ weder offensichtlich noch naheliegend. Diese Ausgangssituation erschwert erheblich eine schnelle und einfache Rationalisierung nach dem bewährten Muster, wie das in den letzten Jahren beispielsweise vielfach in der Automobilindustrie und in deren Zulieferbetrieben erfolgt ist. Doch es zeigt sich immer wieder, dass einzelne Methoden oder Lösungsansätze durchaus angewendet werden können.

Die Teilefertigung - als das Bindeglied zwischen der grundstoffverarbeitenden Industrie und der Montage (vgl. [Westkämper 2006]) - ist in unterschiedlichsten Branchen, Größen und Ausführungen zu finden. Häufig sind Drehereien mit verzahnenden Prozessen - Schleifen, Entgraten usw. - anzutreffen. Doch auch eine Blechfertigung, die unterschiedlichste Bauteile in eine Montage liefert, verfügt über eine hohe Varianz an technologischen Abläufen. Eine Kabelbaumfertigung erfordert die Vorbereitung der Litzen und die Verbindung der Litzen mit den erforderlichen Kontakten. Da Kabelbäume in sehr kleine Bauräume von Endprodukten zu integrieren sind, ist auch hier eine hohe Teilevielfalt unentbehrlich. Auch in der Elektronikindustrie - insbesondere bei Investitionsgütern der Industrie (Sensor- und Prüftechnik) - werden kundenindividuelle Produkte gefertigt, die eine vorgelagerte Teilefertigung entsprechend den individuellen Kundenbedürfnissen erfordern.

Die gemeinsamen Merkmale der unterschiedlichen Ausprägungen der Teilefertigungen sind eine hohe Variantenvielfalt, eine relativ geringe Seriengröße (Klein- bis Mittelserie), eine hohe Varianz in der Reihenfolge der Technologien sowie mehrstufige Fertigungsprozesse zur Herstellung der Teile. Die große Anzahl der unterschiedlichen Arbeitsreihenfolgen zur Fertigung der Teile führt zu netzartigen Materialflüssen. Die Einführung einer einheitlichen Fertigungsstraße wäre weder wirtschaftlich noch realisierbar. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird diese Fertigungsform als mehrstufige Teilefertigung bezeichnet.

Auch bei der mehrstufigen Teilefertigung wird angestrebt, mit kurzen Durchlaufzeiten bei hoher Qualität und geringen Kosten zu produzieren. Die erfolgreiche Übertragung der Lösungsansätze des „Toyota Produktionssystems“ auf andere Länder (Automobilbranche) sowie auf andere Prozesse und Branchen² zeigt, dass die Adaption auf andere Systeme mit vergleichbaren Anforderungen möglich ist. Daher soll in der vorliegenden Arbeit untersucht werden, inwiefern die bekannten Lean-Methoden auf die speziellen Anforderungen der mehrstufigen Teilefertigung angewendet werden können, um eine Schlanke Produktion herbeizuführen.

1.2 Problemstellung in der mehrstufigen Teilefertigung

In der mehrstufigen Teilefertigung (TF) zeigen sich ganz offensichtliche Probleme und - bei einer genaueren Analyse - auch strukturelle Schwächen, die in ihrem Zusammenspiel zu einem Komplex von Anforderungen führen. Es ist jedoch müßig, darüber zu diskutieren, wodurch die Probleme verursacht werden. Sie können einerseits ihren Ursprung in der Struktur haben, andererseits können auch bestimmte Probleme zu gewissen Strukturen führen.

² Die Firma Silit hat als Topfhersteller ihre Lieferfähigkeit von 2009 bis 2013 auf 95% gesteigert und die Durchlaufzeit um 44% reduziert (eigene Angaben im Wettbewerb Fabrik des Jahres) (vgl. [Silit]).

Die Firma Rohde & Schwarz in Teisnach produziert Sender und konnte beispielsweise von 2005 bis 2010 die Durchlaufzeit um bis zu 80% reduzieren (eigene Angaben im Wettbewerb Fabrik des Jahres) (vgl. [Rohde & Schwarz]).

Die Firma Festool mit dem Werk in Neidlingen hat über einen Zeitraum von mehr als 10 Jahren hinweg einen umfassenden Veränderungs- und Umstrukturierungsprozess durchlaufen (weitere Details siehe Abschnitt 4.1).

Die wichtigste Anforderung der mehrstufigen TF lässt sich anhand von Aspekten beschreiben, die offen zutage treten: Es liegen hohe Durchlaufzeiten von mehreren Wochen je Auftrag vor. Die Werte schwanken jedoch stark von Auftrag zu Auftrag. Analysen zeigen, dass die Durchlaufzeiten in einer TF um den Faktor 5 schwanken können. Der Liegezeitanteil der Durchlaufzeiten liegt deutlich über 90%.

Die Konsequenzen, die sich aus den langen Durchlaufzeiten ergeben, sind ebenfalls deutlich sichtbar. Der Umlaufbestand an Aufträgen in der TF ist sehr hoch. Detailanalysen zeigen, dass viele Aufträge zwar gestartet werden, dann aber lange Liegezeiten aufweisen. Die hohe Auftragsmenge führt u.a. zu einer geringen Liefertreue.

Aus der Kombination von hohen Auftragsmengen und langen Durchlaufzeiten bzw. geringer Liefertreue erwächst der Wunsch, einzelne Aufträge bevorzugt durch die Fertigung hindurchzusteuern, um einen bestimmten Kundenauftrag termingemäß fertigstellen zu können. Damit wird die Arbeit der Fertigungssteuerer oder Produktionsplaner durch einen hohen manuellen Steuerungsaufwand geprägt. Es herrscht Unruhe in der Fertigung, da sich Prioritäten und Auftragsreihenfolgen in der Fertigung mehrmals am Tag ändern können. So entstehen die stark variierenden Durchlaufzeiten für Aufträge in der TF. Zusätzlich wird immer wieder das Durchlaufzeitensyndrom beobachtet. Das heißt: die schwankenden Durchlaufzeiten und der hohe Umlaufbestand verstärken sich wechselseitig.

Andererseits besteht eine Anforderung für die Steuerung der TF darin, bei netzartigen Materialflüssen die Aufträge für einzelne Anlagen zu planen und zu steuern. Es ist nicht klar, welche Aufträge von Vorgängerprozessen im Laufe eines Tages an einer gegebenen Anlage ankommen und zu bearbeiten sind.

Weiterhin fällt auf, dass in einer mehrstufigen TF aufgrund unterschiedlicher Belastungs- und Auftragssituationen dynamisch wandernde Engpässe auftreten können. Wird ein Engpass oder eine drohende Verzögerung wichtiger Aufträge erkannt, dann wird durch unterschiedliche Funktionen manuell eingegriffen: Priorisierungslisten werden erstellt und Terminlisten geführt, um den voraussichtlichen Fertigstellungstermin des Auftrags zu ermitteln. Dadurch werden die ursprünglich geplanten Auftragsreihenfolgen aufgelöst. Die Liefertreue der nicht-priorisierten Aufträge ist stark gefährdet.

Liegen für eine Anlage keine Prioritäten vor, werden die Aufträge vorzugsweise entsprechend der optimalen Rüstreihenfolge gefertigt. Das Ziel der Feinplanung für eine Maschine besteht in der optimalen Ausnutzung der Anlagenkapazität. Die Belegungszeiten der Aufträge schwanken bei ein und derselben Anlage sehr stark von einstelligen Stundenwerten bis hin zu mehreren Tagen.

Die Ursachen dieser offensichtlichen Probleme sind zum Teil in den vorhandenen Strukturen der mehrstufigen TF zu suchen. Die Maschinen sind ähnlich einer Werkstattstruktur aufgebaut. Eine reine Werkstattstruktur liegt jedoch nicht vor, sondern es sind zum Teil Tendenzen eines gegenstandsspezialisierten Fertigungsabschnitts erkennbar. Die Maschinen, die gleiche Teile bearbeiten und unterschiedliche Verfahren bereitstellen, sind häufig organisatorisch in einem Bereich zusammengefasst. Die übergeordnete Organisation der Teilefertigung ist jedoch immer noch die Werkstattfertigung. Das führt schließlich zu netzartigen Materialflüssen und zu langen Liegezeiten in der TF.

Der Weitertransport der Teile von einer Werkstatt zur nächsten bzw. von einer Maschine zur nächsten ist unregelmäßig organisiert. Es lässt sich häufig beobachten, dass ein Weitertransport lediglich einmal am Tag erfolgt. In Kombination mit den stark unterschiedlichen und zum Teil sehr langen Belegungszeiten ist das Aufkommen für den Weitertransport durch die innerbetriebliche Logistik stark schwankend.

Aufgrund der netzartigen Materialflüsse ist unklar, wann Aufträge fertig werden, und es fehlt die Übersicht darüber, wie stark die TF mit den bereits gestarteten Aufträgen in den

einzelnen Werkstätten ausgelastet sein wird. Aufgrund der langen Durchlaufzeiten fehlt daher jeglicher Überblick über die Gesamtsituation. Immer neue Aufträge werden eingeplant und gestartet, ohne dass Klarheit hinsichtlich der Konsequenzen für die gesamte Fertigung besteht.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Anforderungen der mehrstufigen TF vielfältig und vielstufig sind und ganz offensichtlich einander bedingen.

1.3 Motivation für das Thema

Das Feld der Veröffentlichungen zum Thema Lean-Produktion oder Schlanke Produktion ist derart vielgestaltig und umfangreich, dass sich berechtigterweise die Frage stellt, ob eine weitere Publikation dem Thema wirklich dienlich ist.

Es stimmt zwar, dass die Veröffentlichungen zum Thema Lean-Produktion sehr reichhaltig, umfassend und vielfältig sind, andererseits ist aber festzustellen, dass speziell zur mehrstufigen TF wenig publiziert wird. Die vorliegenden Veröffentlichungen beschäftigen sich lediglich mit Teilaspekten der mehrstufigen TF. Beispielsweise entwickelte [Duggan 2002] eine im Wesentlichen abgewandelte Form der Wertstromanalyse in Anlehnung an Rother's Veröffentlichungen zur Wertstromanalyse (vgl. [Rother 2003]). Andere Autoren beschränken sich auf die Organisation eines Fertigungsbereichs in Form einer Fertigungszelle und vernachlässigen dabei andere Aspekte der mehrstufigen TF, wie beispielsweise die Methoden der Auftragssteuerung (siehe [Danford 2010]; [Black 2007]; [Li 2005]; [Hyer 2002]). Andere Autoren hingegen fokussieren ihre Darlegungen stark auf das Thema Produktionssteuerung und vernachlässigen dabei wiederum andere Aspekte der mehrstufigen TF (vgl. hierzu [Lödding 2008]; [Bornhäuser 2005]; [Slomp 2009]).

Weiterhin ist festzustellen, dass sich die Lösungsansätze außerhalb der Lean-Thematik lediglich mit dem optimierten Ablauf in bestehenden Strukturen und Prozessen beschäftigen. Es werden in erster Linie Lösungsansätze im Bereich der Software vorgeschlagen, die direkt am ERP-System³ ansetzen, oder es werden Leitstandlösungen vorgeschlagen bzw. bestehende Leitstandalgorithmen optimiert (vgl. hierzu [Peters 2009]; [Müller 2009]; [Müller 2009-2]; [Märtens 2007] u.v.a.m.). Der Nachteil der Ansätze außerhalb der Lean-Thematik besteht darin, dass lediglich Einzelaspekte betrachtet und bestehende Strukturen und Abläufe hingenommen werden, statt einen ganzheitlichen Ansatz zu wählen, Bestehendes zu hinterfragen und so zu neuen Lösungsansätzen zu gelangen.

Eine mehrstufige TF ist häufig in Unternehmen mittlerer Größe anzutreffen, die eine Fertigung mit Kleinserien oder mittelgroßen Serien betreiben. Diese Seriengrößen ermöglichen keine vollständige Auslastung einer Anlage und schon gar nicht einer Produktionsstraße. Diese Unternehmen haben eine Größe, die im Bereich der Definition der Klein- und Mittelständischen Unternehmen liegt, oder erreichen mit ihrer Größe sogar den Status der kleinen Großunternehmen. Häufig ist die TF ein elementares Fertigungselement, um die Montage mit den erforderlichen Teilen zu versorgen. Zum Teil wurden einige attraktive Teile ausgegliedert. Jedoch sind viele Teile für externe Lieferanten uninteressant. Allerdings kann es aber auch strategische Gründe dafür geben, dass die Teile in der eigenen TF gefertigt werden sollen.

In den Unternehmen mit einer mehrstufigen TF gibt es häufig auch eine Montage. Um Potentiale auszuschöpfen, ist die Montage bereits nach Lean-Prinzipien gestaltet worden. Eine umfassende Einführung der Lean-Prinzipien in der gesamten Wertschöpfungskette des Unternehmens ist von besonderem Interesse, da sich das Potential der Lean-Prinzipien erst im Zusammenspiel aller Fertigungsbereiche voll entfalten kann. Außerdem ist ein

³ Abkürzung für Enterprise Resource Planning (engl. Unternehmenssoftware zur Planung der Kapazitäten).

Systembruch in der Wertschöpfungskette mit einem zusätzlichen Aufwand für die indirekten Bereiche verbunden.

Die vorliegende Arbeit hat das Ziel, die Lücke im Bereich der Schlanen Produktion für die mehrstufige TF zu schließen, um dadurch kleinen und mittelgroßen Unternehmen die Möglichkeit zu geben, mittels eines durchgängigen Ansatzes ihr volles Potential innerhalb der Wertschöpfungskette zu realisieren.

1.4 Wissenschaftliche Lücke

Die mehrstufige TF in Zusammenhang mit einer Schlanen Produktion ist nur Gegenstand weniger Veröffentlichungen. Dagegen gibt es für die wenig stufigen Systeme mit einfachen bzw. gerichteten Materialflüssen bekannte Methoden zur Gestaltung der Produktionssysteme nach Lean-Prinzipien. In der Literatur gibt es aktuell keinen einheitlichen Sprachgebrauch zur Abgrenzung der gerichteten Systeme zu den mehrstufigen TF. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird diese Produktionsform als gerichtetes System bezeichnet.

Die gerichteten Systeme sind Produktionsumgebungen mit gerichteten Materialflüssen und wenigen Fertigungsstufen zur Fertigstellung eines Teils oder Produkts. In der Regel nehmen die verschiedenen Produkt-Varianten, die das Fertigungssystem durchlaufen, den gleichen oder fast den gleichen Weg. Die Varianz liegt in den Einzelteilen und in deren Kombination in der Endmontage, wie es z.B. in der Automobilindustrie der Fall ist (vgl. [Meißner 2007]).

Die Methoden für die gerichteten Systeme sind bekannt und wurden ausführlich beschrieben. Die Veröffentlichungen zu diesem Thema wurden seit dem Bekanntwerden der Studie von Womack mehrfach kommentiert, erläutert und diskutiert. Die Definitionen und das Detailverständnis zu einzelnen Methoden bzw. die Abgrenzung der Methoden zueinander variieren zwar zwischen den Quellen, doch sind die dahinter stehenden Lean-Prinzipien dieselben (vgl. hierzu den Abschnitt 2.1). Die Vorschläge zur Einführung der Lean-Methoden variieren. Die Auswahl der Methoden sowie ihre empfohlene Reihenfolge (Verfahren) sind sehr unterschiedlich. Ein einheitliches Muster lässt sich nicht erkennen, ein Verfahren zur Einführung der Methoden gibt es nicht.

Die mehrstufige TF ist in den Publikationen zum Thema der Schlanen Produktion bisher kaum behandelt worden. Es gibt nur vereinzelte Veröffentlichungen zur Anwendung oder Adaption bekannter Lean-Methoden. Es ist keine Darstellung einer umfänglichen Anwendung der gängigen Lean-Methoden bekannt. Ein ganzheitlicher Lösungsansatz zur Gestaltung einer mehrstufigen TF nach den Lean-Prinzipien fehlt völlig.

Daraus leitet sich die zentrale Fragestellung der vorliegenden Arbeit ab: Wie können die Lean-Prinzipien in einer mehrstufigen TF zur Anwendung gebracht werden? Dabei soll zum einen geklärt werden, welche Lean-Methoden übernommen werden können, welche adaptiert werden müssen und welche zusätzlichen Methoden erforderlich sind, um einen ganzheitlichen Ansatz zu gewährleisten. Außerdem stellt sich die Frage, in welcher Form (Verfahren) das Ziel der schlanen TF erreicht werden kann.

1.5 Zielstellung der Arbeit und Aufbau

Aus der zentralen Fragestellung „Wie können die Lean-Prinzipien in einer mehrstufigen TF zur Anwendung gebracht werden?“ leiten sich folgende Ziele für die vorliegende Arbeit ab.

- Ermittlung der für eine mehrstufige TF geeigneten Lean-Methoden.
- Aufzeigen der Wirkungsweisen der Lean-Methoden in einem Produktionssystem der mehrstufigen TF.
- Entwicklung eines Verfahrens zur Gestaltung einer mehrstufigen TF nach Lean-Prinzipien.

Die entsprechenden Hypothesen der vorliegenden Arbeit sind:

- Eine Teilmenge der bekannten Lean-Methoden kann in einer mehrstufigen TF angewendet werden, da die Anforderungen vergleichbar sind.
- Für ein Verfahren zur Einführung der Lean-Prinzipien in einer mehrstufigen TF ist die Kenntnis der Ausgangssituation und der Ziele erforderlich. Somit lässt sich zwar ein Verfahren entwickeln, die Vorgehensweise muss jedoch an die jeweilige Situation angepasst werden.

Der grundsätzliche Aufbau der vorliegenden Arbeit ist in der Tabelle 1 dargestellt. Diese Arbeit fußt auf existierenden, bereits beschriebenen Lean-Methoden für gerichtete Produktionssysteme. Zunächst werden die gerichteten Produktionssysteme mit der mehrstufigen TF verglichen. Ausgehend vom Stand der Wissenschaft zu existierenden Lösungen für beide Produktionstypen, soll der Vergleich der Lösungsansätze die wissenschaftliche Lücke aufzeigen. Außerdem werden die gängigen Lean-Methoden genannt, charakterisiert und beschrieben.

Für die gerichteten Systeme wird im Kapitel 4 ein Modell entwickelt, durch das die Anforderungen an Produktionssysteme und die Wirkungsmechanismen beschrieben werden. Schließlich wird die Anwendung der gängigen Lean-Methoden im Modell dargestellt und werden deren Wirkungen auf das Produktionssystem untersucht.

In Analogie dazu wird im Kapitel 5 für die mehrstufige TF eine strukturierte Darstellung der Anforderungen des Produktionssystems entwickelt. Das Modell für die mehrstufige TF lehnt sich an das Modell aus dem Kapitel 4 an. Im Modell für die mehrstufige TF wird jedoch auf die deutliche Abbildung der abweichenden Merkmale der mehrstufigen TF geachtet. Die Wirkungsweisen in der mehrstufigen TF werden mit Hilfe des Modells beschrieben.

Die Auswahl der geeigneten Lean-Methoden für die mehrstufige TF erfolgt auf der Grundlage der ermittelten Anforderungen und Rahmendbedingungen. Dabei werden Methoden aus dem Methodenkatalog der gerichteten Systeme direkt übernommen, adaptiert oder durch neue Methoden ersetzt.

Die Wirkungsweise der Lean-Methoden aus dem Methodenkatalog für die mehrstufige TF wird anhand des Modells dargestellt. Schließlich wird eine optimale Reihenfolge bei der Einführung der Lean-Methoden in der mehrstufigen TF entwickelt.

Die Evaluierung der Methodenreihenfolge erfolgt mit Hilfe von Experten-Interviews im Kapitel 6. Aufgrund der Ergebnisse dieser Interviews wird das eigentliche Verfahren zur Einführung der Schlanken TF entwickelt und erneut mit Experten evaluiert.

Tabelle 1: Aufbau der Arbeit

Kapitel	Hauptinhalte	Ergebnisse
1	Einleitung und Hinführung zum Thema	Ziele der Arbeit Hypothesen
2	Stand der Wissenschaft	Wissenschaftliche Lücke
2.1	Lean-Methoden in gerichteten Systemen	Gängige Lean-Methoden Begriffsdefinitionen
2.2.	Einführung von Lean-Methoden bei gerichteten Systemen	Übersicht zu existierenden Verfahren
2.3.	Lean-Methoden in mehrstufiger TF	Übersicht existierender Methoden
3	Forschungsansatz der Arbeit	Methoden der Arbeit für Unterscheidung der Systeme, Modellierung und Evaluierung
4	Wirkungsweise Lean-Methoden für gerichtete Systeme	Test der festgelegten Methoden zur Typisierung und Modellierung an erforschten Systemen
4.1	Fallbeispiele vorstellen	Probleme identifizieren
4.2	Einordnung der Fallbeispiele	Typisierung der einfachen Produktionssysteme
4.3	Herausforderungen gerichteter Systeme	Methodeneinsatz und Herausforderungen zuordnen
4.4	Modellierung gerichteter Systeme	Nachweis, dass Modellansatz als Methode anwendbar
4.5	Methodenreihenfolge für gerichtete Systeme	Bildung einer Methodenreihenfolge für die Einführung der Lean-Methoden
5	Wirkungsweise Lean-Methoden mehrstufige TF	
5.1	Fallbeispiele einführen	Probleme identifizieren, Herausforderungen ableiten, Vergleich zu gerichteten Systemen
5.2	Methodenauswahl für mehrstufige TF	Lean-Methoden-Satz für mehrstufige TF
5.3	Modellierung mehrstufige TF	Wirkungsweise in mehrstufiger TF, Wirkungsweise der ausgewählten Lean-Methoden
5.4	Methodenreihenfolge für die mehrstufige TF	Bildung einer Methodenreihenfolge für die Einführung der Lean-Methoden
6	Aufbau und Evaluierung des Verfahrens für eine mehrstufige TF	Rückmeldung aus Experteninterviews zur Realisierbarkeit mit entwickelter Methodenauswahl und -reihenfolge, Herleitung und Bewertung des Verfahrens
7	Zusammenfassung der Arbeit	Prüfung der Hypothesen und Ziele Ausblick für weitere Forschungsthemen

2 Stand der Wissenschaft

2.1 Lean-Philosophie und Lean-Methoden

2.1.1 Bedeutung von Lean

Das englische Wort „lean“ als Adjektiv bedeutet mager, arm, geringhaltig usw. In der deutschen Fachliteratur wird oft auch von der „Schlanken Produktion“ gesprochen (vgl. [Erlach 2007]; [Kletti 2011], S. 31 f., S. 62; [Müller 2009]; [Specht 2009]; [Veit 2010]). Die ersten dokumentierten Ursprünge der Schlanken Produktion finden sich bei dem Automobilhersteller Toyota, genannt „Toyota Produktionssystem“. Spätestens seit der Veröffentlichung der wissenschaftlichen Studie von Womack, Jones und Roos im Jahr 1991 (vgl. hierzu [Womack 2007]) ist bekannt, dass Toyota eine Methode zur Produktion entwickelt hatte, die sich deutlich von den Methoden der westlichen Automobilhersteller unterschied. Die europäische und die amerikanische Industrie setzten sich mit den Ergebnissen und mit den Erkenntnissen der Studie und mit weiteren Veröffentlichungen zu diesem Thema auseinander (vgl. [Thun 2010], S. 7089-7090).

Bald folgten Bestrebungen, die Ansätze zur Schlanken Produktion auch auf andere Branchen zu übertragen⁴. Mittlerweile gibt es zu den verschiedensten Produktionsformen Veröffentlichungen, Fallbeispiele, Erfahrungsberichte und Ähnliches zur Einführung eines Schlanken oder sogar eines Ganzheitlichen Produktionssystems sowie der Lean-Prinzipien. So vielfältig die Veröffentlichungen sind, so vielfältig sind auch die Definitionen und Erklärungen. Dabei zeigt sich, dass es keine einheitliche Terminologie, Systematik, Definition oder ähnliches gibt. Dementsprechend werden verschiedene Termini mit ähnlicher Bedeutung verwendet.

„Lean Production heißt, einfache Prozesse mit einfachen Werkzeugen und Methoden aufzubauen. Ziel ist es, eine marktsynchrone Produktion mit hoher Effizienz sicherzustellen.“ (aus [Laqua 2009], S. 2). Thun beschreibt die Lean-Philosophie als die Ausmerzung aller Verschwendungsformen. Unter Verschwendung wird dabei jede Aktivität verstanden, die - aus der Perspektive des Kunden betrachtet - keine Wertschöpfung am Produkt darstellt (vgl. [Thun 2010], S. 7090). Auch Erlach geht auf das Thema der Wertschöpfung in diesem Zusammenhang ein: „Als schlanke Produktion wird ihr Ablauf in Form eines kundenorientierten und dabei effizienten Wertstroms realisiert. Unter dieser Wertstromperspektive wird die Produktion mit einem besonderen Fokus auf die Wertschöpfung betrachtet.“ (siehe [Erlach 2007], S. 4). Monden richtet wie Thun den Fokus auf die Verschwendung: Der Hauptzweck des „Toyota Produktionssystems“ liegt in der Ausmerzung von unterschiedlichen Typen versteckter Verschwendung innerhalb eines Unternehmens durch Verbesserungsaktivitäten (vgl. [Monden 1998], S. 2 f.).

Es kristallisieren sich im Kern drei Themen heraus, die miteinander nahe verwandt sind: Wertschöpfung, Verschwendung und der Kunden- bzw. Marktfokus. Die angestrebte Effizienz ist das Ergebnis der Konzentration auf die Wertschöpfung und der Ausmerzung von Verschwendung. Der Fokus auf den Markt bzw. Kunden ist ein wichtiges Element zur Ausmerzung der Verschwendung. Die Definition der „Schlanken Produktion“ für die vorliegende Arbeit lautet somit: Schlanke Produktion ist die Orientierung der gesamten Produktion an dem, was der Kunde tatsächlich benötigt, und die Ausrichtung der Prozesse an den echten Wertschöpfungsaktivitäten zur Ausmerzung jeglicher Verschwendungsform. Diese Definition schließt auch sämtliche Nicht-Produktionsprozesse ein, die erforderlich sind, um die Produktion zu organisieren.

⁴ Der Preis „Fabrik des Jahres“ ist ein Wettbewerb, der von AT Kearney und der Wirtschaftszeitung „Produktion“ durchgeführt wird. Nach seiner Einführung im Jahr 1992 haben in den ersten 10 Jahren den Hauptpreis „Fabrik des Jahres“ sieben Vertreter der Automobilindustrie gewonnen. Die Merkmale, die alle Gewinner auszeichnen, sind besonders schlanke Produktionssysteme (vgl. [ATKearney 2014]).

Ohno hat die Verschwendungsformen genauer untersucht und benannt: Überproduktion, Wartezeit, Transport, Verschwendung bei der eigentlichen Bearbeitung, Lager, überflüssige Bewegung und defekte Produkte (siehe [Ohno 2009], S. 52). Diese bekannten Verschwendungsformen sind weit verbreitet. Für die ganzheitliche Umsetzung des Lean-Gedankens ist ein umfassenderer Ansatz zur Ausmerzungen von Verschwendung erforderlich. Ohno spricht in diesem Zusammenhang von einem Harmonieansatz divergierender Ziele. Die drei Hauptformen der Verschwendung - Muda (alles Unnötige), Mura (Abweichung bzw. Unstetigkeit) und Muri (Überlastung) - stehen für den Zielkonflikt eines Unternehmens. Das vierte Element in diesem Konstrukt ist das kontinuierliche Streben nach Harmonie, die kontinuierliche Verbesserung, Kaizen (vgl. hierzu [Ohno 2009], S. 9 f.).

Abgeleitet aus der Definition der Schlanken Produktion und aus den drei Verschwendungsarten, lassen sich drei wesentliche Gestaltungsansätze für die Lean-Philosophie ableiten:

- Konzentration auf die Wertschöpfung,
- bedarfssynchrone Fertigung und
- 100%ige Prozessstabilität (vgl. hierzu auch [Liker 2007], S. 56 ff.).

Die Konzentration auf die Wertschöpfung bedeutet die Ausmerzungen von Verschwendung gemäß den Verschwendungsformen von Ohno. Die Wertschöpfung wird definiert als das, wofür der Kunde bereit ist zu zahlen (siehe [Thun 2010], S. 7090). Das betrifft auch die Erfüllung der Kundenbedarfe und nur der Kundenbedarfe, anstatt einer Produktion auf Vorrat. Die bedarfssynchrone Fertigung hat genau das zum Ziel. Es soll nur das produziert werden, was tatsächlich benötigt wird, auch intern in den Vorfertigungsprozessen. Die totale Prozessstabilität verfolgt das Ziel, keine Abweichungen im Produktionsprozess zuzulassen. Wird beispielsweise ein fehlerhaftes Produkt erstellt, ist Nacharbeit erforderlich oder entsteht Ausschuss. Beides führt dazu, dass der jeweilige Prozess nicht in der gleichbleibend vorgegebenen Zeit ein fertiges Produkt abgeliefert. Außerdem bedeuten Ausschuss und Nacharbeit Verschwendung.

Es zeigt sich, dass alle drei Formen - Muda, Mura und Muri - sowie die Lean-Gestaltungsansätze eng miteinander verbunden sind und sich nicht voneinander trennen lassen. Alles wirkt im Sinne der Lean-Philosophie zusammen und wird nur dann wirksam, wenn es um eine kontinuierliche Weiterentwicklung im Sinne von Kaizen geht. Diese Zusammenhänge sind in der Abbildung 1 dargestellt.

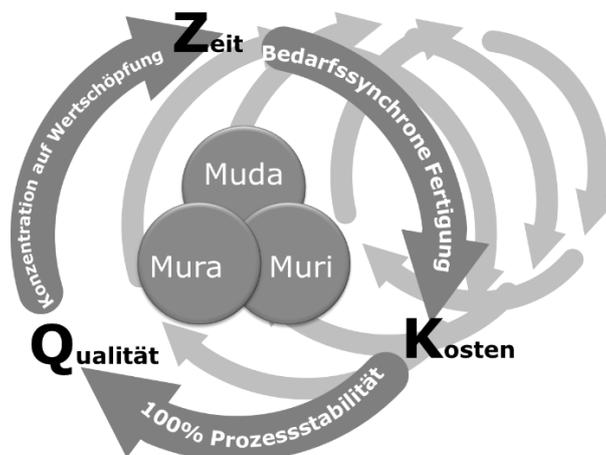


Abbildung 1: Lean-Prinzipien und Gestaltungsansätze (vgl. [Liebig 2009])

2.1.2 Abgrenzung zwischen dem Lean-Zielbild und dem Veränderungsprozess

Für die vorliegende Arbeit ist es wichtig, eine Differenzierung der Lean-Thematik vorzunehmen, die in Veröffentlichungen häufig nicht berücksichtigt wird. Die Vision einer Schlanke Produktion und der erforderlichen Methoden und Werkzeuge, die in einer Produktion einzuführen sind, um sich dem Zielbild zu nähern, sind von dem eigentlichen Veränderungsprozess abzugrenzen, den die Mitarbeiter, die Verantwortlichen und die anderen Betroffenen durchlaufen, um sich dem Zielbild zu nähern.



Abbildung 2: Der Veränderungsprozess in Etappen (vgl. [Rother 2009], S. 63, 89, 131)

Die im Abschnitt 2.1.1 und in der Abbildung 1 dargestellte Lean-Philosophie einer schlanke Fertigung - mit Konzentration auf die Wertschöpfung, die bedarfssynchrone Fertigung, die 100% Prozessstabilität und die kontinuierliche Weiterentwicklung - ist ein derart fernes Ziel, dass es unrealistisch ist anzunehmen, dass es jemals erreicht werden könnte. Es hat sich jedoch gezeigt, dass die Formulierung einer Vision und ein stetes Streben, genau diese Vision zu erreichen, erforderlich sind. Womacks Veröffentlichung im Jahre 1991 „The machine that changes the world“ (vgl. [Womack 2007]) hat zum ersten Mal die Aufmerksamkeit auf die Tatsache gelenkt, dass der Autobau Toyota etwas anders macht. Die sich anschließenden Benchmark-Touren der westlichen Automobilbauer sind Sinnbild für die reine Methodenkopie, die daraufhin stattfand. Das eigentlich dahinter liegende Ziel wurde nicht analysiert, war nicht bekannt. Erst mit dem Verständnis, worum es eigentlich geht, wird klar, wie Toyota über eine so lange Zeit so erfolgreich immer wieder neue Lösungen und Methoden entwickeln konnte und damit versucht hat, sich einer selbst formulierten Vision anzunähern (vgl. hierzu [Rother 2009], S. 59-136).

Das bedeutet, dass das bloße Kopieren der Methoden mit hoher Wahrscheinlichkeit dazu führt, dass die angestrebte Veränderung im Unternehmen nicht eintritt. Falls es doch gelingt, die Methoden einzuführen, wird ihre Weiterführung auf Schwierigkeiten stoßen, weil die hinter den Methoden liegenden Ziele, die eigentliche Vision, nicht bekannt ist (siehe hierzu auch die Abbildung 2). Das heißt: Mit allgemeinen Verfahren kann man keine wesentliche Schlanke Fertigung erreichen. Die Methoden und Hilfsmittel können von vergleichbaren Standpunkten aus jedoch dabei helfen, erste Ergebnisse zu erzielen.

Die Abbildung 3 veranschaulicht den Zusammenhang zwischen den drei Erfolgsfaktoren in einem Veränderungsprozess. Der Einsatz von Verfahren, Methoden und Hilfsmitteln repräsentiert gewissermaßen die technische Ebene des Veränderungsprozesses. Sie wirken auf die Prozesse und die Anlagen eines Produktionssystems (Nummer 3 im Bild). Um einen Veränderungsprozess tatsächlich starten zu können, ist es jedoch erforderlich, die betroffenen Mitarbeiter und die verantwortlichen Führungskräfte mitzunehmen und einzubinden (Nummer 1 im Bild). Schließlich ist ein Veränderungsprozess - gerade in der Startphase - in der Regel ein Projekt. Hierfür sind alle Methoden und Ansätze zu berücksichtigen, die erforderlich sind, um ein Projekt erfolgreich durchzuführen (Nummer 2 im Bild). Die Nummerierung gibt die Reihenfolge für den Veränderungsprozess an (vgl. hierzu [Monden 1998], S. 327-329; [Bhasin 2012], S. 454-456; [Nightingale 2002]).

Die vorliegende Arbeit fokussiert ihr Augenmerk auf die Anwendung von Lean-Methoden, die in einer bestimmten Reihenfolge (Verfahren) eingeführt werden sollen, um auf der Grundlage von vorgegebenen Ausgangsszenarien zu den gewünschten Ergebnissen zu führen. Die Probleme der Einbindung der Mitarbeiter und eines systematisch und strukturiert geführten Projekts werden in der vorliegenden Arbeit nicht betrachtet. Für diese Thematik liegen unzählige Veröffentlichungen vor (vgl. [Weiss 2005], [Haas 2014], [Liker 2007b], [Kobayashi 1994], [Collins 2010], [Straub 2001]).

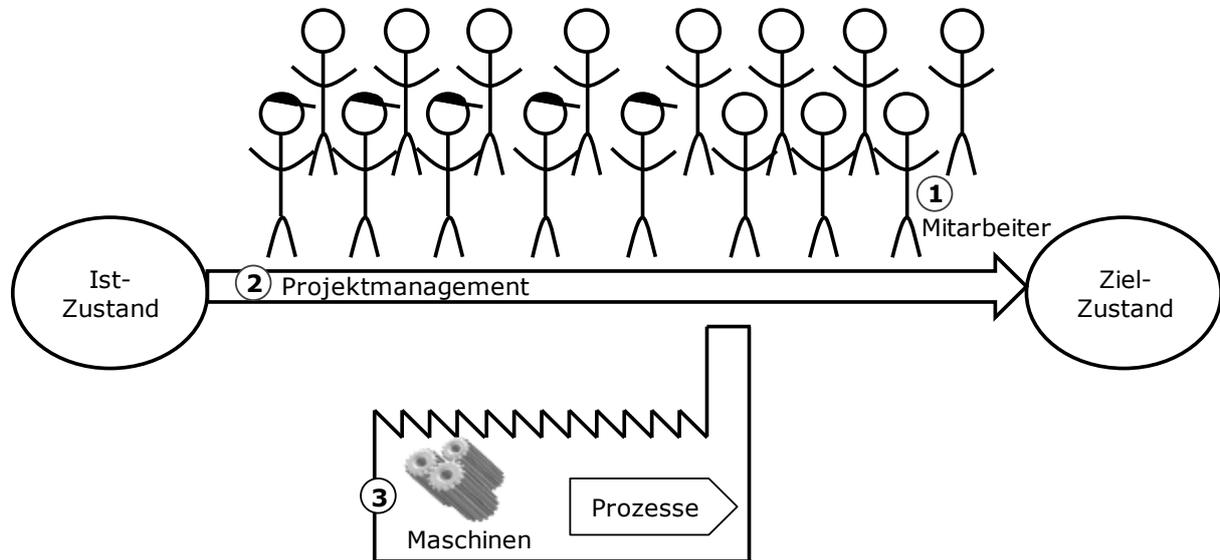


Abbildung 3: Ebenen des Veränderungsprozesses

2.1.3 Lean-Methoden

2.1.3.1 Grundsätzliches zu Lean-Methoden

Es gibt viele Methoden, die das Erreichen einer Schlanke Fertigung unterstützen. In den ersten Veröffentlichungen zum „Toyota Produktionssystem“ bzw. zum Thema der Schlanke Fertigung wurden viele Methoden beschrieben, die heute schon weit verbreitet sind. Mit der Übertragung des Themas auf andere Branchen außerhalb der Automobilbaubranche und mit der Ausbreitung auf andere Themengebiete haben sich die Methoden weiterentwickelt und es sind neue Methoden hinzugekommen (vgl. [Marodin 2013], S.6665-6669).

Das Gebiet der Schlanke Fertigung wurde bisher kaum systematisch untersucht und strukturiert. Das fängt schon mit einer bunten Mischung der Begriffe und ihrer inhaltlichen Einordnung an. Beispielsweise wird Pull sowohl als Methode (z.B. bei [Marodin 2013]), als Prinzip (z.B. bei [Deflorin 2012]) und als Philosophie (z.B. bei [Brown 2006]) bezeichnet. Eine eindeutige Abgrenzung, was zum Thema gezählt werden kann und was nicht, gibt es nicht (vgl. die Übersicht von [Marodin 2013], S. 6670). Die Anzahl der Veröffentlichungen hat im Zeitraum von 1996 bis 2012 tendenziell zugenommen (vgl. [Marodin 2013], S. 6665). Da es im Wesentlichen um eine Verbesserung der Abläufe in der Produktion mit dem Ziel der Durchlaufzeitverkürzung, der Qualitätsverbesserung und der Produktivitätssteigerung geht, werden neue Erkenntnisse und Methoden schnell in die Praxis überführt. Allerdings ist je nach Branche bzw. Anwendungsgebiet eine andere Methodenauswahl erforderlich (vgl. [Marodin 2013], S. 6663).

Eine eindeutige Abgrenzung, welche Methoden die Schlanke Fertigung unterstützen und welche nicht, ist also nicht gegeben. Die in der vorliegenden Arbeit vorgenommene Abgrenzung orientiert sich an der Bedeutung der Lean-Methoden und an der im Abschnitt 2.1.1 beschriebenen Philosophie einer Schlanke Fertigung.

Die Kriterien für die Bewertung, ob eine Methode dazu dienen kann, der Vision einer Schlanke Fertigung näher zu kommen, werden aus der Lean-Philosophie abgeleitet. Wird eine der Verschwendungsformen Muda, Mura oder Muri ausgemerzt – oder doch wenigstens reduziert –, dann gilt ihr Lean-Charakter als gegeben. Wird durch eine Methode der Gedanke der ständigen Weiterentwicklung gefördert, gilt sie auch als „lean“. Weiterhin ist notwendig, dass mindestens einer der folgenden Gestaltungsansätze unterstützt wird: Konzentration auf die Wertschöpfung, bedarfssynchrone Fertigung und 100%ige Prozessstabilität. Eine Methode wird dann nicht als „lean“ angesehen, wenn sie nicht die Ausmerzung der Verschwendung, den Gedanken der kontinuierlichen Weiterentwicklung oder die genannten Gestaltungsansätze zum Inhalt hat.

2.1.3.2 Quellen für die Methodenrecherche

Um die Aktualität zu sichern, werden bei der Methodenrecherche ausschließlich Fachartikel berücksichtigt, deren Veröffentlichung nach 2002 erfolgte. Außerdem werden Arbeiten mehrerer Autoren analysiert, um unterschiedliche Sichtweisen auf das Thema zu berücksichtigen. Die Anwendungsgebiete betreffen die gerichteten Produktionssysteme. Bücher zu diesem Thema werden nicht berücksichtigt, da es sich bei ihnen häufig um Kompendien handelt und in ihnen keine klare Unterscheidung zwischen echten Methoden und dem Veränderungsprozess mit einhergehenden Managementmethoden getroffen wird (vgl. hierzu [Womack 2003], S. 125 ff.; [Regber 2007], S. 189 ff.; [Bhasin 2012]; [Deflorin 2012]; [Nightingale 2002]; [Emiliani 2005]; u.v.a.m.).

2.1.3.3 Auswahl der Lean-Methoden für die gerichtete Fertigung

Die Auswahl der geeigneten Methoden erfolgt auf der Basis einer Literatur-Recherche nach Artikeln, die in einschlägigen Fachzeitschriften nach 2002 veröffentlicht wurden. Im Ergebnis der Recherche wurden 10 Artikel von verschiedenen Autoren⁵ ausgewertet. Die genannten und beschriebenen Methoden werden in ein zu diesem Zweck entwickeltes Methodencluster eingeordnet. Die Methoden mit der häufigsten Nennung (in mindestens 50% der Veröffentlichungen) gelangen in die engere Auswahl.

Die Methoden-Recherche zeigt, dass die Methoden, die anfangs in der Lean-Bewegung beschrieben wurden (vgl. hierzu [Ohno 2009]; [Womack 2007]; [Rother 2009], S. 21-25), bereits Weiterentwicklungen und Erweiterungen erfahren haben. In der Tabelle 2 sind jene Methoden aufgeführt, die in mehr als der Hälfte der Veröffentlichungen Erwähnung finden.

Es zeigt sich, dass zu den typischen Methoden eine neue Methode hinzugekommen ist: das „Total Quality Management“ (TQM). Es handelt sich dabei um ein Management-Konzept, das durch die Einbindung aller Unternehmensbereiche sicherstellen soll, dass sich als ein Systemziel im gesamten Unternehmen eine hohe Qualität etabliert. Das Thema Qualitätsmanagement steht in einem engen Zusammenhang mit dem Lean-Konzept. Allerdings ist das TQM als ein eigenständiges Konzept anzusehen. Deshalb wird es in dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

Kaizen wird in sechs Veröffentlichungen als Methode erwähnt. Es handelt sich dabei allerdings eher um ein übergeordnetes Konzept, das ein Hauptbestandteil der Lean-Philosophie ist. Es geht um die schrittweise Veränderung und um das stete Streben nach Verbesserung. Somit ist Kaizen eher ein Grundprinzip des Lean-Konzepts als eine Methode.

Im Ergebnis der Methoden-Recherche liegen neun Methoden vor. Diese Methoden werden in der vorliegenden Arbeit als die wichtigen Lean-Methoden für den Einsatz bei gerichteten Produktionssystemen betrachtet. Es sind die folgenden Methoden: SMED, TPM, „Arbeiten

⁵ Quellen der Artikel: [Shah 2003]; [Saurin 2011]; [Doolen 2005]; [Wan 2009]; [Shah 2007]; [Black 2007]; [Deflorin 2012]; [Amin 2013]; [Netland 2013]; [Karin 2013]

im Takt“, JIT/JIS, „kontinuierlicher Fluss“ bzw. U-Linie, Standardisierung, 5S, Pull und Heijunka. Im Folgenden werden diese Methoden hinsichtlich ihrer Funktionalität, ihrer Einsatzgebiete und ihrer Wirkung beschrieben.

Tabelle 2: Ergebnis der Methodenrecherche

Methode	Häufigkeit der Nennung	Bemerkung
SMED	9	SMED = Single minute exchange of die (engl. Werkzeugwechsel im einstelligen Minutenbereich)
TPM	9	TPM = Total productive maintenance (engl. umfassende produktionsorientierte Instandhaltung)
Standardisierung	6	
Arbeiten im Takt	7	
JIT/JIS	7	JIT = Just in time (engl. bedarfssynchron, hier: Materialbereitstellung beim Kunden oder in der Produktion) JIS = Just in sequence (engl. bedarfssynchron in der richtigen Sequenz, hier: Materialbereitstellung beim Kunden oder in der Produktion in der richtigen Reihenfolge bzw. Sequenz)
kontinuierlicher Fluss / U-Linie	10	U-Linie bedeutet in diesem Zusammenhang Montage- oder Fertigungslinien im U-förmigen Layout
5S	6	Konzept zur Arbeitsplatzgestaltung im Sinne von: Aussortieren, Aufräumen, Sauberkeit, Anordnung und ständige Überwachung des Zustands
Kanban	5	Kanban (jap. Signalkarte)
Pull	9	Pull (engl. Ziehen, gemeint ist, dass der Materialfluss entsprechend dem Verbrauch des Kunden gesteuert wird, anstatt nach Fertigstellung durch den Lieferanten)
Heijunka / Nivellieren und Glätten	7	Heijunka (japan. Nivellieren oder Angleichen, in diesem Zusammenhang der Produktionsmengen)
VSM/VSD	5	VSM = Value Stream Mapping (engl. Wertstromanalyse); VSD = Value Stream Design (engl. Wertstromgestaltung)
Total Quality Management	9	Total Quality Management (engl. umfassendes Qualitätsmanagement)
Kaizen	6	Kaizen (japan. Veränderung zum Besseren)

SMED

Die Methode wird zur Reduzierung der Rüstzeiten an Maschinen oder ganzen Anlagen (auch Montageanlagen) eingesetzt. Ihr Hauptziel besteht darin, die Maschinen-Stillstandszeit zu reduzieren. Daraus ergibt sich die Möglichkeit, die Losgrößen zu verringern. Folglich verkürzen sich auch die Durchlaufzeiten für die Aufträge und verringern sich die Umlaufbestände in der Produktion und die Fertigwarenbestände. Eine Halbierung der Rüstzeiten - als der Haupttreiber der Maschinen-Stillstandszeiten - bedeutet eine Halbierung der Rüstkosten und somit auch eine Halbierung der Bestände (vgl. [Kletti 2011], S. 99).

Die Vorgehensweise bei der Einführung von SMED erfolgt - unabhängig vom Ausgangszustand - strukturiert in mehreren Schritten (vgl. hierzu die Abbildung 4). Der

Detaillierungsgrad des Vorgehens ist je nach Literaturquelle unterschiedlich. In einem ersten Schritt werden Tätigkeiten, die nicht zwangsläufig während des Stillstands der Anlage durchgeführt werden müssen, als externe Tätigkeiten benannt und gekennzeichnet. Diese externen Tätigkeiten werden so gestaltet, dass sie vor oder nach dem Maschinenstillstand durchgeführt werden können. Weiterhin werden die restlichen Tätigkeiten, also die internen Tätigkeiten, die zwingend während des Maschinenstillstands erfolgen müssen, so gestaltet, dass sie optimal und ohne große Zeitverluste durchgeführt werden können. So ergibt sich in mehreren Optimierungsschleifen und Tests eine Reduzierung des Gesamtaufwands für das Rüsten sowie eine Verkürzung der Maschinenstillstandszeiten (vgl. [Kletti 2011], S. 99 f.; [Conner 2009], S. 124 f.; [Shingo 1992], S. 78-86; [Monden 1998], S. 131 f.).

Die Methode SMED wird in der Produktion in den unterschiedlichsten Zusammenhängen seit vielen Jahren erfolgreich angewendet. Durch ihre konsequente Umsetzung in vielen kleinen Optimierungsschritten wird es möglich, Anlagen und Maschinen im einstelligen Minutenbereich von einem Auftrag zum nächsten umzurüsten. Dabei werden die unterschiedlichsten Anlagen in den Fokus genommen: von der Montageanlage über aufwändige Pressen bis hin zu Zerspanungszentren. Die Methode SMED ist bei der technischen Umstellung von einem Produkt zu einem anderen universell einsetzbar (vgl. hierzu [Takeda 1995], S. 188).

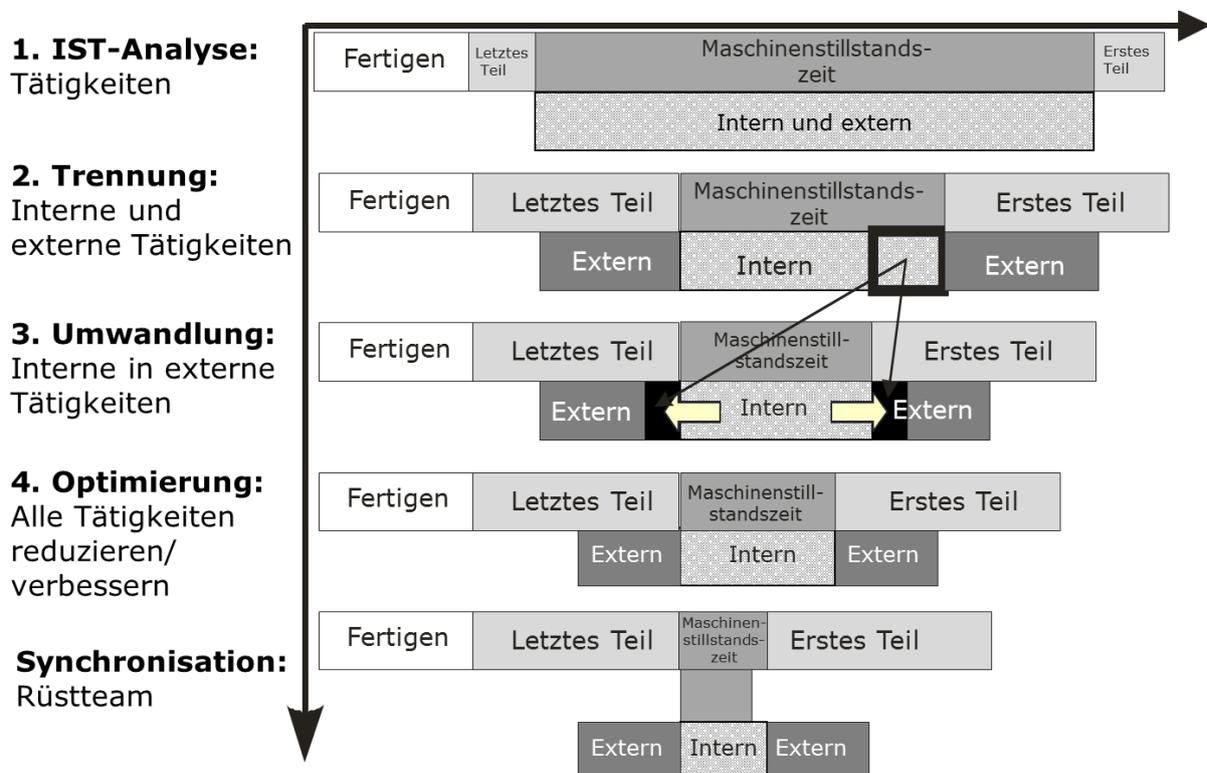


Abbildung 4: Schritte zur Reduzierung der Rüstzeiten (Quelle: Schulungsunterlagen Festool Engineering GmbH Thema Rüsten, Stand April 2008, S. 25)

Als eine Folge der konsequenten Verkürzung der Rüstzeiten nimmt die Stabilität der Prozesse in der Fertigung zu. Die Maschinen können zuverlässig innerhalb einer vorgegebenen Zeit umgerüstet werden. Die zuverlässige Rüstung ist allerdings nur dann möglich, wenn die Mitarbeiter die benötigten Werkzeuge und Hilfsmittel sofort finden und nutzen können. Mit dem Einsatz der Methode SMED steigt der Grad der Ordnung und Sauberkeit in der Fertigung. Die Verkürzung der Maschinen-Stillstandszeiten bewirkt außerdem, dass die Anlageneffektivität steigt.

TPM

Die Methode wird bei der Wartung und Instandhaltung sämtlicher Maschinen und Anlagen einer Produktion angewendet. Sie soll hauptsächlich sichern, dass die Anlagen nicht

unvorhergesehen für längere Zeit ausfallen und damit zu einem unkalkulierbaren Risiko für die termingerechte Belieferung der Kunden werden. Als ein weiteres Ziel soll erreicht werden, dass die Tätigkeiten der Wartung und Instandhaltung so effizient wie möglich ausgeführt werden.

Die Methode orientiert sich stark am klassischen Verschwendungsansatz des Lean-Managements. Es sollen alle Formen der Verschwendung ausgemerzt werden: keine Maschinenausfälle, keine Qualitätsfehler und keine Unfälle (vgl. [Reitz 2007], S. 46 f.). Die Einführung der Methode erfolgt schrittweise in interdisziplinären Teams mit den Mitarbeitern der Fertigung und Instandhaltung. Dabei empfiehlt es sich, zunächst die Stufen 1 bis 3 (vgl. Abbildung 5) in einem Zug einzuführen, diesen Zustand zu stabilisieren und dann die nächsten Stufen der Methode TPM zu realisieren. Durch die Standardisierung der Wartungs- und Instandhaltungsaktivitäten wird eine hohe Stabilität bei der Ausführung der Aufgaben erreicht. Die Anlagen werden zuverlässig innerhalb einer vorgegebenen Zeit fertiggestellt. Die Methode TPM sichert damit auch einen erhöhten Grad an Ordnung und Sauberkeit in der Fertigung, ohne die eine zuverlässige Abarbeitung der Wartungs- und Instandhaltungsaufgaben kaum möglich wäre.



Abbildung 5: Sieben Stufen zum TPM (Quelle: Schulungsunterlage Festool Engineering GmbH, Stand Januar 2008, S. 15)

Der Erfolg der Methode lässt sich am besten an drei Kenngrößen ablesen. Die OEE (overall equipment efficiency, engl.: Gesamtanlageneffektivität) gibt an, wie gut die Anlage während der geplanten Produktionszeit für die Fertigung von Gutteilen genutzt werden kann. Sämtliche Störungen, Qualitätsverluste und Ausfälle werden abgezogen. Die Größe MTBF (mean time between failure, engl. durchschnittliche Zeit zwischen zwei Anlageausfällen) gibt an, wie gut die Wartung und Instandhaltung im Sinne von vorausschauenden und präventiven Maßnahmen funktioniert. Schließlich gibt die Kennzahl MTTR (mean time to repair, engl. durchschnittliche Zeit für die Reparatur) an, wie schnell eine Anlagenstörung beseitigt wird. Diese Größen beschreiben somit die Leistungsfähigkeit der Wartungs- und Instandhaltungstätigkeiten. Allerdings wird die OEE auch durch die Methode SMED beeinflusst. Auch die Rüstzeit ist ein Zeitabschnitt, der nicht der Produktion von Gutteilen zugerechnet werden kann (vgl. hierzu [Reitz 2007], S. 47 f.).

Die Methode TPM wird - ebenso wie die Methode SMED - bei sämtlichen Maschinen und Anlagen einer Produktion - einschließlich der Montageanlagen - angewendet.

Standardisierung

Ein Standard beschreibt, wie eine Tätigkeit oder ein Prozess auszuführen ist. Der Standard ist verbindlich für alle Mitarbeiter des Bereichs. Die Standardisierung von Tätigkeiten erfolgt einerseits, um Fehler im Prozess zu vermeiden, und andererseits, um zuverlässig

Ergebnisse mit einem stets gleich hohen Aufwand zu erzielen. So können die Aufgaben in der Produktion oder Logistik (aber natürlich auch in anderen Bereichen) mit der minimalen Anzahl von Mitarbeitern durchgeführt werden - die Produktivität steigt somit. Außerdem ermöglicht die Standardisierung ein gleichmäßiges Arbeiten über mehrere Prozesse hinweg - eine Abtaktung wird realisierbar. Schwankungen werden aus den Prozessen genommen und die Zuverlässigkeit und Stabilität steigen. Durch einen hohen Standardisierungsgrad der Tätigkeiten kann das Volumen an offenen Aufträgen im Prozess klar ermittelt werden (vgl. [Monden 1998], S. 145 ff.; [Shingo 1992], S. 117-122; [Liker 2007], S. 205-215; [Takeda 1995], S. 137-163).

Standards können für alle Aktivitäten entwickelt werden. Für ihre Darstellung gibt es unterschiedliche Formen: erklärende Bilder, die Beschreibung möglicher Fehlerquellen, die Erläuterung, warum bestimmte Schritte erfolgen müssen, usw. Es gibt sogar Formblätter, die die Standards dokumentieren. So sind letztlich die Ergebnisse aus den Methoden SMED und TPM ebenfalls Standards, die zu einer optimierten Durchführung der jeweiligen Aufgabe führen. Der Standard selbst bildet die Grundlage für die Optimierung von Prozessen und dient zur Schulung anderer Mitarbeiter im Anlernprozess (vgl. [Liker 2007], S. 208, 215; [Shingo 1992], S. 218-219).

Ein Standard enthält die folgenden Informationen: Zykluszeit, Gesamtzeit für die Ausführung des Arbeitsschritts (z.B. Herstellung eines Bauteils), einzelne Arbeitsschritte und festgelegte Quantitäten an Waren und an Arbeit im Prozess (vgl. [Monden 1998], S.146-150).

Arbeiten im Takt

Eine Voraussetzung für das erfolgreiche „Arbeiten im Takt“ ist die Standardisierung der Tätigkeiten, um überhaupt erst einen Takt für einzelne Mitarbeiter oder Arbeitsgruppen in Fertigungslinien zu ermöglichen. Die Methode „Arbeiten im Takt“ unterstützt wiederum die Methoden „kontinuierlicher Fluss“ und Heijunka (Nivellieren und Glätten der Produktion) (vgl. [Liker 2007], S. 168-180; [Monden 1998], S. 63-73).

Der Takt wird über die Bedarfe, die an die Fertigungsprozesse gestellt werden, vom Kunden bestimmt. Aufgrund der verfügbaren Arbeitszeit kann der notwendige Takt der Fertigung (in Stück je Zeiteinheit) ermittelt werden. Das Ziel besteht darin, über alle Prozessschritte hinweg im gleichen Takt zu arbeiten, orientiert am Kundenbedarf. So werden Unregelmäßigkeiten bzw. Verschwendungen insbesondere zwischen den Prozessschritten schnell sichtbar und können über Kaizen-Aktivitäten beseitigt werden (vgl. [Takeda 1995], S. 109-121).

Die Methode „Arbeiten im Takt“ führt bei ihrer durchgängigen Anwendung dazu, dass die Durchlaufzeiten verkürzt werden können. Die Taktung bewirkt eine Verstetigung und bringt damit Ruhe und Gleichmäßigkeit in die Fertigung. Schließlich wirkt sich die Taktung der Produktionsprozesse auch auf angrenzende Prozesse aus. Die Logistik entwickelt ebenfalls einen regelmäßigen Takt bei der Materialversorgung der Fertigungsprozesse. Auch die Weitergabe der Kanban-Karten zu den externen Lieferanten erfolgt in einem Takt.

JIT/JIS

Die Methoden Just-in-time und Just-in-sequence werden häufig in einem Atemzug genannt und zusammen betrachtet. Der wesentliche Unterschied zwischen diesen Methoden besteht darin, dass bei JIS die in der Fertigung benötigten Teilevarianten in der richtigen Sequenz bzw. Reihenfolge angeliefert werden. Die Hauptfunktion dieser Methoden besteht jedoch darin, dass genau die benötigte Menge an Teilen zum richtigen Zeitpunkt - ohne zusätzliche Lagerung oder Pufferung - in der Fertigung angeliefert wird (vgl. [Shingo 1992], S. 39, 67; [Nölling 2008], S. 53 f.).

Die konsequente Anwendung dieser Methoden setzt eine Standardisierung der Tätigkeiten und das Arbeiten im Takt über die gesamte Wertschöpfungskette voraus, um die eigentlichen Effekte des JIT/JIS nutzen zu können. So können die Bestände abgebaut

werden, die i.d.R. vor und nach jedem Prozess zur Abpufferung von Prozessinstabilitäten dienen. Dadurch wird ein hohes Flächen- und Liquiditätspotential realisiert. Das lässt sich jedoch nur dann kostenoptimal durchführen, wenn sich die Zulieferer geografisch in der Nähe zum Verbraucher befinden. Außerdem ist die Angleichung der Takte über mehrere Produktionsstufen hinweg ein sehr anspruchsvolles Ziel. Der Einsatz der Methoden JIT/JIS erstreckt sich von der Produktion über die Logistik innerhalb eines Unternehmens bis zu den Lieferbeziehungen zwischen den Unternehmen (vgl. hierzu [Gröbner 2007], S. 14 f.).

Will man die Methoden JIT/JIS einsetzen, dann müssen in einer Produktion erst die dafür erforderlichen Voraussetzungen geschaffen werden. Die Methoden „Fertigung im Fluss“, „Arbeiten im Takt“, Standardisierung und „Nivellieren und Glätten“ sind Voraussetzungen bzw. fördern die Methoden JIT/JIS. Die Umsetzungsformen sind dabei sehr vielfältig. Sie reichen von der Materialversorgung der Fertigung im Takt, sodass immer genau das verfügbar ist, was als nächstes benötigt wird, bis hin zu Anlieferkonzepten für Lieferanten mit Hilfe von Konsignationslagern und bedarfsgerechten Abrufen bei den Lieferanten.

Kontinuierlicher Fluss

Die Methode „kontinuierliche Fluss“ wird in der Literatur sehr unterschiedlich bezeichnet. Man findet Bezeichnungen wie Fließfertigung oder U-Linien (siehe [Takeda 1995]), Einzelstückfluss (vgl. [Monden 1998]; [Takeda 1995]; [Gröbner 2007]), Fluss (bei [Womack 2003]), Fertigungsfluss (siehe [Ohno 2009]), kontinuierlich fließende Prozesse (vgl. [Liker 2007]) oder integrierte Fließoperation bzw. Fließfertigung (in [Shingo 1992]). Bei einer genaueren Betrachtung stellt man fest, dass es bei all diesen Begriffen im Grunde um dasselbe geht: Die Produkte oder Teile in der Fertigung sollen möglichst schnell zum nächsten Bearbeitungsschritt fließen. Es soll nicht erst auf die Bearbeitung der anderen Teile des Auftrags oder Loses gewartet werden. Es geht um die Verkürzung von Wartezeiten und Durchlaufzeiten. Im Mittelpunkt stehen die Erhöhung der Synchronität der Arbeitsschritte und die eigentlichen Aktivitäten zur Wertschöpfung. Es werden Zwischenlager für halbfertige Erzeugnisse eingespart. Es geht i.d.R. um die Gestaltung eines fertigungsoptimierten Layouts, das häufig in einem U-Layout mündet. Die Maschinen bzw. die Arbeitsplätze sollen möglichst nahe beieinander angeordnet werden, sodass der Fluss der Teile ermöglicht wird. Transporte und Handhabungsaufwände werden eingespart und die Produktivität gesteigert (vgl. hierzu die Abbildung 6). In der Literatur wird noch von weiteren Vorteilen gesprochen: Fehler am Produkt werden schneller erkannt. Die unnötige Produktion von Ausschuss wird vermieden. Die Produktionsprozesse können flexibler genutzt werden. Das Abwarten, bis ein großer Auftrag fertig ist, wird vermieden (vgl. hierzu [Shingo 1992], S. 184; [Liker 2007], S. 135-156; [Ohno 2009], S. 43-44; [Womack 2003], S. 50-66).

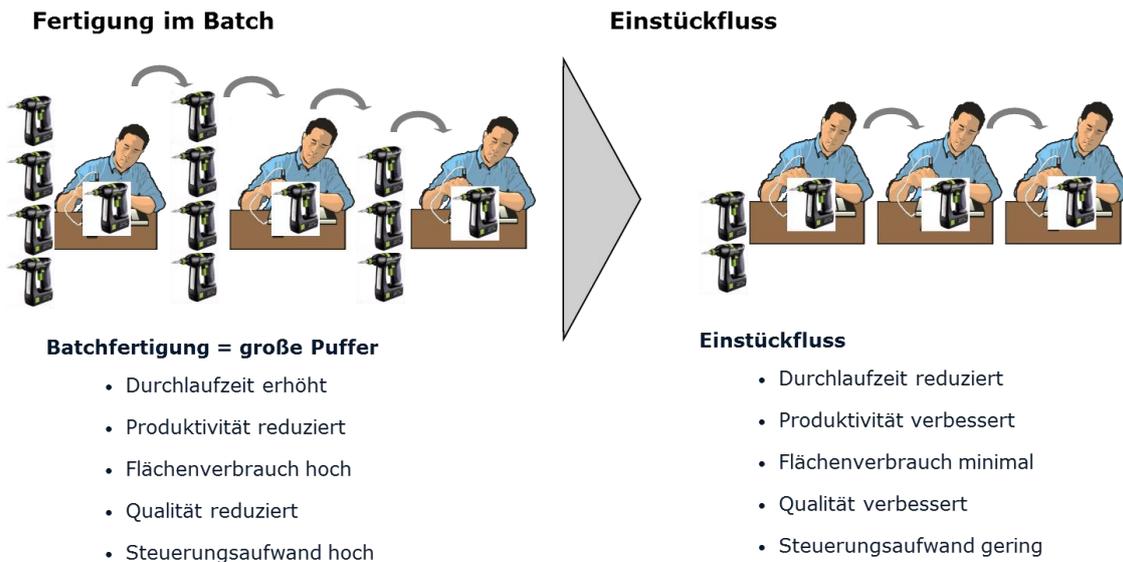


Abbildung 6: Abgrenzung von Fertigung im Fluss (Quelle: Schulungsunterlage Festool Engineering GmbH, Stand April 2008, S. 2)

Unterstützt wird die Anwendung dieser Methode ebenfalls durch die Methode „Arbeiten im Takt“ und durch das Verwenden von Standards in der Fertigung.

5S

Die Methode 5S verdankt ihren Namen den fünf Ordnungsprinzipien, die in der japanischen Sprache jeweils mit „S“ anfangen (Seiri = Ordnung, Seiton = Organisation, Seiso = Aufräumen, Seiketsu = Sauberkeit, Shitsuke = Disziplin). 5S ist eine Methode zur Arbeitsplatzgestaltung im Sinne von: Aussortieren, Aufräumen, Sauberkeit, Anordnung und ständige Überwachung des Zustands. Manche Quellen fügen noch eine sechste Form hinzu: Shukan = die Gewöhnung (vgl. [Nölling 2008], S. 55-56; [Dickmann 2007], S. 20; [Monden 1998], S. 199-219; [Takeda 1995], S. 29-40).

5S ist eine Grundlagenmethode, die die Wirksamkeit der anderen Methoden erhöht. Beispielsweise ist ein hoher Grad an Ordnung und Sauberkeit sehr hilfreich für das Durchsetzen und Einhalten von Standards. In der Form des Einsatzes der Methode 5S weichen die Quellen jedoch voneinander ab. Takeda (in [Takeda 1995], S. 29) empfiehlt, von Anfang an mit 5S bzw. 6S zu starten. Andere Quellen gehen jedoch von einer Ergänzung im Laufe des Veränderungsprozesses aus. Eigene Erfahrungen mit dieser Methode zeigen, dass ein schlichtes Aufräumen und Säubern nicht nachhaltig ist und dass in den betroffenen Bereichen der Sinn dieser Maßnahmen nicht erkannt wird. Im Zusammenspiel mit anderen Methoden wie SMED oder TPM wird den Betroffenen schnell klar, dass die eigentlichen Effekte erst dann eintreten, wenn ein gewisser 5S-Grad in der Fertigung herrscht. Der Haupteffekt der Methode 5S besteht darin, dass Arbeiten zuverlässig in einer festgelegten Zeit erfüllt werden können, da jeder Mitarbeiter alles schnell finden kann. Als ein Nebeneffekt entsteht eine größere Transparenz für das Management. Es wird schnell deutlich, welcher aktuelle Zustand herrscht, und Abweichungen lassen sich schnell erkennen.

Kanban

Kanban ist eine Methode zur Steuerung des Materialflusses mit Hilfe von Karten, die signalisieren, dass etwas nachzuliefern bzw. nachzuproduzieren ist. Kanban ist eine Möglichkeit, Pull umzusetzen. Daher wird Kanban im Zusammenhang mit der Methode Pull erläutert.

Pull

Ein kontinuierlicher Fluss über die gesamte Wertschöpfungskette ist wünschenswert, da sich so Verschwendungen durch Prozessunterbrechungen, Transporte, Bestände u.v.a.m. ausmerzen lassen. Häufig lässt sich jedoch zwischen Wareneingang und -ausgang kein

durchgehender Fluss realisieren (ob nun schon im ersten Schritt oder erst später nach anderen Veränderungen). Das kann an der Produktionstechnologie liegen (Prozesszeiten in Öfen oder ähnliches bzw. die Versorgung mehrerer Produktlinien durch eine Kapazität). In diesen Fällen sollte die Flussunterbrechung so gestaltet werden, dass die Bestände zwischen den Prozessstufen möglichst gering sind, um Überbestände zu vermeiden. Andererseits soll aber doch so viel Bestand vorliegen, dass die Folgeprozesse ohne Wartezeiten weiter produzieren können. Pull (engl. ziehen) ist eine Methode, mit der gesichert werden kann, dass einerseits der Bestand ein festgelegtes Niveau nicht überschreitet, andererseits aber nicht die Gefahr besteht, dass die Folgeprozesse „leer laufen“. Der Verbraucher steuert den Nachschub (vgl. hierzu [Rother 2003], S. 46-49).

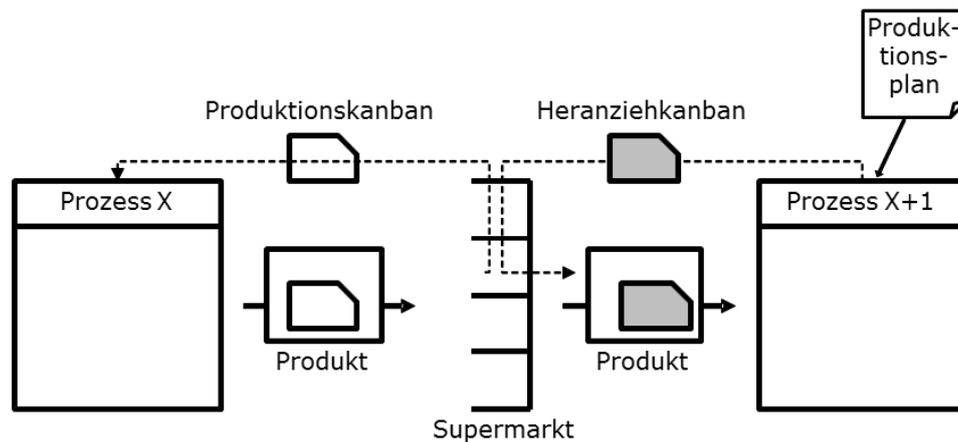


Abbildung 7: Pull-Prinzip, mit Kanban realisiert (vgl. [Rother 2003], S. 46)

Die bekannteste Realisierungsform der Pull-Methode ist die Kanban-Logik (vgl. hierzu die Prinzipdarstellung in der Abbildung 7). Zwischen zwei Prozessstufen (Prozess X und Prozess X+1) liegt ein so genannter Supermarkt. Dieser enthält die Produkte, die der Vorgängerprozess fertigt und die vom Folgeprozess benötigt werden. Die Menge, die im Supermarkt vorgehalten wird, ist vorgegeben. Benötigt der Prozess X+1 ein Teil, das vom Prozess X gefertigt wird, dann wird ein Heranzieh-Kanban genutzt, um das entsprechende Teil aus dem Supermarkt abzurufen. Das Teil wird aus dem Supermarkt entnommen, die Heranzieh-Kanban dem Teil beigelegt und die Produktions-Kanban zum Prozess X zurückgesendet. Das ist für den Prozess X die Information, dass ein Teil verbraucht wurde. Die Produktions-Kanban gibt damit den Auftrag, wieder ein Teil zu produzieren. Die Heranzieh-Kanban ist lediglich für den Transport gedacht. Eine Kanban-Karte enthält die genaue Information darüber, welches Teil, welche Menge, welcher Behälter, Quelle und Senke betroffen sind. Die Menge der Kanban-Karten, die sich im Umlauf befinden, entspricht der sich im Umlauf befindenden Menge an Teilen. Die Steuerung des Nachschubs orientiert sich am Verbrauch der Senke. Eine zentrale Steuerung der Materialflüsse und Produktionsaufträge entfällt damit. Die Kontrolle des Bestands ist systemimmanent. Die Grundlage für eine kontinuierliche Bestandsreduzierung ist damit geschaffen (vgl. [Rother 2003], S. 46-47; [Lödding 2008], S. 177-189; [Takeda 1995], S. 191-237).

Die Realisierung des Pull-Prinzips durch Kanban-Karten ist über mehrere Prozessstufen hinweg, im Werksverbund und sogar über Unternehmensgrenzen hinweg möglich. Die Kanban-Systematik an sich ist eine einfache Methode, die vielfältig einsetzbar ist, sogar im Büro für den Nachschub an Bürobedarf.

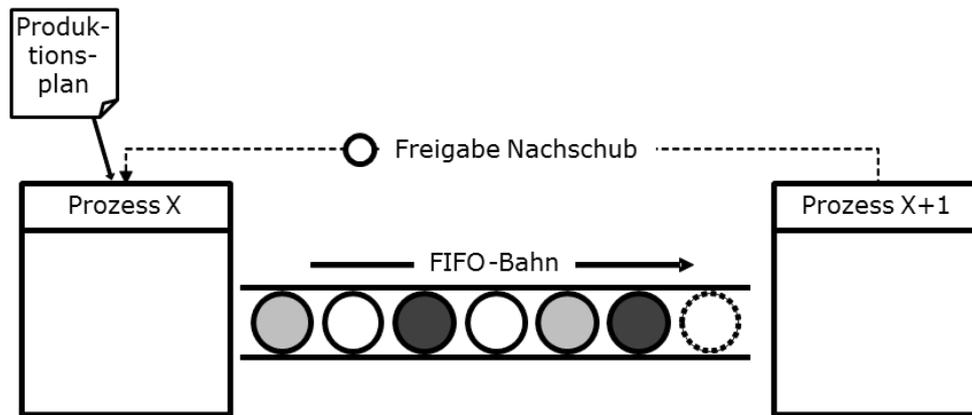


Abbildung 8: Prinzip-Darstellung Fifo bzw. Conwip (vgl. [Rother 2003], S. 49; [Lödding 2008], S. 328)

Eine andere, weniger bekannte Form des Pull-Prinzips ist das Fifo-Prinzip (siehe [Rother 2003], S. 49 f.) oder auch die Conwip-Steuerung (in [Lödding 2008], S. 327-338). Diese Form kommt immer dann zum Einsatz, wenn es im Prozess eine hohe Variantenbildung gibt und es nicht sinnvoll wäre, alle Varianten in einem Supermarkt mit Kanban-Kartensteuerung vorzuhalten. Eine andere Einsatzsituation liegt bei einer allgemein hohen Variantenvielfalt und geringen Mengen je Variante vor.

In der Abbildung 8 ist die grundsätzliche Wirkungsweise des Fifo-Prinzips dargestellt. Der Prozess X produziert in unterschiedlicher Reihenfolge verschiedene Produkte oder Aufträge (symbolisiert durch die Kreise zwischen den Prozessen). Die Erlaubnis zur Produktion wird nur so lange gewährt, bis ein zuvor festgelegter Bestand zwischen beiden Prozessen erreicht ist. Wird vom Nachfolgeprozess ein Auftrag bzw. Teil entnommen, wird eine Information an den Vorgängerprozess gesendet, die die Freigabe zur Produktion des nächsten Auftrags bzw. Teils erteilt. So wird auch hier der Nachschub durch die Senke gesteuert. Allerdings wird nicht die Variante, sondern die Menge gesteuert. Die Variante muss in diesem Fall durch einen Produktionsplan vorgegeben werden (vgl. [Rother 2003], S. 49-50; [Lödding 2008], S. 327-331).

Auch diese Methode ist - ähnlich wie Kanban - breit einsetzbar. Auch ihre Wirkung ist mit Kanban vergleichbar. Beide Methoden sind besonders dann gut anwendbar, wenn der Fluss in der Produktion weitgehend hergestellt ist und damit ein Bruch im Materialfluss erkennbar wird. Hier setzen die Werkzeuge der Pull-Methode an. Weiterhin ist eine Festlegung der erforderlichen Bestände zwischen den Prozessstufen dann möglich, wenn im Takt und idealerweise nach Standards gearbeitet wird.

Die Pull-Methode wird als ein Bestandteil des JIT-Konzepts angesehen. Im Wesentlichen geht es um dasselbe Ziel: die Teile zur richtigen Zeit zur Verfügung zu stellen und auch nur diejenigen Teile, die tatsächlich benötigt werden. Dabei steuert die Pull-Methode die Menge der Teile. JIT/JIS sorgt dagegen für den richtigen Zeitpunkt. Das ist innerhalb der Produktion wichtig für die Mitarbeiter der Fertigung. Sie müssen sich nicht um die Teileversorgung kümmern, das wird erfolgreich zum richtigen Zeitpunkt (JIT) organisiert. Zwischen den Unternehmen ist dieses Vorgehen wichtig, um die Bestände an Einkaufsteilen bzw. an Fertigware über die Lieferkette hinweg gering zu halten. Eine exakte Unterscheidung, was Pull und was JIT/JIS ist, lässt sich also nicht immer vornehmen.

Heijunka / Nivellieren und Glätten

Das Wort Heijunka stammt aus dem Japanischen und bedeutet so viel wie Einebnen, Gleichmachen, Nivellieren. In der Literatur findet man für diese Methode verschiedene Bezeichnungen: Heijunka (in [Liker 2007], S. 169-181; [Smalley 2005], S. 27-46), Produktionsmixausgleich (siehe [Erlach 2007], S. 211) oder Nivellieren und Glätten (vgl. [Rother 2003], S. 52; [Takeda 1995], S. 41-42).

Takeda führt aus, dass es bei Heijunka zwei Stufen der Umsetzung gibt (in [Takeda 1995]). Im ersten Schritt wird nivelliert. Das bedeutet, dass die Bedarfe der Kunden auf Tagesbedarfe herunter gebrochen werden. Jeder Produkttyp wird jeden Tag einmal in der Produktion aufgelegt. Es ist wichtig, dass beim letzten Prozess-Schritt das Nivellieren vollzogen wird. So werden die Auswirkungen von Schwankungen entlang der Wertschöpfungskette in Richtung Wareneingang möglichst gering gehalten (Minimierung eines internen Peitscheneffekts). Im zweiten Schritt, dem Glätten, werden die Tagesmengen weiter unterteilt. Das bedeutet, dass jeder Produkttyp mehrmals am Tag in der Produktion aufgelegt wird. Dies soll soweit gesteigert werden, dass maximal zweimal aufeinander derselbe Produkttyp gefertigt wird. Auch Smalley stellt das Vorgehen zur Glättung der Produktion als einen mehrstufigen Ansatz vor (siehe hierzu [Smalley 2005], S. 27-46).

Dieses Vorgehen setzt voraus, dass die Anlagen in kurzer Zeit gerüstet werden können, dass sie eine hohe Verfügbarkeit haben, dass die Fertigung im Takt erfolgt und dass Standards eingehalten werden, um Störungen und Abweichungen möglichst gering zu halten, da sonst eine Belieferung des Kunden nicht mehr gewährleistet wäre.

Heijunka ist diejenige Methode, in der alle zuvor erwähnten Methoden ihre Zusammenführung finden. Mit dieser Methode können weitere Effekte erzielt werden. Ihre Umsetzung im täglichen Arbeiten fällt jedoch den Unternehmen häufig schwer, denn alle anderen Methoden müssen zuvor beherrscht werden und umgesetzt worden sein. Heijunka zeigt schnell auf, was noch nicht optimal funktioniert und wo am System weiter zu arbeiten ist. Die konsequente Anwendung der Methode ist sicherlich immer dann sinnvoll und hilfreich, wenn Produkte oder Teile einzeln bearbeitet werden. Wenn eher prozessintensive Technologien mit Chargencharakter - wie Härten, Gießen usw. - zum Einsatz kommen, ist eine Produktion in geringster Losgröße aus Sicht der Produktionskosten selten umsetzbar.

VSM/VSD

Die Bezeichnung VSM/VSD ist eine englische Abkürzung; sie steht für Value Stream Mapping (= Wertstromanalyse) und Value Stream Design (= Wertstromgestaltung). Die erste strukturierte und systematische Veröffentlichung dieser Methode ist auf Mike Rother zurückzuführen (vgl. [Rother 2003]). Alle folgenden Veröffentlichungen lehnen sich an Rother an (vgl. [Erlach 2007]; [Lindner 2010]; [Klevers 2012]). Die Methode ermöglicht den ersten systematischen Schritt zur Veränderung eines Produktionssystems. Dabei wird in mehreren Schritten vorgegangen. Zunächst wird die Ausgangssituation beschrieben. Da eine Produktion verschiedene Produkte und Produktgruppen betrifft, die unterschiedliche Prozessabläufe erfordern, wird ein für das Produktionssystem repräsentatives Produkt bzw. eine Produktfamilie ausgewählt. Hierfür finden dann alle folgenden Aktivitäten statt. Mittels einer einfachen Symbolsprache⁶ wird der Wertstrom aufgenommen. Das schließt alle Aktivitäten ein, die zwischen Wareneingang und -ausgang stattfinden. Dazu werden Daten wie Zykluszeit, Rüstzeit, Ausschuss, Bestände, Liegezeiten, Wartezeiten, Durchlaufzeiten, Gesamtanlageneffektivität u.v.a.m. aufgenommen. Weiterhin werden alle Informationsflüsse dargestellt, die erforderlich sind, um einen Kundenauftrag in einen fertig produzierten Artikel umzuwandeln.

Im nächsten Schritt wird dann - nach einfachen Regeln - der Wertstrom neu gestaltet. Die Grundlagen dafür leiten sich aus den Lean-Prinzipien ab. Es soll Verschwendung - wie Überproduktion, Wartezeiten, Ausschuss etc. - ausgemerzt werden. Es soll ein Wertschöpfungsfluss hergestellt werden. Lässt sich kein durchgehender Fluss realisieren, soll eine Verbindung zwischen den Fertigungsprozessen nach dem Pull-Prinzip hergestellt werden. Der Kundenauftrag soll nur an einem Punkt eintreffen und die gesamte Produktion steuern. Es sollen nur kleine Mengen - diese dafür aber regelmäßig - freigegeben werden.

⁶ Die Symbole sind in ihrer Bedeutung klar definiert und daher im Einsatz ohne besondere Unterweisung einfach zu verstehen. Eine Übersicht über die verwendeten Symbole befindet sich im Anhang 9.1, S. 174.

Zusammenfassend kann man sagen, dass bei der Wertstromgestaltung alle zuvor erläuterten Methoden zur Anwendung kommen.

Mit derselben Symbolsprache, die bei der Beschreibung der Wertstromanalyse zur Anwendung kommt, wird unter Berücksichtigung der Regeln zur Gestaltung eines schlanken Wertstroms ein neuer Wertstrom gestaltet. Es wird eine veränderte Durchlaufzeit und die damit verbundene Bestandssenkung ausgewiesen. Weiterhin werden die Ziele festgelegt, die im sich anschließenden Veränderungsprozess erreicht werden sollen. Um die hoch gesteckten Ziele der Wertstromgestaltung erreichen zu können, wird im letzten Schritt ein Umsetzungsplan aufgestellt, der festlegt, an welcher Stelle im Produktionsfluss gestartet werden soll. Schließlich gibt Rother noch wertvolle Hinweise, was bei der Durchführung eines umfangreichen Veränderungsprojekts seitens des Managements zu beachten ist und wie ein solches Projekt am besten eingeführt und durchgeführt wird.

2.1.3.4 Reflektion des Lean-Charakters der ausgewählten Methoden

Im Abschnitt 2.1.3.2 wurde im Ergebnis einer Literaturrecherche eine Auswahl der relevanten Lean-Methoden zusammengestellt. Im Abschnitt 2.1.3.3 wurden dann diese Methoden detailliert besprochen. Nun wird abschließend geprüft, ob die ausgewählten Methoden über einen Lean-Charakter verfügen. Dies geschieht, um sicherzustellen, dass im Folgenden ausschließlich Methoden verwendet werden, die das Erreichen der Vision einer Schlanken Fertigung tatsächlich fördern und nicht verhindern.

Für diese Prüfung wird auf die im Abschnitt 2.1.3.1 festgelegten Kriterien zurückgegriffen. Eine positive Wirkung wird dann angenommen, wenn ein direkter oder auch ein indirekter Zusammenhang gesehen wird. In der Tabelle 3 sind die Ergebnisse zusammengefasst.

Tabelle 3: Bewertung Lean-Charakter ausgewählter Methoden

Methode	Muda	Mura	Muri	Kaizen	1. Gestaltungs- ansatz	2. Gestaltungs- ansatz	3. Gestaltungs- ansatz
SMED	✓	✓	✓		✓	✓	
TPM	✓	✓	✓		✓	✓	
Standardisierung	✓	✓	✓	✓			✓
Arbeiten im Takt	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
JIT/JIS	✓	✓	✓			✓	
kontinuierlicher Fluss / U-Linie	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5S	✓	✓					✓
Pull bzw. Kanban	✓		✓	✓		✓	
Heijunka / Nivellieren und Glätten		✓	✓	✓		✓	✓
VSM / VSD				✓	✓	✓	

✓ → wird unterstützt direkt oder indirekt

* → wirkt gegenläufig

2.2 Verfahren zur Einführung von Lean in Fertigungssystemen

2.2.1 Übersicht über die Verfahren

Ein Verfahren ist eine festgelegte Folge verschiedener Arbeitsschritte oder Methoden zur Erreichung eines Ziels oder zur Lösung eines Problems. Ein Verfahren zeichnet sich durch Wiederholbarkeit aus und durch die zuverlässige Erreichbarkeit eines Ergebnisses innerhalb vorgegebener Anwendungsgrenzen (vgl. hierzu [DUDEN 2010]).

In der Literatur und in den aktuellen Veröffentlichungen in Zeitschriften gibt es unzählige Beiträge, in denen beschrieben wird, in welcher Weise Lean-Methoden erfolgreich in gerichteten Fertigungssystemen eingeführt wurden. Bei diesen Veröffentlichungen lassen sich zwei Hauptgruppen unterscheiden: Methodenkompendien und Beiträge zur erfolgreichen Durchführung eines Veränderungsprozesses. Es gibt wenige Vertreter, die sowohl die Methoden vorstellen als auch deren Anwendung erläutern - und sie in den Kontext des gesamten Veränderungsprozesses eines Produktionssystems oder gar eines gesamten Unternehmens setzen. Liker hat (in [Liker 2007]) jedoch genau diese Kombination vorgenommen. Ein anderer Autor ist Takeda (in [Takeda 2004]), der ebenfalls eine Reihenfolge der Methoden empfiehlt und sie in ihrer Anwendung erläutert.

Die Methodenkompendien sind umfangreiche Methodensammlungen, in denen ihr Anwendungsbereich und ihre Vorteile erklärt werden. Häufig werden Fallbeispiele vorgestellt, die die Anwendung verdeutlichen sollen. Typische Vertreter dieser Form von Veröffentlichungen sind: [Dickmann 2007], [Bicheno 2004], [Erlach 2007], [Klevers 2012], [Lindner 2010], [Monden 1998], [Nölling 2008], [Ohno 2009] und [Shingo 1992]. [Erlach 2007], [Klevers 2012] und [Lindner 2010] haben lediglich die Methode der Wertstromanalyse und Wertstromgestaltung vorgestellt. Dabei fließen zwangsläufig die wichtigsten Lean-Methoden mit ein. Sonst wäre eine vernünftige Wertstromgestaltung schwer zu vermitteln. [Monden 1998] erläutert die Methoden und deren Weiterentwicklung, so beispielsweise bei der Methode Kanban die Weiterentwicklung e-Kanban. Monden widmet ein ganzes Kapitel dem gesamten Veränderungsprozess und den damit verbundenen Anforderungen.

Die Veröffentlichungen zum Thema Veränderungsprozess enthalten bei [Takeda 2004] eine Reihenfolge-Empfehlung der angewendeten Methoden. Im Vergleich mit einer Empfehlung von [Liker 2007], der ebenfalls eine Methodenabfolge empfiehlt, zeigt sich, dass es hier starke Unterschiede gibt. Schließlich wird bei [Black 2007] ein noch anderes Vorgehen befürwortet. Weiterhin überrascht es, dass es kaum Veröffentlichungen gibt, die sich mit der Reihenfolge der Methodenanwendung beschäftigen. Zwei weitere Veröffentlichungen (vgl. hierzu [Womack 2003], S. 102-124; [Brown 2006]) basieren auf Fallstudien und zeigen ebenfalls auf, welche Wege beschritten werden können.

Schließlich kann auf umfangreiche Veröffentlichungen zum Thema Anforderungen im Veränderungsprozess, Empfehlungen zum Anstoßen und Fortführen eines solchen Prozesses zurückgegriffen werden. Diese Publikationen gehen jedoch hauptsächlich auf die Anforderungen ein, einen komplexen Veränderungsprozess erfolgreich durchzuführen, auf die erforderlichen Aktivitäten seitens der Unternehmensleitung, auf erforderliche Veränderung der Unternehmenskultur oder auf den Umgang mit Widerständen innerhalb der Belegschaft (vgl. hierzu [Womack 2003], S. 125 ff.; [Regber 2007], S. 189 ff.; [Bhasin 2012]; [Deflorin 2012]; [Nightingale 2002]; [Emiliani 2005] u.v.a.m.)

In der Tabelle 4 sind die untersuchten Verfahrensvorschläge zusammengestellt. Die Klassifizierung der Methoden erfolgt in Anlehnung an den Abschnitt 2.1.3.3 (vgl. S. 12). Ist im beschriebenen Verfahren keine eindeutige Reihenfolge zu erkennen, weil in einem Verfahrensschritt mehrere Methoden angewendet werden, wird dieselbe Reihenfolgennummer vergeben.

Der Vergleich zeigt, dass bei den Verfahren die Start- und Endpunkte sehr unterschiedlich ausfallen. Daraus ergeben sich zwangsläufig unterschiedliche Abfolgen. Bei genauer Betrachtung lassen sich jedoch einige Trends ablesen. Die Umsetzung startet entweder mit der Methode „kontinuierlicher Fluss“ bzw. U-Linie oder mit der Methode Heijunka bzw. „Nivellieren und Glätten“. Da das Nivellieren und Glätten der Produktionspläne eine wichtige Methode ist, in die letztlich die Ergebnisse aller anderen Lean-Methoden einfließen, ist der Start mit Heijunka nachvollziehbar. Mit der Einführung dieser Methode wird ersichtlich, an welcher Stelle als nächstes zu arbeiten ist, um den folgenden Entwicklungsschritt vornehmen zu können. Der Start mit der Methode „kontinuierlicher Fluss“ ist ebenso nachvollziehbar. Bei der Anwendung dieser Methode werden mit einem größeren Veränderungsschritt die Bestände zwischen vielen Einzelarbeitsplätzen beseitigt. Da Bestände in der Regel eine tieferliegende Ursache haben - wie beispielsweise eine schlechte Arbeitsverteilung zwischen den Arbeitsplätzen, aufwändiges Umrüsten etc. - wird auch hier schnell deutlich, an welchen Themen als nächstes zu arbeiten ist.

Weitere Vergleiche zeigen, dass Kanban und das Pull-Prinzip in der Regel zusammen eingeführt werden. Das ist logisch nachvollziehbar. Kanban ist die wohl bekannteste Möglichkeit, das Pull-Prinzip zu realisieren. Außerdem kann gesagt werden, dass die Methode Standardisieren und die Methode „Arbeiten im Takt“ häufig zusammen oder nacheinander eingesetzt werden. Wird ein Arbeiten im Takt angestrebt, ist es erforderlich, klar definierte Standards einzusetzen, die erst eine Abtaktung ermöglichen.

Tabelle 4: Übersicht über die Verfahren der Lean-Methodeneinführung

Reihenfolge					
Methode	[Takeda 2004]	[Liker 2007]	[Black 2007]	[Brown 2006]	[Womack 2003] S. 102-124
Reihenfolge der Methoden	Allgemein gültiger Vorschlag zur Reihenfolge der Methoden			Fallbeispiele	
SMED	4		5	9	6
TPM	8		6	9	
Standardisierung	7	6	4	8	3
Arbeiten im Takt	6	4	1	7	3
JIT/JIS	5			4	5
kontinuierlicher Fluss/ U-Linie	3	1	1	2	2
5S	1	7		3	
Kanban	9	2	7	5	
Pull	9	2	7	5	
Heijunka/ Nivellieren und Glätten	2	4	1		7
VSM/VSD				1	1

Weiterhin fällt auf, dass die Veröffentlichungen, die Fallbeispiele zum Inhalt haben, mit der Wertstromanalyse und Wertstromgestaltung anfangen, bevor es in die eigentliche Umsetzungsphase geht. Auch Liker empfiehlt, erst einen Plan zu erstellen und Management-Entscheidungen herbeizuführen, ehe der eigentliche Veränderungsprozess startet (vgl. hierzu [Liker 2007], S. 113 ff.). In gleicher Weise favorisiert Black die Planung und Vorbereitung eines solchen Vorhabens (siehe [Black 2007], S. 3645).

Es erscheint, dass es bei der Einführung von Lean-Methoden in der gerichteten Fertigung kein allgemeines Verfahren gibt, das auf verschiedene Situationen anwendbar wäre. Auch Lee (vgl. [Lee 2007]) votiert für eine individuelle Vorgehensweise, die den jeweiligen

Verhältnissen des Unternehmens bzw. des Produktionssystems und dessen Anforderungen gerecht wird. Außerdem empfiehlt er, vorab eine grobe Planung vorzunehmen, die auch situationsabhängige, nicht planbare Anforderungen berücksichtigt und kontinuierlich fortgeführt wird. Weiterhin geht Lee davon aus, dass die Veränderungen in mehreren Wellen stattfinden, die immer wieder ähnliche Themen durchlaufen, und dass damit eine weitere Verbesserung der bereits durchgeführten Verbesserung (Feintuning) stattfindet. Auch andere Autoren gehen von sehr individuellen Wegen für die Unternehmen aus (vgl. hierzu [Deflorin 2012] und [Bhasin 2012], S. 440).

2.2.2 Anforderungen an Verfahren

Für die Einführung von Lean-Methoden gibt es kein festgelegtes allgemeingültiges Verfahren. Daher ist für die in der vorliegenden Arbeit betrachteten Anwendungsfälle ein Verfahren auszuwählen bzw. zu entwickeln, das für die speziellen Zwecke der Arbeit geeignet ist. Dafür werden im Folgenden Anforderungen formuliert, die sowohl für die gerichteten Produktionssysteme gelten als auch für die mehrstufigen Fertigungssysteme relevant sind.

Grundsätzlich soll das Verfahren festlegen, welche Methoden in welcher Reihenfolge zum Einsatz kommen. Das Verfahren wird eine Analysephase beinhalten müssen, da Produktionssysteme mit unterschiedlichen Ausgangssituationen und Reifegraden zu berücksichtigen sind. Ebenso wird es vielfältige Zielsetzungen bzw. Schwerpunkte geben, die als ein Teilaspekt des Verfahrens zu berücksichtigen sind.

Aus den Produktionssystemen heraus lassen sich ebenfalls Anforderungen formulieren. Die Verfahren sollten folgende Eigenschaften der Produktion abdecken:

- Anlagenproduktion und/oder vorratsintensive Produktion,
- Material oder Arbeit als Haupteinsatzfaktor der Produktion,
- mehrstufige Produktionsschritte,
- Serienproduktion,
- Werkstatt-, Insel- oder Linienproduktion,
- manuelle, mechanische oder teilautomatisierte Produktionstechnologie,
- mehrteilige Produkte,
- standardisierte Produkte,
- Vorratsproduktion,
- Mehrprodukt-Produktion und
- mittlere Variantenzahl.

2.3 Lean für mehrstufige Teilefertigung

2.3.1 Übersicht zur Anwendung von Lean

Die Teilefertigung ist das Bindeglied zwischen der grundstoffverarbeitenden Industrie und der Montage (vgl. [Westkämper 2006], S. 4). Die Teile erhalten in der Teilefertigung durch den Einsatz verschiedenster Technologien ihre endgültige Form mit festgelegten Eigenschaften. Variantenreiche Abfolgen von Arbeitsvorgängen resultieren aus einer ausgeprägten Technologie-Orientierung, die durch die geforderten Eigenschaften der Teile und durch technologische Erfordernisse vorgegeben ist (vgl. hierzu [Westkämper 2006B], S. 197). Die große Teilevielfalt erfordert einen unterschiedlichen Technologieeinsatz. Die mehrstufige Fertigung und der unterschiedliche Technologieeinsatz sowie die hohe Anzahl verschiedenster Teilenummern führen in der Fertigung zu netzartigen Materialflüssen. Diese Situation steht in der vorliegenden Arbeit für eine mehrstufige Teilefertigung.

In die Klasse der einstufigen Teilefertigung werden jene Fertigungssysteme eingeordnet, bei denen aufgrund der Technologie oder aufgrund anderer Rahmenbedingungen das Teil bereits mit maximal 3 Fertigungsschritten komplett fertiggestellt ist. Wenn mehrere

Fertigungsschritte erforderlich sind, dann erfolgen sie bei der Mehrheit der Teile in derselben Abfolge. Beispielsweise wird beim Kunststoffspritzen das Teil formfallend erstellt. Anschließend wird es entgratet, bedruckt oder anderweitig behandelt und schließlich verpackt. Einfache Drehteile werden in einer, maximal in zwei Aufspannungen gefertigt, konserviert und verpackt. Die gerichteten Produktionssysteme stehen nicht vor den Anforderungen unterschiedlichster Technologieabfolgen innerhalb des Teilespektrums.

Verschiedene Quellen beschreiben unterschiedliche Richtungen, inwiefern Lean-Methoden in einer mehrstufigen TF möglich sind bzw. überhaupt vorliegen. [Deflorin 2012] (vgl. [Deflorin 2012], S. 3957) stellt auf Grund der Unterschiede von Werkstattfertigung und Massenfertigung fest, dass nur unterschiedliche Ansätze zu einer schlanken Fertigung führen. [Danford 2010] bemerkt, dass Methoden und Verfahren fehlen, die die Einführung der Lean-Prinzipien im Umfeld von hoher Variantenvielfalt und geringen Stückzahlen beschreiben. Und [Jina 1997] behauptet sogar, dass eine Anwendung der Lean-Prinzipien im Umfeld einer mehrstufigen TF nicht möglich sei. Als Gründe dafür werden regelmäßige Turbulenzen in der Fertigungssteuerung, der komplexe Produktmix sowie die geringen Stückzahlen und das damit einhergehende Teiledesign angegeben. Eine umfangreichere Recherche ergibt, dass es Aktivitäten im Bereich der Lean-Produktion für eine mehrstufige Teilefertigung gibt. Jedoch ist der Begriff der mehrstufigen Teilefertigung, wie er in der vorliegenden Arbeit verwendet wird, nicht durchgängig in der Literatur anzutreffen. Hier variieren die Bezeichnungen von Teilefertigung über Werkstattfertigung bis hin zu Job-Shop oder „Low volume – high variability“-Produktion (engl. für geringes Volumen - hohe Variantenvielfalt). Es gibt keine klare Klassifizierung, die die ähnlichen, aber dennoch unterschiedlichen Fälle unterteilt. Somit sind auch die Veröffentlichungen mit ihren Fällen nicht klar abgegrenzt.

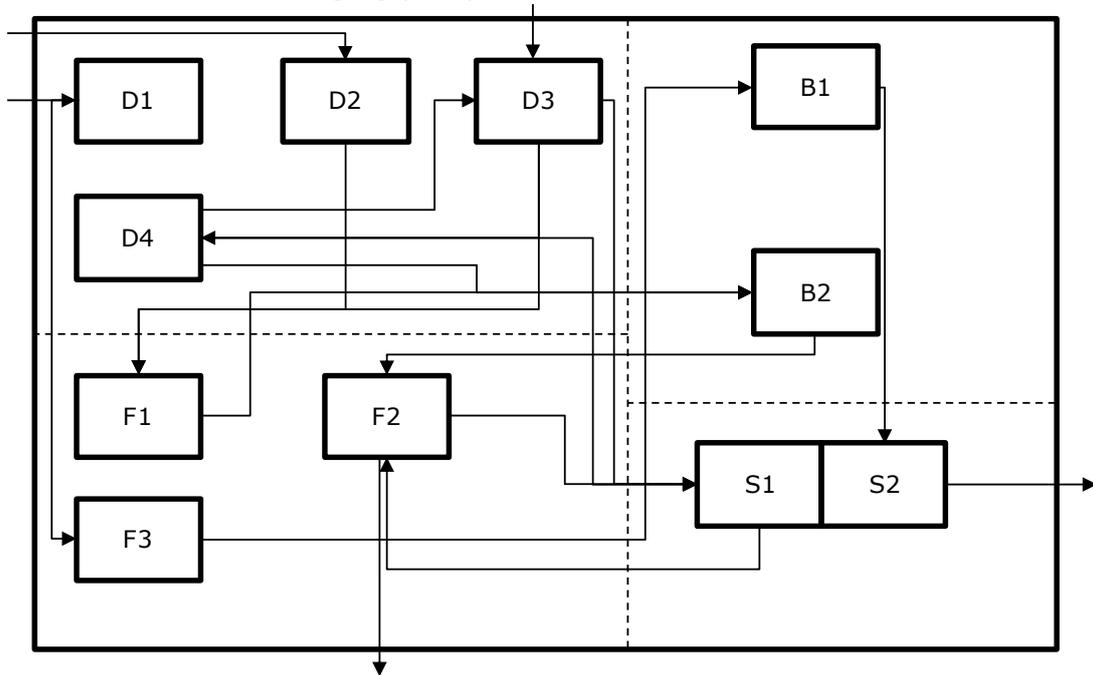
Die Recherche der Fachliteratur und der Veröffentlichungen der letzten Jahre ergibt ein sehr heterogenes Bild bezüglich der eingesetzten Methoden. Die Untersuchungen zu den Methoden im Umfeld mehrstufiger Teilefertigungen ohne den Lean-Hintergrund ergeben als die hervorstechendste Problematik hauptsächlich Ansätze zur Planung und Steuerung solcher Produktionssysteme. In der Regel werden verbesserte Planungs- oder Steuerungsalgorithmen entwickelt und über Simulationsmodelle deren Stärken und Vorteile nachgewiesen (vgl. hierzu [Weng 2006]; [Sels 2012]; [Chen 2013]; [Vinod 2011]; [Vinod 2009]; [Thürer 2012]; u.v.a.m.). Die Kernaussage dieser Arbeiten ist, dass die Teilefertigung eine Änderung des eingesetzten EDV-Systems erfordern muss und dass die damit verbundene Produktionsplanung bzw. -steuerung optimiert wird. Oft werden Methoden zum Thema „Belastungsorientierte Fertigungssteuerung“ oder „Rüstzeitoptimale Fertigungsreihenfolge“ untersucht. Häufig stößt man auch auf die Methode Fertigungszelle.

Fertigungszelle

Die Durchsicht der Veröffentlichungen zu Lean-Methoden für mehrstufige Teilefertigungen gibt einige Aufschlüsse zu Methoden oder Methodengruppen, die in diesem Umfeld im Einsatz sind. Am häufigsten trifft man auf die Methode der Fertigungszelle (siehe [Danford 2010]; [Black 2007]; [Li 2005]; [Hyer 2002]). [Hyer 2002] definiert die Fertigungszelle wie folgt: Eine Fertigungszelle ist eine Gruppe nahe beieinander liegender Arbeitsplätze, an denen mehrere Operationen an einer oder an mehreren Familien gleicher Rohstoffe, Teile, Komponenten, Produkte oder Informationsträger der Reihe nach durchgeführt werden. Die Zelle ist innerhalb der Unternehmung eine unverwechselbare Organisationseinheit, die von einem oder von mehreren Mitarbeitern besetzt wird, die für die Erfüllung der Produktionsmenge verantwortlich sind, und von weiteren zugeordneten Mitarbeitern, die für die Kontrolle, für die Unterstützung und für die Verbesserungsaktivitäten verantwortlich sind (vgl. [Hyer 2002], S. 18). Eine Grundvoraussetzung dafür, eine Fertigungszelle etablieren zu können, ist die Bildung von Produkt- bzw. Teilefamilien nach einem bestimmten Kriterium. [Danford2010] ermittelt die Teilefamilien mit Hilfe einer Software nach dem Merkmal der möglichst gleichartigen Fertigungsabläufe innerhalb der TF. Auch [Li 2005] empfiehlt die Segmentierung nach Fertigungsabläufen der Teile. [Black 2007] hingegen konzentriert sich beim Aufbau der Fertigungszellen auf Teile, die auf Grund ihrer Bearbeitungszeiten den in der Zelle

erforderlichen Takt nicht gefährden. Außerdem beschränkt [Black 2007] die Aktivitäten auf die physische Einrichtung der Zelle und auf die dazu erforderlichen Standards und Abläufe.

① Funktionsorientiertes Fertigungsprinzip



② Zellenorientiertes Fertigungsprinzip

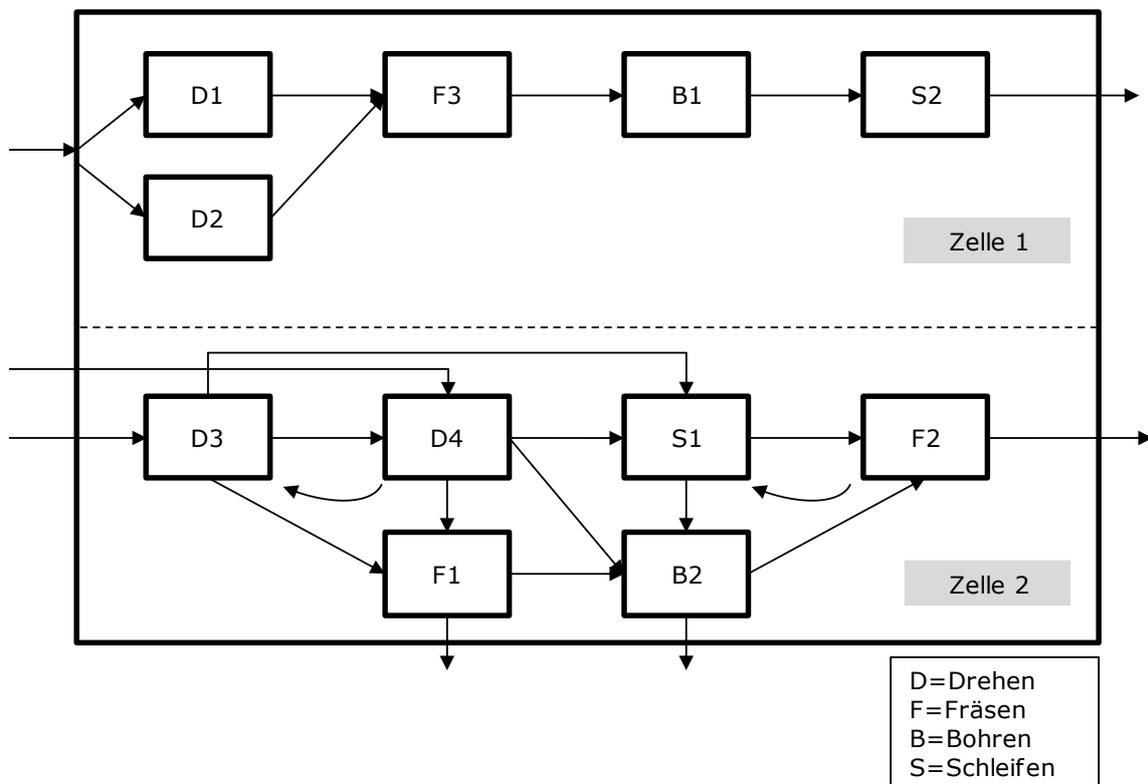


Abbildung 9: Schematische Darstellung der Unterschiede zwischen Werkstattfertigung und Fertigungszelle (vgl. [Hyer 2002], S. 21)

Die Vorteile einer Einführung von Zellen werden in gleichen Abläufen, in Potentialen zur Verkürzung der Rüstzeiten, in der Fertigstellung in einem Bereich und in der damit verbundenen Verkürzung der Durchlaufzeiten gesehen (vgl. [Hyer 2002]; [Li 2005];

[Danford 2010]). Der Unterschied zwischen einer Teilefertigung und einer Fertigungszelle ist in der Abbildung 9 dargestellt. Der Betrieb einer Fertigungszelle wird unterschiedlich gesehen: von einem echten Einstückfluss der Teile durch die Fertigungszelle (siehe [Black 2007]) bis hin zur Weitergabe ganzer Aufträge in der Fertigungszelle mit potentiellen Rückschritten (siehe hierzu [Hyer 2002], S. 21).

VSM/VSD

Die Methode Wertstromanalyse wird überraschend häufig im Zusammenhang mit mehrstufigen TF genannt. Sie wird mitunter adaptiert oder auch als völlig ungeeignet angesehen (siehe hierzu [Singh 2010]; [Irani 2011]; [Lasa 2009]; [Duggan 2002]). [Irani 2011] bewertet VSM/VSD als ungeeignet oder eingeschränkt nutzbar mit der Begründung, dass diese Methode nicht für Anwendungsfälle wie einer mehrstufigen TF entwickelt wurde. Ihr Einsatz wird nur für Anwender empfohlen, die die Methode komplett verstanden haben und die in der Lage sind, ihre Vorteile entsprechend zu nutzen. [Singh 2010] diskutiert die eingeschränkte Anwendbarkeit in diesem Umfeld und empfiehlt die Ermittlung eines kritischen Pfads durch die Fertigung, diesen zu optimieren und dann die Methode wieder für den nächsten kritischen Pfad anzuwenden. Es wird empfohlen, die Methode nur für eine Produktfamilie anzuwenden, da die Abbildung einer gesamten Fabrik mit der Methode VSM/VSD nicht sinnvoll sei. [Lasa 2009] untersucht die Anwendung von Lean-Methoden im Umfeld von mehrstufigen TF bei sechs unterschiedlichen Unternehmungen. Er zeigt, dass die eingesetzten Methoden zum Teil adaptiert werden. Erstaunlich ist, dass alle untersuchten Unternehmen VSM/VSD einsetzen. Leider wird nicht hinterfragt, mit welcher Qualität sich die Anwendbarkeit gestaltet. Schließlich hat [Duggan 2002] gleich ein ganzes Buch zur Methode VSM/VSD im Umfeld einer Teilefertigung veröffentlicht. Der Autor orientiert sich jedoch sehr stark am Vorgängerwerk von [Rother 2003] und versucht, genau dessen Schritte der Methode im Umfeld einer mehrstufigen TF möglichst originalgetreu abzubilden. Dabei bleiben die Besonderheiten dieser Produktionssysteme unberücksichtigt. Es wird eine Art Segmentierung über die Produkt-Prozess-Matrix empfohlen. Im Mittelpunkt steht dabei die Austaktung der Arbeitsplätze untereinander. Das überrascht besonders, wenn man bedenkt, dass viele unterschiedliche Teile vermutlich viele verschiedene Bearbeitungszeiten auf den einzelnen Bearbeitungsmaschinen benötigen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es für eine mehrstufige TF bisher keinen zufriedenstellenden Ansatz für die Analyse und Konzipierung nach Lean-Prinzipien gibt, so wie es die Methode VSM/VSD für die gerichteten Systeme ermöglicht.

Fertigungssteuerungsmethoden

Die Recherche nach eingesetzten Lean-Methoden ergibt verschiedene Ergebnisse zum zentralen Thema Fertigungssteuerung, das ein Hauptthema für eine mehrstufige TF bildet. [Müller 2009] beschreibt eine Methode zur Begrenzung des Umlaufbestands in der Fertigung. Dabei wird eine begrenzte Anzahl von Behältern zur Verfügung gestellt. Aufträge können erst dann gestartet werden, wenn durch die Fertigstellung von Aufträgen Behälter frei werden. Diese Methode wird Push-Box-Kanban genannt. Jedoch hat die Methode wenig mit Kanban gemeinsam. Dafür ist dieses Grundprinzip bereits aus [Rother 2003] bekannt: Conwip oder Fifo-Bahn.

Eine andere Methode zur Fertigungssteuerung wird von [Krishnamurthy 2009] vorgestellt. Polca ist eine kartenbasierte Steuerungsmethode, die über die Karten die Umlaufbestandsmenge begrenzt. Erst wenn ein Auftrag fertiggestellt ist, wird eine Karte frei und kann den Start für einen neuen Auftrag auslösen. Auch diese Methode ist nahe verwandt mit dem Grundprinzip nach [Rother 2003]: Conwip oder Fifo-Bahnen.

Außer durch Polca werden von [Lödding 2008] in einem Kompendium zu Planungs- und Steuerungsverfahren der Produktion weitere ähnliche bestandsbegrenzende Verfahren vorgestellt. Zum einen wird das Conwip-Verfahren dargestellt (vgl. [Lödding 2008], S. 327 ff.). Es wird die Methode „Workload Control“ dargestellt. Aufträge, die bereits überlastete Arbeitssysteme durchlaufen würden, werden zurückgehalten (siehe [Lödding 2008], S. 355 ff.). Schließlich wird auch das Verfahren der „Belastungsorientierten Auftragsfreigabe“

vorgestellt. Bei diesem Verfahren werden Aufträge nur dann für die Produktion freigegeben, wenn sie beim Durchlaufen der Fertigung keinen der Produktionsbereiche über eine festgelegte Bestandsgrenze bringen (vgl. [Lödding 2008], S. 373 ff.). Die „Dezentrale Bestandsorientierte Fertigungsregelung“ (siehe [Lödding 2008], S. 423) gibt die Arbeitsvorgänge für einen Auftrag – in Abhängigkeit von der Bestandssituation des jeweils nachfolgenden Arbeitssystems – einzeln frei. Allen diesen Verfahren gemeinsam ist das Ziel, den Umlaufbestand in Grenzen zu halten und damit die Durchlaufzeiten zu verkürzen.

Die taktorientierte Fertigungssteuerung (siehe hierzu [Bornhäuser 2005]) setzt eine Fertigungssegmentierung nach dem Verrichtungsprinzip voraus. Dabei wird der Taktgedanke der Fließfertigung übernommen. Allerdings wird der Takt in diesem Zusammenhang eher in Stunden angegeben. Je Takt wird ein Arbeitsvorrat für jede Fertigungsinsel zur Verfügung gestellt, der abgearbeitet ist. Der Arbeitsvorrat orientiert sich an der jeweiligen Kapazitätssituation der Fertigungsinseln. Diese Form der Steuerung soll die Terminierung der Aufträge erleichtern. Das Ziel der Methode ist eine verbesserte Liefertermintreue. Ein Anwendungsbeispiel wird nicht präsentiert (vgl. [Bornhäuser 2005]).

[Slomp 2009] stellt für eine mehrstufige TF eine Kombination aus mehreren Methoden auf, die einander ergänzen sollen. Dabei soll Conwip mit dem FIFO-Prinzip kombiniert werden. Die Einführung einer Taktzeit sowie die Kontrolle des Arbeitsvorrats sollen dabei helfen, das Problem der langen Durchlaufzeiten und der geringen Liefertreue zu mildern.

Allen genannten Rechercheergebnissen ist das Ziel gemeinsam, den Umlaufbestand innerhalb der Fertigung zu begrenzen.

Verfahren

Weitere Recherchen ergeben keine explizite Anwendung einer einzelnen Methode für eine typische Anforderung in einer mehrstufigen TF. Dafür werden Kombinationen oder auch Aufzählungen von Methoden genannt, die in diesem Umfeld zur Anwendung kommen. Es wird jedoch kein Verfahren zur Einführung der Lean-Prinzipien in einer mehrstufigen TF vorgestellt.

[Patel 2001] zeigt am Beispiel eines kleinen Unternehmens, wie sich durch die Einrichtung von Fertigungszellen, durch SMED und durch den Einsatz des Werkzeugs „Poka Yoke“⁷ die Ergebnisse einer Fertigung deutlich verbessern.

[Zelinski 2004] beschreibt das Vorgehen anhand des Fallbeispiels eines amerikanischen Präzisionsteile-Herstellers. Als erstes wurde die Beschaffung der Materialien auf JIT umgestellt. Im nächsten Schritt wurde durch die konsequente Anwendung der Methode SMED eine radikale Verkürzung der Rüstzeiten erzielt. Anschließend wurde in andere Maschinenkonzepte investiert. Der Trend ging hin zu Anlagen, die in einem Arbeitsgang Aufgaben bewältigen können, für die zuvor verschiedene Anlagen benötigt wurden. Für ausgewählte Produkte wurde dann eine Flusslinie eingeführt. In dieser Flusslinie werden die Produkte nun gefertigt und dann sogar noch montiert.

[Li 2005] stellt in einer Simulationsstudie eine Kombination aus Methoden für das Anwendungsfeld Teilefertigung vor. Die Studie verfolgt das Ziel, eine Kombination unterschiedlicher Lean-Methoden in einer TF zu untersuchen. Die Methoden Rüstzeitreduzierung, Fertigungszelle, Einstückfluss und „Reduzierung der Variabilität“ werden in ihren möglichen Kombinationen untersucht. Es zeigt sich, dass die zu bevorzugende Strategie in der Einführung einer Fertigungszelle mit einer starken

⁷ „Poka Yoke“ (japan. für narrensichere Einrichtung) soll Fehler durch einfache, intelligente Lösungen vermeiden. Ein Beispiel aus dem Alltag ist die Sim-Karte eines Mobiltelefons, die auf Grund einer abgeschrägten Ecke des Rechtecks nur in einer einzigen Orientierung eingelegt werden kann.

Verkürzung der Rüstzeiten besteht. Die Verkürzung der Rüstzeiten im Zellenverbund ist der singulären Verkürzung der Rüstzeiten vorzuziehen. Der Einsatz der Methode Einstückfluss lohnt sich nur dann, wenn sie mit anderen Methoden kombiniert wird, vor allem mit einer extrem großen Verkürzung der Rüstzeiten. Die Methode Einstückfluss ist dann besonders wirksam, wenn in einer Fertigungszelle ein gerichteter Materialfluss vorliegt. Eine Reduzierung der Variabilität (in Bezug auf Rüstzeit oder Bearbeitungszeit) lohnt sich nur dann, wenn sie mit den Methoden Fertigungszelle und Rüstzeitreduzierung kombiniert wird.

In [Lasa 2009] werden in einer Studie sechs verschiedene Unternehmen hinsichtlich des Einsatzes von Lean-Methoden im Umfeld einer mehrstufigen TF untersucht. Es zeigt sich, dass viele bekannte Methoden in abgewandelter Form eingesetzt werden können und dass sie zu den bekannten Ergebnissen führen. In der Studie sind vier der sechs Produktionssysteme nach dem Werkstattprinzip organisiert und drei der sechs Unternehmen realisieren eine kundenauftragsbezogene Fertigung. Insgesamt führen fünf Unternehmen die Arbeit nach Taktzeit ein. Drei Unternehmen beschränken sich auf die Einführung einer Fertigung im Fluss. Lediglich in einer einzigen Fertigung wird die Pull-Steuerung des Materialflusses mit Hilfe von Kanban und Supermärkten eingeführt. Dagegen wird in vier Produktionssystemen mit einer Lösung vergleichbar der FIFO-Bahnen gearbeitet. Den Schrittmacherprozess führen fünf Unternehmen ein. Das Nivellieren und Glätten des Produktionsmixes wird von allen Unternehmen vollzogen. Eine Erhöhung der Produktivität der Anlagen mit unterschiedlichen Methoden wird von fünf der sechs Unternehmen in Angriff genommen. Die Nivellierung des Produktionsvolumens und die Einführung der Methode Heijunka werden jedoch von keinem Unternehmen durchgeführt. Der Autor zeigt leider nicht im Detail auf, was tatsächlich hinter den Methoden steht. Vor allem die Nivellierung des Produktmixes ohne die gleichzeitige Nivellierung des Produktvolumens erscheint widersprüchlich. Auch überrascht der Einsatz der Pull-Steuerung mit Hilfe von Supermärkten und Kanban in einer Teilefertigung. Die Auswahl der Methoden scheint sich stark am prinzipiellen Vorgehen bei der Wertstromanalyse gemäß [Rother 2003] zu orientieren.

Tabelle 5: Übersicht über die geeigneten Methoden (vgl. [Irani 2011])

Nicht geeignet	Nicht immer geeignet	Immer geeignet
<ul style="list-style-type: none"> • VSM/VSD • Kanban • Fließfertigungszelle • Produktionsplanung am Taktgeber 	<ul style="list-style-type: none"> • VSM/VSD • Einstückfluss-Fertigungszelle • produktspezifische Kanban-Karten • Sequenzbildung nach FIFO an den Anlagen • Produktionsplanung am Taktgeber • Organisation des Bestandes mit Hilfe der Supermarkt-Logik • Heijunka • manuelle Anlagen mit Einzelfunktion • Abtaktung 	<ul style="list-style-type: none"> • 5S • TPM • SMED • Poka Yoke • Qualitätssicherung im Produktionsprozess • Mitarbeiterbindung • Strategische Planung • Visualisierung • Standardisierung von Werkzeugen und Prozessen • Jidoka⁸ • durchgängige Mitarbeiterführung von oben nach unten • ideal belegte oder geplante Maschinen • Arbeitsstandards

⁸ Jidoka (japan. für Autonomie) ist die intelligente Steuerung von Anlagen. Treten Fehler auf, stoppen die Maschinen die Produktion.

Eine Untersuchung, welche Methoden im Umfeld einer mehrstufigen TF überhaupt nicht, welche nur eingeschränkt und welche immer eingesetzt werden können, wurde von [Irani 2011] durchgeführt. Diese Einteilung zeigt die Tabelle 5. Erstaunlich ist dabei, dass Methoden, die eigentlich gar nicht geeignet sind, laut Irani unter bestimmten Bedingungen dennoch genutzt werden können. Es zeigt sich auch - wie häufig in den Veröffentlichungen zum Thema Lean-Produktion -, dass Methoden zur Qualitätssicherung oder zur Unternehmensführung mit in das Portfolio aufgenommen werden.

Schließlich gibt es ein Buch, das sich ausschließlich mit der Einführung von Lean-Methoden in einer mehrstufigen TF beschäftigt. [Lane 2007] unterteilt dabei die vorgeschlagenen Methoden in solche, die direkt in der Fertigung angewendet werden, und in solche, die die indirekten Bereiche der Fertigung betreffen. Es werden jedoch keine Empfehlungen hinsichtlich ihrer Reihenfolge gegeben, sondern es wird nur darauf hingewiesen, dass man am besten mit dem dringlichsten Problem anfangen solle und dass man - je nachdem, was als nächstes erforderlich ist - dann weitere Verbesserungen vornehmen kann. Der Reihenfolge der Einführung der Methoden wird also in dem Buch keine weitere Beachtung geschenkt. Lane empfiehlt eine Reihe von Methoden: Visualisierung, Standardisierung, Arbeiten im Takt, Produktionsplanung auf Tagesbasis mit Planungstafeln, SMED, Engpassanalyse und Engpassbeseitigung, TPM, Trennung von Wertschöpfung und Logistik, VSM/VSD, Hybrides System für Kanban und kundenauftragsbezogene Fertigung, JIT, 5S, Abtaktung in der Fertigung, TPM.

Bei der Sichtung der Veröffentlichungen zeigen sich zum Teil Widersprüche, was den Methodeneinsatz angeht. Sie geben keine Empfehlungen zur Reihenfolge der eingesetzten Methoden und schon gar kein Verfahren an. Ausgehend von den häufigsten Nennungen, lässt sich die Auswahl der bewährten Methoden auf die folgende Liste beschränken: 5S, Fertigungszelle, SMED, TPM, Standardisierung, Fertigungssteuerungsmethoden mit Begrenzung des Umlaufbestands, Arbeiten im Takt, VSM/VSD und Einführen eines Schrittmacherprozesses. Weiterhin lassen sich die Veröffentlichungen in zwei Kategorien unterteilen. Die Veröffentlichungen der ersten Gruppe stellen den Veränderungsprozess an Hand von einem oder mehreren Fallbeispielen dar. Die Publikationen der zweiten Gruppe orientieren sich sehr stark am Vorgehen und an den Prinzipien für gerichtete Systeme und vollziehen eine eher oberflächliche Adaption.

2.3.2 Vergleich zu Methodeneinsätzen gerichteter Systeme

Beim Vergleich der empfohlenen Methoden und Verfahren der gerichteten Systeme mit denen einer mehrstufigen TF fällt als erstes auf, das es keine echte Handlungsempfehlung oder gar ein Verfahren gibt, wie ein Produktionssystem von einer Ausgangssituation hin zu einer Schlanken Fertigung zu entwickeln ist. In gerichteten Systemen liegt der Fokus stark auf den anzuwendenden Methoden und Erfolgsfaktoren für den Veränderungsprozess bzw. auf der Analyse, wie das Veränderungsprojekt überhaupt zu bewältigen ist (siehe auch [Marodin 2013]).

Eine Untersuchung der Produktionssysteme zeigt, dass diese sehr unterschiedlich sind. Reduziert man sie jedoch auf ihren wesentlichen Inhalt, dann erkennt man, dass es doch eine gemeinsame Basis gibt. Die eigentliche Lean-Philosophie ist immer dieselbe. Die Unternehmen entwickeln ihre Produktionssysteme auf der Grundlage der Methoden, die sich für ihre Branche oder ihre Organisation eignen. Somit beruht das Produktionssystem eines Unternehmens auf einer Auswahl der für die Produktion am besten geeigneten Methoden (vgl. [Netland 2013]).

Die Ausgangssituationen verschiedener Produktionssysteme sind nicht miteinander vergleichbar. Gerade bei den gerichteten Produktionssystemen sind die Unterschiede groß und reichen von Automobilherstellern mit einem kontinuierlich laufenden Montageband bis hin zu mittelständischen Montagebetrieben mit beispielsweise einer angegliederten Kunststoffspritzfertigung. Eine generelle Handlungsempfehlung wäre für derart weit gefächerte Anwendungen nicht seriös. Es muss also eine Eingrenzung des

Anwendungsgebiets erfolgen und eine vergleichbare Problemlage vorhanden sein, um ein Verfahren aufstellen zu können.

Vergleicht man die in den Publikationen eingesetzten Methoden in gerichteten Systemen mit denen bei mehrstufigen TF, dann lässt sich eine große Schnittmenge erkennen (vgl. hierzu die Abbildung 10). Bei einer detaillierteren Auseinandersetzung mit der Methodenanwendung treten jedoch Unterschiede zutage, ganz besonders bei VSM/VSD und bei der Pull-Methode. Die Analyse der Unterschiede in der Methodenauswahl zeigt, dass es Parallelen - wie U-Linie und Fertigungszelle - gibt. Doch für Heijunka findet sich in der Welt der mehrstufigen TF kein echtes Pendant. Genauso ist in der Welt der gerichteten Systeme das „Einführen eines Schrittmacherprozesses“ keine explizit aufgeführte Methode. Das liegt vermutlich daran, dass dieser Punkt eher der Methode VSM/VSD zuzuordnen ist und letztlich durch die häufige Nennung dieser Methode in den Veröffentlichungen in die nähere Auswahl gelangt.

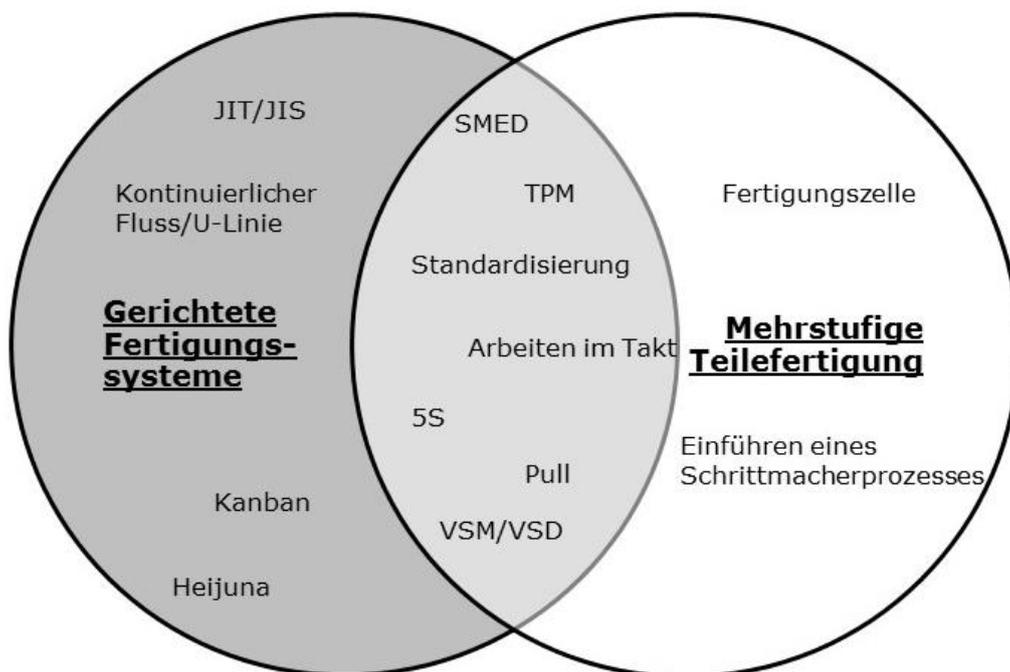


Abbildung 10: Schnittmenge der Lean-Methoden

2.3.3 Methodische Lücke für mehrstufige Teilefertigung

Beim aktuellen Stand der Wissenschaft sind einzelne Methoden oder Methodenkombinationen bekannt, die im Umfeld einer mehrstufigen TF erfolgreich angewendet werden können. Das bezeugen zahlreiche Fallbeispiele oder gar Modelle. Es sind zwar viele Methoden bekannt, die - komplett oder adaptiert - aus der erfolgreichen Anwendung der gerichteten Systeme übernommen werden, es gibt jedoch keine Verfahren oder ganzheitlichen Ansätze für die Transformation einer mehrstufigen TF in eine Schlanke TF.

Es fällt auf, dass in den Veröffentlichungen zu diesem Themenbereich ein breites Spektrum an verschiedenen Produktionssystemen betrachtet wird. Dazu zählen reine kundenauftragsbezogene Fertigungen, die mit langen Durchlaufzeiten kämpfen und eine geringe Wiederholrate im Produktmix aufweisen. Es wird weiterhin von Produktionssystemen berichtet, die eine hohe Variantenvielfalt abdecken und dabei mit einem geringen Produktionsvolumen je Produkttyp zu kämpfen haben. Und es wird von Fertigungen gesprochen, die nach dem Werkstattprinzip organisiert sind. Das zeigt, dass es keine klare Abgrenzung der Fertigungstypen und keinen entsprechenden Lean-Methoden-Mix gibt.

Es existiert keine klare Zuordnung zwischen den Anforderungen in der Produktion und den für das jeweilige Produktionssystem geeigneten Methoden zur Abhilfe. Somit fehlt auch eine Handlungsempfehlung, nach der ein Transformationsprozess zu einer Schlanke TF vollzogen werden kann, wo doch schon Unklarheit darüber herrscht, ob eine VSM/VSD für solche Fälle überhaupt sinnvoll ist.

Zurzeit gibt es noch keine Antwort auf die Frage, wie ein ganzheitlicher Ansatz zur Umstellung einer mehrstufigen TF in eine Schlanke TF aussehen könnte, und es fehlt der Nachweis, dass ein solches Vorgehen erfolgreich ist.

2.4 Zusammenfassung der wissenschaftlichen Lücke

Das Ziel der vorliegenden Arbeit besteht in der Entwicklung eines Verfahrens zur Gestaltung einer mehrstufigen TF nach den Lean-Prinzipien. Die für dieses Vorhaben notwendigen Anforderungen einer mehrstufigen TF sind zu ermitteln, um die geeigneten Lean-Methoden auswählen zu können. Schließlich soll eine solche Methodenempfehlung erarbeitet werden.

Der aktuelle Stand der Veröffentlichungen lässt Raum für die Entwicklung eines Verfahrens für eine klar abgegrenzte Produktionssituation im Umfeld der mehrstufigen TF. Es ist zu spezifizieren, welche Anforderungen für diese Fälle vorliegen. Es ist zu klären, welche Methoden aus der Welt der gerichteten Produktionssysteme übernommen werden können und welche Ansätze aus den bereits vorliegenden Rechercheergebnissen zu mehrstufigen Systemen genutzt werden können. Schließlich ist ein ganzheitlicher Ansatz zu entwickeln, der eine Empfehlung für die Methodenreihenfolge gibt. Der Nachweis der Wirksamkeit dieses Ansatzes ist zu führen.

3 Forschungsansatz der Arbeit

3.1 Aufbau der Arbeit

Im Kapitel 2 wurde ausführlich nachgewiesen, dass das Thema der Schlanke Produktion im Umfeld gerichteter Produktionssysteme bereits umfangreich untersucht wurde. Es wurden Methoden entwickelt, die eine Umwandlung im Sinne der Lean-Prinzipien ermöglichen. Der Aufbau der vorliegenden Arbeit berücksichtigt diese Erkenntnisse zum Thema Lean-Prinzipien und Lean-Methoden. Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse werden die Unterschiede zwischen den bereits erforschten Produktionssituationen und den Situationen der mehrstufigen TF herausgearbeitet. Aufbauend auf den bekannten Lean-Methoden, die jeweils konkrete Lean-Prinzipien unterstützen, wird geprüft, welche Methoden zum jeweiligen Anforderungsprofil einer TF passen.

Der Beweis, dass die einzelnen Methoden anwendbar sind, ist für eine derart komplexe Thematik wie die Produktion schwierig zu führen. Die Lean-Methoden wirken in unterschiedliche Richtungen und ergänzen sich gegenseitig. Der Nachweis, dass Methoden oder gar Verfahren anwendbar sind, ist nur durch eine umfangreiche empirische Untersuchung möglich, die eine enge Klassifizierung der Problemstellung und der Rahmenbedingungen erfordert. Im Rahmen dieser Forschungsarbeit lässt sich dieser Ansatz nicht realisieren. Daher erfolgt - aufbauend auf den Erfahrungen mit gerichteten Produktionssystemen - eine Zuordnung der eingesetzten Lean-Methoden zu den Anforderungen der Produktion. Die Grundstruktur der vorliegenden Arbeit ist in der Abbildung 11 dargestellt.

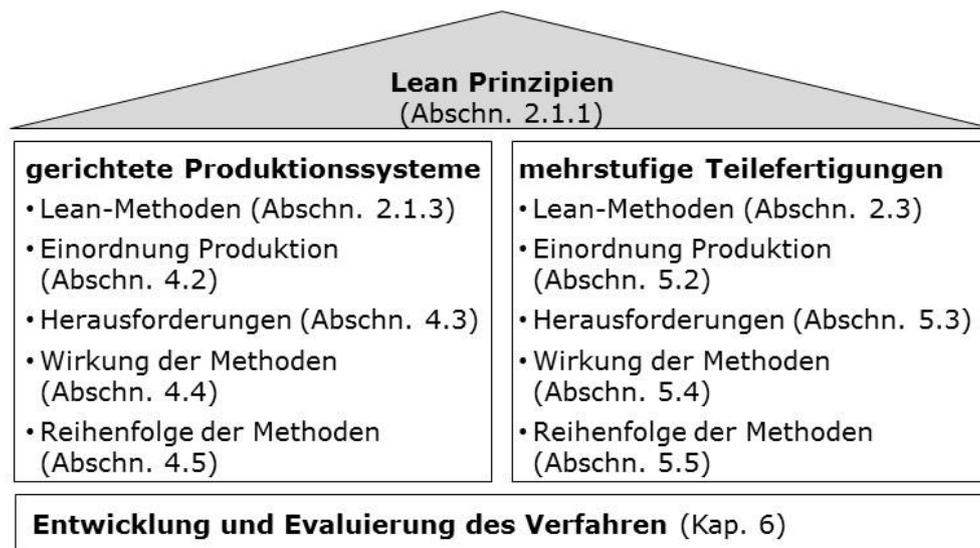


Abbildung 11: Aufbau der vorliegenden Arbeit

Die Abgrenzung der gerichteten Systeme gegenüber den mehrstufigen TF erfolgt auf der Grundlage der Elementartypen der Produktion (vgl. Abschnitt 3.2) nach Nebl (vgl. [Nebl 2001], S. 47 ff.). Für beide Formen der Produktion werden die Anforderungen der Fertigung ermittelt. Für die gerichteten Systeme werden Fallbeispiele aus Veröffentlichungen genutzt, deren Veränderungsprozesse bereits abgeschlossen sind und für die die Ausgangssituation, die Änderungen und die Wirkung der eingeführten Änderungen somit nachvollziehbar sind. Für diesen Produktionstyp wird ein Modell entwickelt, das im ersten Schritt die Ausgangssituation und im zweiten Schritt die Wirkung eines eingesetzten Methodenkatalogs erkennbar macht.

Ausgehend von den Erkenntnissen der Modellierung gerichteter Systeme, werden dann im Modell die Produktionszusammenhänge mehrstufiger TF abgebildet. Dabei sind unterschiedliche Anforderungen und Rahmenbedingungen (Elementartypen der Produktion) zu berücksichtigen. Ein Vergleich der Anforderungen in der Fertigung

gerichteter Produktionssysteme mit denen der mehrstufigen TF gibt Hinweise auf den erforderlichen Methodeneinsatz bzw. auf die Adaption von bekannten Methoden. Das Modell für die mehrstufige TF wird um die anzuwendenden Methoden erweitert. Vergleichbare Anforderungen sollten mit vergleichbaren Lean-Methoden behandelt werden. So soll sichergestellt werden, dass die ausgewählten Lean-Methoden für eine mehrstufige TF anwendbar sind und zu vergleichbaren Erfolgen führen, gemessen an den dokumentierten Ergebnissen gerichteter Systeme.

Die Lean-Methoden wirken innerhalb eines Produktionssystems in unterschiedliche Richtungen. Deshalb wird in einem Modell die qualitative Wirkung der eingesetzten Lean-Methoden mit Hilfe von Wirkungsketten dargestellt. Für die Modellierung wird der Ansatz Know-why nach Neumann gewählt (vgl. [Neumann 2007]; [Neumann 2009]; [Neumann 2010]). Mit diesem Ansatz können sowohl das Zusammenspiel mehrerer Methoden als auch eine zeitliche Verzögerung der Wirkung dargestellt werden (siehe Abschnitt 3.3).

Für einen eng eingegrenzten Produktionsfall wird aus den bekannten Methoden ein Verfahren für die mehrstufige TF gebildet. Die Recherchen zu Lean-Verfahren haben gezeigt, dass sich ein allgemeines Verfahren nicht angeben lässt, weil die Vielfältigkeit der Probleme ein seriöses allgemeines Verfahren ausschließt. Über die Festlegung der Ziele des Unternehmens - sowie einschließlich einer zu ermittelnden Ausgangssituation - wird mittels qualitativer Simulationen eine Methodenreihenfolge für eine mehrstufige TF ermittelt, welche sich in ein Gesamtverfahren einbettet. Die Evaluierung des Verfahrens erfolgt durch Expertenbefragung.

3.2 Elementartypen der Produktion

3.2.1 Einführung in die Elementartypen der Produktion

Die vorliegende Arbeit hat im Wesentlichen den Vergleich zwischen zwei unterschiedlichen Produktionssystemen zum Inhalt. Ein Vergleich erfordert stets die Darstellung von Gemeinsamkeiten und Unterschieden. Zur Ermittlung der Vergleichsmerkmale ist eine Charakterisierung gemäß einer Typologie hilfreich. Die Elementartypen der Produktion bieten die Möglichkeit, unterschiedlichste Produktionssituationen zu beschreiben: vom gerichteten Handwerksbetrieb, der aufgrund von Kundenbestellungen Möbelstücke produziert, bis zum Chemieunternehmen, das in aufwändigen Verfahren Rohöl zu Kunststoffgranulat umwandelt. Diese Typologie ist ein gutes Hilfsmittel, um die Komplexität der Produktionssysteme zu reduzieren und damit die relevanten Aspekte zu ermitteln (vgl. [Krycha 1996]). Die Charakterisierung eines Produktionssystems mit Hilfe der Elementartypen der Produktion hat sich in der Produktionswirtschaft durchgesetzt (vgl. hierzu [Nebl 2001], S. 47 ff.; [Krycha 1996]). Der Vergleich verschiedener Typologien zeigt, dass vergleichbare Merkmale und Merkmalsausprägungen genutzt werden. Die eingesetzte Grundstruktur ist immer die Betrachtung der Input-, der Throughput- und der Output-Faktoren. Die in dieser Arbeit verwendeten Merkmale zur Klassifizierung der Produktionssysteme sind in der Tabelle 6 dargestellt. Im Folgenden werden relevante Begriffsabgrenzungen und Definition für die vorliegende Arbeit angegeben. Im Abschnitt 3.2.2 wird gezeigt, wie die eingeführte Typologie in der weiteren Arbeit zum Einsatz kommt.

Tabelle 6: Produktionsprozess-Typisierung (vgl. [Nebi 2001], S. 47 ff.)

Input-orientierte Produktionsprozess-Typisierung						
Vorherrschender Einsatzfaktor	arbeitsintensiv	materialintensiv	informationsintensiv	betriebsmittelintensiv	energieintensiv	kapitalintensiv
Qualifikation der eingesetzten Arbeitskräfte	gelernt		angelernt		ungelernt	
Art der Verbrauchsfaktoren	Werkstoffe		Betriebsstoffe		Handelswaren	
Art der eingesetzten Maschinen	Spezialmaschinen			Universalmaschinen		
Throughput-orientierte Produktionsprozess-Typisierung						
Art der Stoffverwertung	durchgängig	synthetisch	analytisch		austauschend	
Mengenaspekt der Produktion	Einzelfertigung			Mehrfachfertigung		
	Einmalfertigung	Wiederhol-fertigung	Sorten-, Varianten-fertigung	Serien-fertigung	Massen-fertigung	
Prinzip der räumlichen Anordnung	Werkstattprinzip	Erzeugnis- (Gegenstands-) Prinzip		Gruppenprinzip	Reihenprinzip	Einzelplatzprinzip
Prinzip des zeitlichen Ablaufs des Produktionsprozesses	ohne Teileweitergabe	mit Teileweitergabe				
		Reihenverlauf		Parallelverlauf	kombinierter Verlauf	
Grad der Mechanisierung/ Automatisierung	Handprozess	mechanisierter Prozess	Maschinenprozess	teilautomatisierter Prozess	vollautomatisierter Prozess	
Grundform industrieller Produktionsprozesse	stoffgewinnende Prozesse		stoffumwandelnde Prozesse		stoffverformende Prozesse	
Arbeitsteilung	einstufiger Prozess		mehrstufiger Prozess arbeitsteilig einfach arbeitsteilig kompliziert			
Art der Bearbeitungsfolge	gleiche technologische Bearbeitungsfolge für alle Teile einer Klasse			variierende technologische Bearbeitungsreihenfolge der Teile einer Klasse		
	ohne Überspringen von Arbeitsplätzen	mit Überspringen von Arbeitsplätzen				
kinematisches Verhalten der Elementarfaktoren im Produktionsprozess	Arbeitskräfte		Betriebsmittel		Werkstoffe	
	stationär	in-stationär	stationär	in-stationär	stationär	in-stationär
Fertigungstiefe	Teilefertigung = Eigenfertigung		Baugruppenmontage = Eigenfertigung		Endmontage = Eigenfertigung	

Output-orientierte Produktionsprozess-Typisierung					
Art der Produktionsauslösung	Auftragsproduktion (Bestellproduktion)		Vorratsproduktion		
	Einzelbestellung	Rahmenvertrag			
Produktdiversifikation	keine Varianten		mittlere Variantenanzahl	hohe Variantenanzahl	
Zusammensetzung der Produkte	einteilige Produkte		mehrteilige Produkte		
Produkt-eigenschaften	Materialität der Güter		Gestalt der Güter		Art der Güterverwendung
	materielle Güter	immaterielle Güter (Leistungen)	Fließgüter	Stückgüter	Produktions- (Investitions-) Güter Konsumgüter

Hinsichtlich der räumlichen Anordnung der Maschinen werden zwei Grundrichtungen unterschieden: anlagenorientiert und produktorientiert. Die anlagenorientierte Form der Maschinenanordnung wird als Werkstattprinzip (siehe auch die Abbildung 12) bezeichnet. „Das Werkstattprinzip (Verfahrensprinzip) ist dadurch gekennzeichnet, dass alle Betriebsmittel, die zum selben Fertigungsverfahren gehören, in einer Werkstatt räumlich zusammengefasst werden.“ (vgl. [Neb1 2001], S. 312).

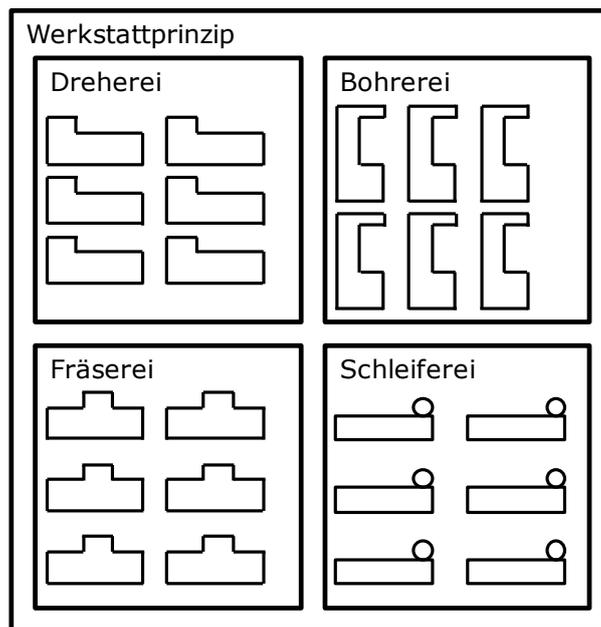


Abbildung 12: Werkstattprinzip
(vgl. [Neb1 2010], S. 313)

Die produktorientierten Formen der Maschinenanordnung einer Fertigung zeichnen sich durch ihre konsequente Ausrichtung auf den Fertigungsprozess aus: Gruppenprinzip, Reihenprinzip oder Einzelplatzprinzip. „Das Gruppenprinzip (Nestprinzip) ist dadurch gekennzeichnet, dass Betriebsmittel, die zur Herstellung eines begrenzten Teilesortiments erforderlich sind, räumlich zusammengefasst werden. Dabei ist die räumliche Nähe der Betriebsmittel von größerer Bedeutung als die Art ihrer Anordnung“ (vgl. [Neb1 2001], S. 313). Das Gruppenprinzip (vgl. Abbildung 13) ist eine Zwischenform von Werkstattprinzip und Reihenprinzip. Der Vorteil des Gruppenprinzips liegt in den reduzierten Aufwendungen für einen Werkstattwechsel, der in der Regel mit Logistikaktivitäten und Produktionssteuerungs-Aufwendungen verbunden ist. Die Teile werden innerhalb der Gruppe fertiggestellt.

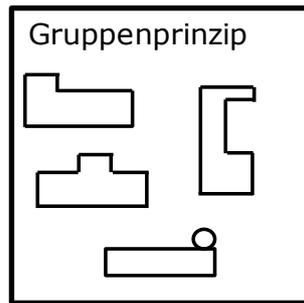


Abbildung 13: Gruppenprinzip
(vgl. [Nebl 2001], S. 314)

„Das Reihenprinzip ist dadurch gekennzeichnet, dass alle Betriebsmittel, die zur Herstellung eines kleinen Teilesortiments erforderlich sind, räumlich zusammengefasst und in der für alle Teile übereinstimmenden Reihenfolge der Bearbeitung angeordnet sind.“ (vgl. [Nebl 2001], S. 314). Der größte Vorteil des Reihenprinzips besteht in der Möglichkeit, die Durchlaufzeiten und die Wartezeiten auf ein Minimum zu reduzieren, da alle Teile die gleiche technologische Abfolge durchlaufen. Insbesondere unterschiedliche Bearbeitungszeiten auf den Anlagen können zu Wartezeiten und zu verlängerten Durchlaufzeiten führen. Das Reihenprinzip ist in der Abbildung 14 dargestellt.

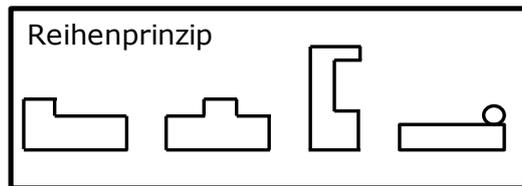


Abbildung 14: Reihenprinzip
(vgl. [Nebl 2001], S. 315)

Das Einzelplatzprinzip ist eine Steigerung des Reihenprinzips. „Das Einzelplatzprinzip ist dadurch gekennzeichnet, dass durch die Integration verschiedener Fertigungsverfahren in einer Maschine eine weitgehende Fertigbearbeitung eines Einzelteils realisiert wird, ohne dass eine Ortsveränderung des Teiles erfolgt.“ (vgl. [Nebl 2001], S. 315).

Das Prinzip des zeitlichen Ablaufs des Produktionsprozesses beschreibt, wie die Aufträge in der Fertigung von einem zum nächsten technologischen Bearbeitungsschritt weitergegeben werden. Es gibt zwei grundsätzlich unterschiedliche Formen: mit Weitergabe und ohne Weitergabe. Ein Produktionsprozess ohne Teileweitergabe basiert auf der Möglichkeit, alle erforderlichen Schritte an einem Arbeitsplatz durchführen zu können.

Die Produktionsprozesse mit Teileweitergabe werden unterschieden in die Formen: Reihenverlauf, Parallelverlauf und kombinierter Verlauf. „Der Reihenverlauf ist durch die Weitergabe kompletter Lose von einem zum nächsten Arbeitsplatz gekennzeichnet.“ Die Funktionsweise des Reihenverlaufs ist in der Abbildung 15 dargestellt.

Der Parallelverlauf ist das genaue Gegenteil des Reihenverlaufs. Die Teile werden sofort zum Folgearbeitsplatz weitergegeben. Aufgrund der höheren Transportfrequenz wird dieses Prinzip häufig in Kombination mit einem räumlichen Prinzip realisiert, bei dem die entsprechenden Anlagen räumlich zueinander angeordnet sind. Beim Parallelverlauf kann es bei stark unterschiedlichen Bearbeitungszeiten auf den Anlagen zu Wartezeiten der Maschinen bzw. zu Liegezeiten der Teile kommen (vgl. hierzu [Nebl 2001], S. 327 f.).

Die Vor- und Nachteile des Parallelverlaufs werden durch einen Vergleich der Abbildungen 15 und 16 schnell ersichtlich. Der Parallelverlauf ermöglicht eine kürzere Gesamtdurchlaufzeit. Allerdings können bei einer entsprechenden Konstellation der Bearbeitungszeiten Wartezeiten sowohl für Maschinen als auch für die Teile entstehen.

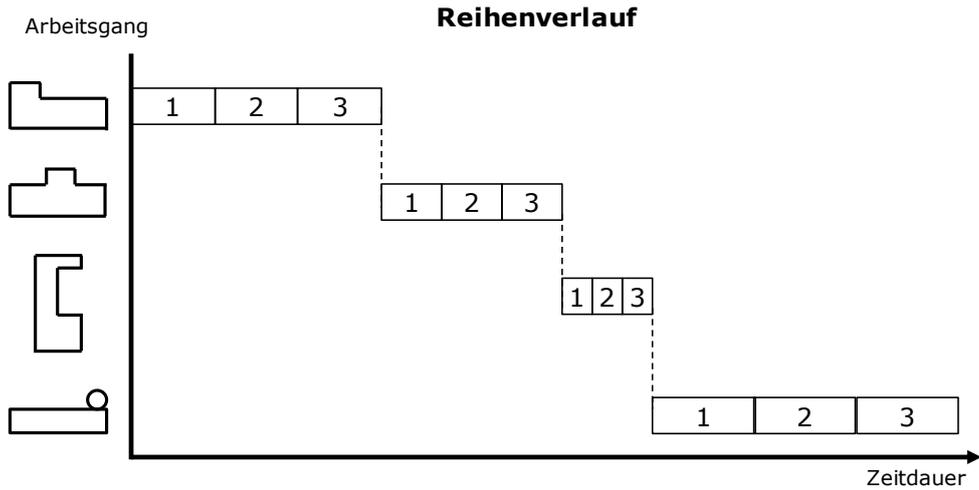


Abbildung 15: Reihenverlauf (vgl. [Nebi 2001], S. 325)

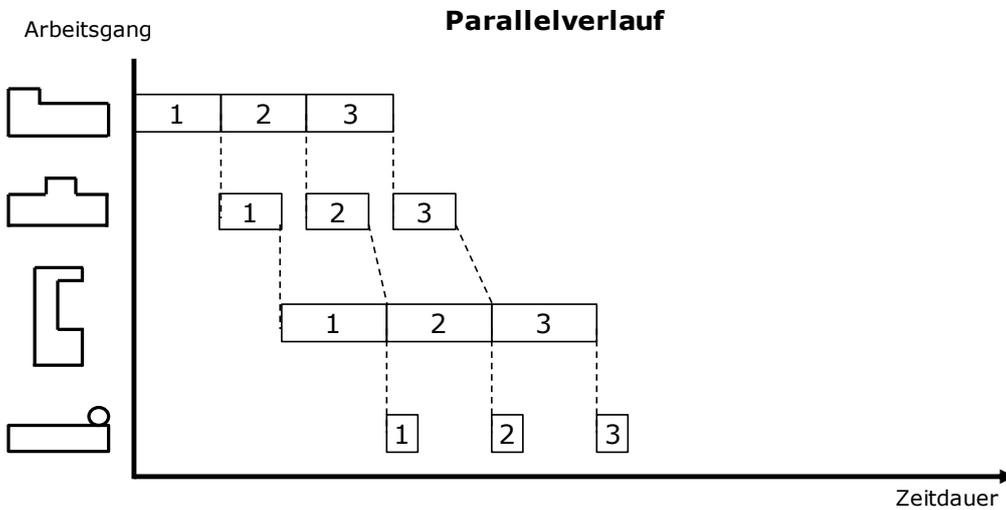


Abbildung 16: Parallelverlauf (vgl. [Nebi 2001], S. 328)

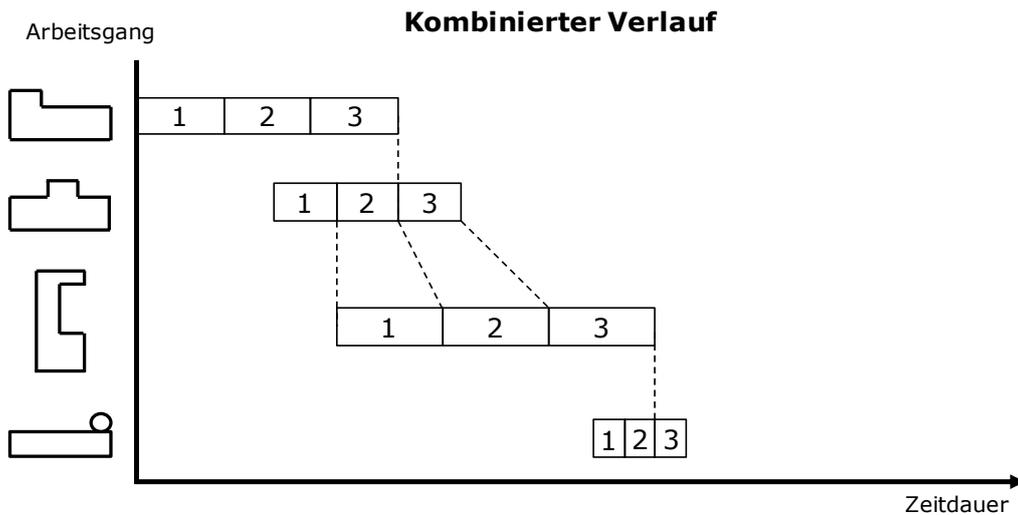


Abbildung 17: Kombiniertes Verfahren (vgl. [Nebi 2001], S. 331)

Der kombinierte Verlauf ist eine Zwischenform von Parallel- und Reihenverlauf. Der kombinierte Verlauf verfolgt das Ziel, die Wartezeiten für die Maschinen zwischen der Bearbeitung einzelner Teile zu eliminieren. Liegezeiten für die Teile werden dagegen akzeptiert. Die Funktionsweise des kombinierten Verlaufs ist in der Abbildung 17

dargestellt. Auch hier zeigt sich beim Vergleich der Abbildungen 15 und 17, dass eine Verkürzung der gesamten Durchlaufzeit möglich ist.

Die Arbeitsteilung gibt an, mit wie vielen Schritten ein Erzeugnis in der Produktion entsteht. Einstufige Prozesse liegen dann vor, wenn das Endprodukt in einem einzigen Arbeitsgang fertiggestellt wird. Bei mehrstufigen Prozessen sind mehrere Arbeitsschritte - also eine Arbeitsgangfolge - erforderlich. Als arbeitsteilig einfach wird ein mehrstufiger Prozess dann bezeichnet, wenn es sich um ein Einzelteil handelt. Werden viele verschiedene Teile gefertigt, zu einer Baugruppe montiert und in einer Endmontage komplettiert, dann liegt ein arbeitsteilig komplizierter Prozess vor.

Die Fertigungszelle ist demnach eine Kombination aus dem Reihenprinzip und einem Reihenverlauf, einem Parallelverlauf oder einem kombinierten Verlauf, je nachdem, wie sie betrieben wird.

3.2.2 Nutzen und Anwendung

In der vorliegenden Arbeit werden die Elementartypen der Produktion aus verschiedenen Gründen verwendet. Sie ermöglichen zum einen eine klare Abgrenzung der gerichteten Produktionssysteme von den mehrstufigen TF. Durch die Charakterisierung der beiden Produktionsformen mit Hilfe der eingeführten Typologie sollen Unterschiede und Gemeinsamkeiten aufgezeigt werden. Der durch die Charakterisierung der Produktionsformen ermöglichte Vergleich soll im weiteren Verlauf der Arbeit die Auswahl der geeigneten Lean-Methoden ermöglichen. Die Hauptidee ist dabei, dass bei gleichen Merkmalsausprägungen gleiche bzw. ähnliche Methodenansätze möglich sind. Schließlich werden mit der Einführung von Lean-Methoden Produktionssysteme in ihrer Struktur und in ihrem Aufbau verändert. Diese Veränderungen sollten sich mit Hilfe der Elementartypen der Produktion darstellen lassen. Schließlich soll der Anwender der Lean-Methoden zunächst den eigenen Praxisfall einordnen, um sicher zu gehen, dass die Anwendung dedizierter Lean-Methoden zum Erfolg führt.

3.3 Ereignis-Wirkung-Ketten

3.3.1 Methodenauswahl für die Wirkungsdarstellung der ausgewählten Methoden

Die Einführung von Lean-Methoden in einer Produktionssituation führt zu den unterschiedlichsten Wirkungen. Die Beschreibung der Lean-Methoden in den Abschnitten 2.1.3 und 2.3.1 hat gezeigt, dass sich die Auswirkungen dieser Methoden an den unterschiedlichsten Punkten des Produktionssystems bemerkbar machen können. Ein Produktionssystem besitzt eine umfangreiche Struktur und hat ein kompliziertes Verhalten. Das zeigt sich schon allein an dem umfangreichen Merkmalsatz, der erforderlich ist, um ein Produktionssystem zu beschreiben (siehe hierzu Abschnitt 3.2.1). Weiterhin ändern sich Produktionssysteme ständig mit der Zeit, da die Systemelemente einer Produktion - Menschen, Anlagen und Aufträge - ständig neue Formen annehmen können. Das Produktionssystem weist ein Verhalten auf, das auf eine dem System innewohnende Eigendynamik zurückzuführen ist. Demzufolge kann von einem komplexen System gesprochen werden (vgl. hierzu die Definition der Komplexität eines Systems von [Matthies 2002], S. 12-13).

Mit der Einführung einer Schlanke Fertigung wird nicht nur eine einzelne Methode das bestehende Produktionssystem verändern, sondern es werden mehrere Methoden gezielt nacheinander oder sogar zeitgleich eingesetzt. Es stellt sich die Frage, zu welchen Ergebnissen die einzelnen Methoden mit ihren unterschiedlichen Wirkungsrichtungen führen werden. Außerdem stellt sich die Frage, ob es Bereiche im Produktionssystem gibt, die vergessen wurden, sodass sich im gesamten Veränderungsprozess wesentliche Defizite

ergeben, die zuvor unentdeckt geblieben sind. Schließlich ist zu klären, ob nicht sogar unerwünschte negative Effekte auftreten können.

Für die Darstellung der Wirkungen der eingesetzten Lean-Methoden bei gerichteten Systemen - aber auch bei einer mehrstufigen TF - ist ein Werkzeug erforderlich, das die folgenden Anforderungen erfüllt:

1. Beschreibung mehrerer Wirkungspfade - sowohl direkt als auch indirekt - über mehrere Stufen hinweg,
2. Beschreibung mehrerer Veränderungen zeitgleich in einem komplexen Wirkungsgefüge verschiedener mehrfach miteinander verbundener Faktoren,
3. Unterstützung der Modellierungsaktivitäten durch eine geeignete Software,
4. Darstellung der Ausgangssituation und Aufzeigen mindestens einer qualitativen Veränderung im Produktionssystem und
5. einfache Beschreibung unterschiedlicher Ausgangssituationen je nach Fortschritt des jeweiligen Produktionssystems im Veränderungsprozess.

Eine Recherche nach Werkzeugen, die diese Anforderungen erfüllen, führt zu drei Alternativen, die im Folgenden vorgestellt werden: das Sensitivitätsmodell nach Vester, das Systemmodell und die Know-why-Methode.

Das Sensitivitätsmodell nach Vester

Vesters Ziel war es, eine Vorgehensweise zu entwickeln, die es anstelle einer linearen Ursache-Wirkung-Beziehung ermöglicht, Wirkungsweisen in komplexen Konstrukten zu beschreiben. Von Sensitivität wird in diesem Zusammenhang deshalb gesprochen, weil das Verfahren schon die geringsten Wirkungen auf interne bzw. externe Einflüsse innerhalb des Systems sichtbar macht. Dem Anwender zeigt das Sensitivitätsmodell die Wirkungsflüsse auf, sodass eine gezielte Beeinflussung möglich wird. Das Systemverhalten kann mit Hilfe von Simulationen untersucht werden (vgl. [Vester 2000], S. 157-159).

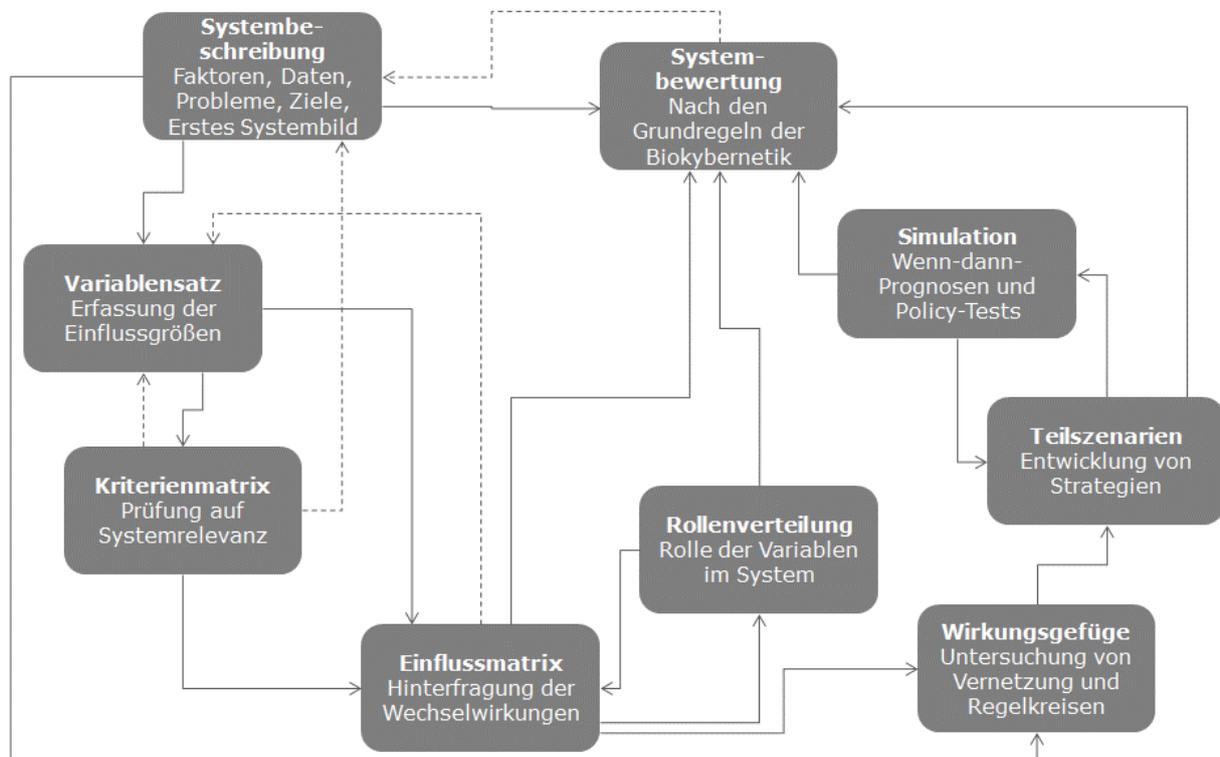


Abbildung 18: Die iterative Aufbaustruktur des Sensitivitätsmodells (vgl. [Vester 2000], S. 169)

Vester gibt vor, dass ein Modell in neun Schritten zu entwickeln ist (siehe die Abbildung 18). Am Anfang stehen eine klare Beschreibung der Ziele und eine daran ausgerichtete

Beschreibung des Systems. Dabei werden bereits alle wichtigen Kenngrößen, Statistiken, Einflussgrößen u.v.a.m. gesammelt, die für die Beschreibung des Systemverhaltens relevant sind. Im zweiten Schritt werden die wesentlichen Schlüsseldaten und Einflussfaktoren bezüglich des Systemverhaltens aus diesem Material herausgefiltert. Bei diesem Modellansatz werden sowohl qualitative als auch quantitative Faktoren berücksichtigt. Anschließend werden die ermittelten Daten und Faktoren einer Prüfung auf Systemrelevanz unterzogen. Dafür hat Vester verschiedene Kriterien und Kriterienklassen entwickelt: Lebensbereich (Beteiligte, Tätigkeiten, Raum usw.), physikalische Grundkriterien (Materie, Energie, Information), dynamische Grundkriterien (Fluss, Struktur, Zeit und Raum) sowie die Systembeziehungen (Input, Output, intern bzw. extern steuerbare Größe). Durch die Kriterienklassen soll sichergestellt werden, dass kein Aspekt vergessen oder unterdrückt wird, wobei jedoch die Anzahl der Systemkomponenten zwischen 20 und 30 liegen soll. Im vierten Schritt werden die Wechselwirkungen zwischen den Komponenten in Form einer Einflussmatrix angegeben. Jede Variablenkombination wird hinsichtlich ihrer Wechselwirkung und deren Wirkungsstärke untersucht. Diese Untersuchung gibt Hinweise auf das Verhalten der Variablen des Systems. Den Variablen werden Eigenschaften - wie aktiv, passiv, kritisch oder puffernd - zugeordnet. Im sechsten Schritt wird die Gesamtvernetzung des Systems untersucht. Es werden kleine Regelkreise im System erkannt, um die Auswirkungen von Änderungen besser zu verstehen. Im Schritt „Kybernetik einzelner Szenarien“ wird das System durch Wenn-dann-Prognosen von Systemteilen im Detail analysiert. Dadurch werden Tendenzen, Grenzwerte und Reaktionen der ermittelten Regelkreise bestimmt. Schließlich soll eine Simulation auf der Basis der „Fuzzy-Logik“ verschiedene Szenarien untersuchen, die Trends im Systemverhalten aufzeigen. Der letzte Schritt des Vorgehens betrifft die Systembewertung und die Strategieauswahl (vgl. [Vester 2000], S. 160-208).

Es wird empfohlen, den Ansatz nach Vester mittels einer speziell dafür entwickelten Software zu implementieren. Trotz mehrfacher Nachfragen und Kontaktversuchen war es nicht möglich, diese Software zu erwerben oder zu testen.

Systemmodell

„Die Systemwissenschaft untersucht die Zusammenhänge und Wechselwirkungen in (dynamischen) Systemen, um zu einem besseren Verständnis des Verhaltens zu gelangen.“ (siehe [Matthies 2002], S. 3).

Matthies definiert ein System als ein Konstrukt, das aus verschiedenen Teilen besteht, die zueinander in Beziehung stehen. In weiteren Ausführungen erläutert er, dass es im Ermessen des Betrachters liegt, was er als System betrachtet. Dabei empfiehlt er, die Systemgrenze so zu wählen, dass Größen außerhalb des Systems nur einen relativ geringen Einfluss auf das Systemverhalten haben. Bei der Beschreibung von Systemen wird zwischen der Struktur bzw. dem Systemaufbau und dem Systemverhalten unterschieden. Bei Systemen mit einem komplexen Verhalten gibt es mindestens eine Wechselwirkung zwischen den Systemelementen und mindestens einen Rückkopplungskreis. Solche Systeme zeigen ein Verhalten, das eher auf eine Eigendynamik als auf äußere Einflüsse zurückzuführen ist. Um das Verhalten eines Systems erklären zu können, wird seine Wirkungsstruktur durch Systemmodelle beschrieben (vgl. [Matthies 2002], S. 13, 35).

Die Abbildung 19 zeigt das grundsätzliche Vorgehen beim Erstellen eines Systemmodells nach Matthies. Die Problembeschreibung und der Modellzweck bilden den Ausgangspunkt der Modellierung. Es wird großer Wert auf die quantitative Wirkungsanalyse gelegt.

Auf die Problembeschreibung folgt die Entwicklung des Wortmodells. Dabei werden einzelne „Wenn-dann-Beziehungen“ formuliert. Diese werden in einen Wirkungsgraphen überführt, der das generische Systemverhalten widerspiegelt. Die Systemelemente werden aus dem Wortmodell heraus ermittelt. An dieser Stelle empfiehlt sich eine kritische Prüfung, welche Elemente Strukturen abbilden und welche Elemente Eingriffe für die Steuerung bzw. Kontrolle des Systemverhaltens darstellen. In Anlehnung an die

Graphentheorie werden die Systemgrößen als Knoten und ihre Beziehungen als Kanten dargestellt. Das Wirkungsdiagramm hat einen qualitativen Charakter; es wird auf der Grundlage des Wortmodells erstellt. Im nächsten Schritt werden die Verbindungen quantifiziert, und es wird ein Flussdiagramm als Grundlage für die nachfolgende Simulation erstellt.

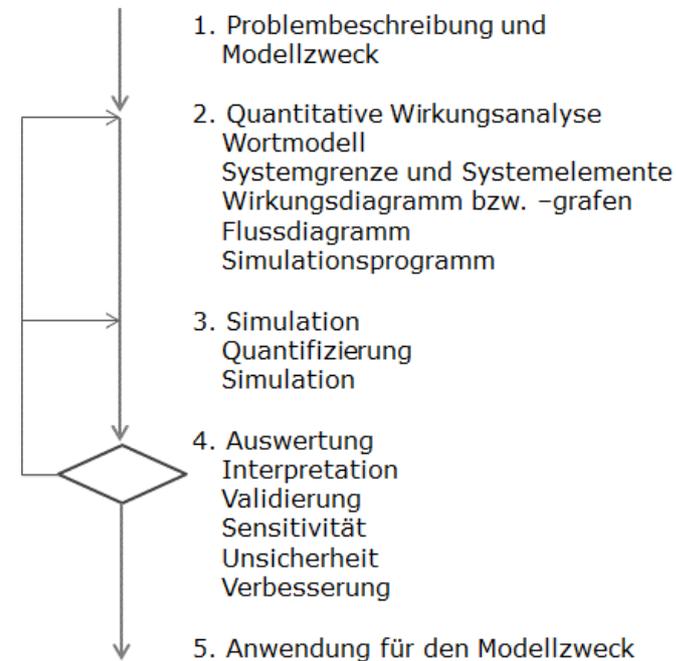


Abbildung 19: Schritte der Modellerstellung
(vgl. [Matthies 2002], S. 36)

Die Abbildung 20 zeigt den grundsätzlichen Aufbau eines Systemmodells. Es wird zwischen Zustandsgrößen (rechteckige Symbole), Zwischengrößen (kreisförmige Symbole) und Parametern (Rauten) unterschieden. Die Zustandsgrößen beschreiben zu jedem Zeitpunkt vollständig den Systemzustand. Die Parameter sind von außen vorgegebene Größen, die vom System unabhängig sind und die nicht durch das System beeinflusst werden können. Die Zwischengrößen sind Hilfsgrößen; sie lassen sich aus den Zustandsgrößen bzw. Parametern berechnen (vgl. [Matthies 2002], S. 9, 15-35).

Matthies unterscheidet zwei grundlegende Modelltypen: elementare Wachstumsmodelle und kontinuierliche Systemmodelle. Komplexe Modelle lassen sich in Submodelle untergliedern. Die kleinste Einheit eines Submodells besteht aus allen Zwischengrößen und Parameter, die sich einer Zustandsgröße zuordnen lassen. Jedes elementare Submodell lässt sich einer bestimmten Wachstumsfunktion zuweisen. Kontinuierliche Systemmodelle sind Kombinationen aus mehreren elementaren Wachstumsmodellen, die über mindestens eine Rückkopplung einer Zustandsgröße verfügen und die die Entwicklung des Systems beschreiben (vgl. [Matthies 2002], S. 36-59).

Als Software für die Simulation der Reaktionen des Systems auf das Zusammentreffen unterschiedlicher Einflussfaktoren wird Powersim empfohlen. Der Hauptansatz des Verfahrens besteht schließlich darin, eine Simulation durchzuführen. Das setzt entsprechende Daten und Funktionen voraus. Die Möglichkeiten der Software sind sehr umfangreich.

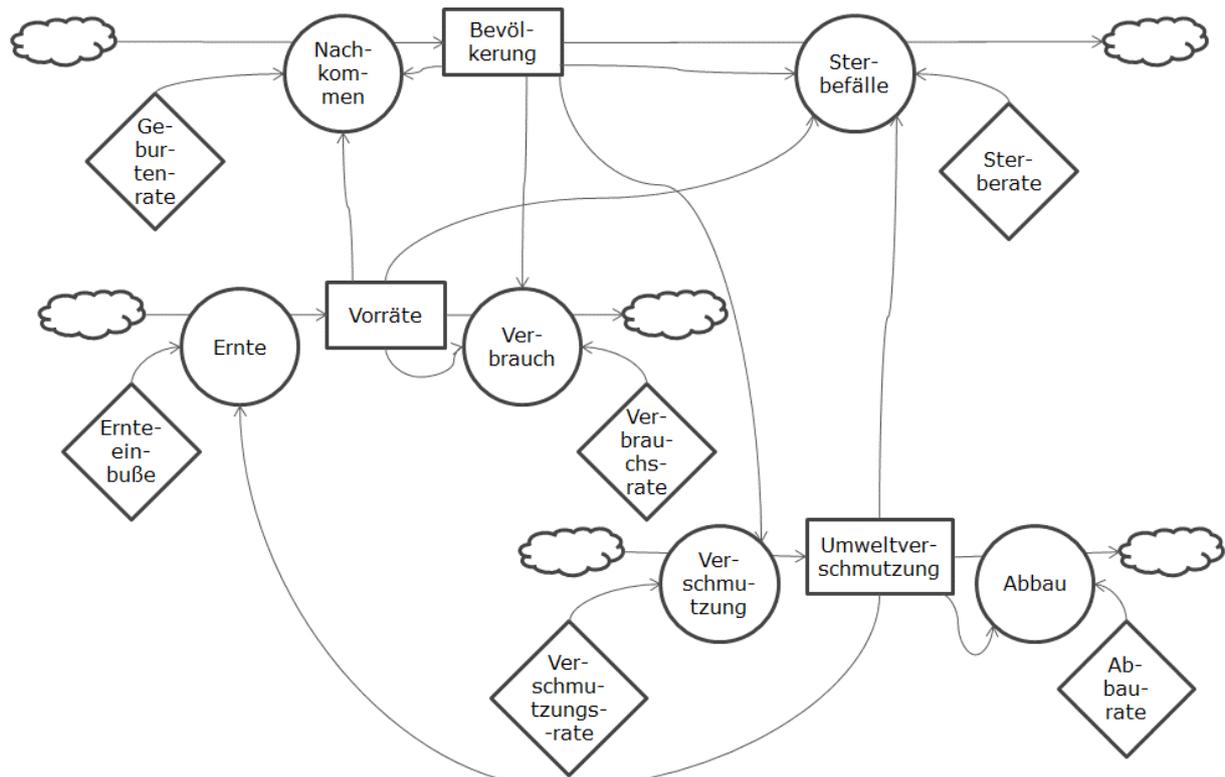


Abbildung 20: Beispiel eines Flussmodells für das Systemmodell einer Bevölkerungsentwicklung (vgl. [Matthies 2002], S. 59)

Know-why-Methode

Der Begründer der Know-why-Methode ist Kai Neumann (vgl. [Neumann 2009]). Neumann ist der Autor mehrerer Veröffentlichungen zu dieser Methode, zur Erstellung von Modellen und zur Anwendung einer Simulations-Software, die von der Firma Consideo Modeler⁹ (CM) in enger Verbindung mit dem Autor der Methode entwickelt wurde. Die Grundlage für diese Methode bildet der Know-why-Denkansatz.

Neumann geht davon aus, dass in vorgegebenen Strukturen Ursache-Wirkung-Zusammenhänge vorliegen. Die Faktoren, die in Ursache-Wirkung-Zusammenhänge eingebettet sind, liegen in Hierarchien vor und haben ein grundsätzliches Bestreben nach Integration und Weiterentwicklung. Dabei entsteht ein Spannungsfeld zwischen Integration und Weiterentwicklung. Weiterentwicklung ist erforderlich, um erfolgreich zu bleiben. Erfolg ist aber nur dann gegeben, wenn eine ausreichende Integration erfolgt. Ein Beispiel für eine übertriebene Integration ist das heutige Fahren von Oldtimern, was nach dem gegenwärtigen Stand der Technik wegen des geringen Wirkungsgrads des Motors und wegen der umweltbelastenden Antriebstechnik nicht mehr zeitgemäß ist. Ein Beispiel für eine übertriebene Weiterentwicklung ist das vor einigen Jahren von BMW vorgestellte I-Drive-System. Nur wenige Nutzer waren in der Lage, diese Neuerung zu bedienen. Ein gutes Beispiel für eine gelungene Integration und Weiterentwicklung ist der Rover-Mini, der mit seinem klassischen Design und seiner modernen Antriebstechnik beide Anforderungen erfüllt (vgl. hierzu [Neumann 2009], S. 14-18).

Für die Erstellung von Ursache-Wirkung-Zusammenhängen ist die Auswahl eines hinreichend großen Ausschnitts der Realität erforderlich. Eine zu starke Reduktion führt dazu, dass Wirkungsschleifen nicht mehr - oder nicht vollständig - im gewählten Ausschnitt liegen und somit Folgen von Entscheidungen ausgeklammert werden, die sich im weiteren

⁹ Consideo Modeler ist eine von der Firma Consideo angebotene Software. Kai Neumann ist seit 2004 Gesellschafter der Unternehmung.

Zeitverlauf ändern. So kann es in der Realität zu überraschenden Reaktionen kommen, die sich mit Hilfe des Modells nicht darstellen lassen.

[Neumann2009] (siehe S. 23) weist darauf hin, dass Menschen Rückwirkungen oder zeitgleiche Wirkungen an unterschiedlichen Punkten des Systems sowie mehr als drei oder vier zusammenspielende Faktoren nicht mehr gleichzeitig erfassen und verarbeiten können. Die Entwicklung von Modellen zur Darstellung von Ursache-Wirkung-Zusammenhängen ist demnach für die vorliegende Arbeit unumgänglich.

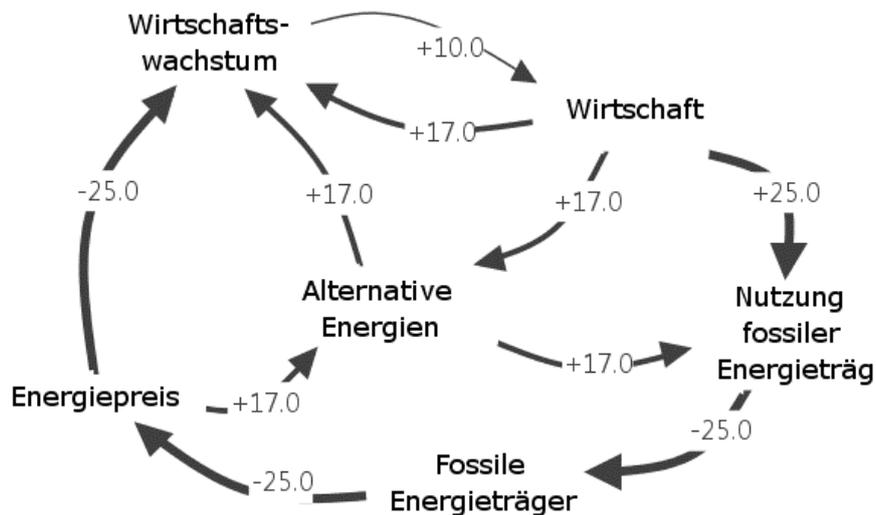


Abbildung 21: Beispielmodell zur Auswirkung alternativer Energien auf das Wirtschaftswachstum (vgl. [Neumann 2009], S. 26)

Die Abbildung 21 stellt in einem einfachen, nach der Know-why-Methode erstellten Modell den Zusammenhang zwischen dem Wirtschaftswachstum und den alternativen Energien dar. Augenfällig ist dabei, dass sämtliche Faktoren direkt oder indirekt miteinander verbunden sind. Die Abbildung 22 zeigt die aus dem Modell abgeleiteten Wirkungsketten. Der Faktor „alternative Energie“ hat zwei Wirkungsrichtungen, die beide beim Faktor „Wirtschaftswachstum“ enden.

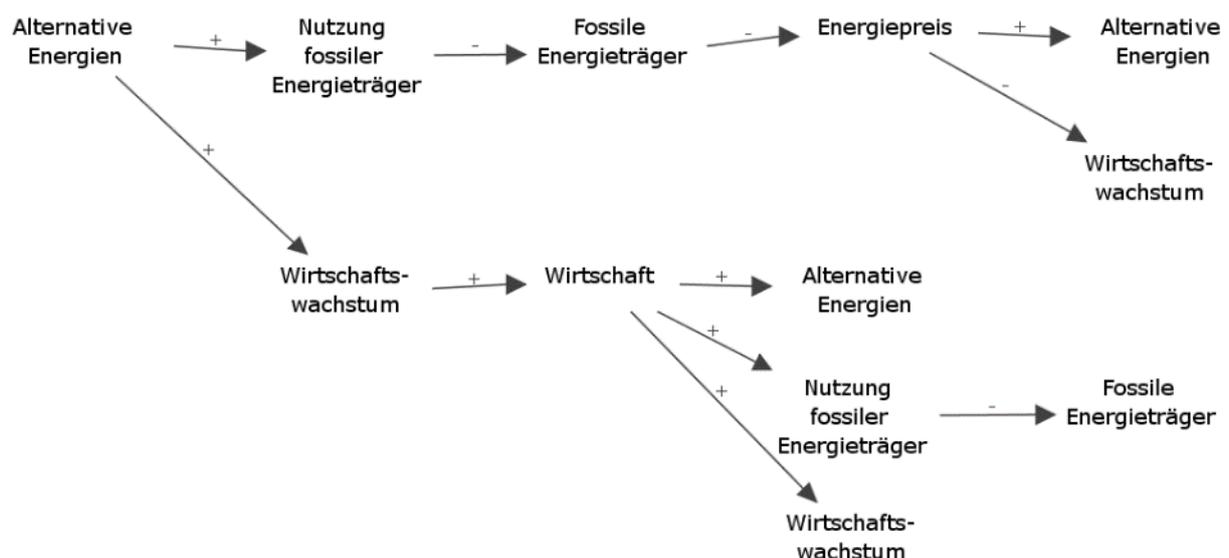


Abbildung 22: Wirkungskette für den Faktor „Alternative Energien“ zum Beispielmodell (vgl. [Neumann 2009], S. 27)

Die von [Neumann 2013] empfohlene Vorgehensweise ist einfach, nachvollziehbar und kann ohne tiefgehendes Grundlagenwissen intuitiv befolgt werden. Die Handlungspunkte sind:

1. Sammeln der Faktoren,
2. Sammeln der Kriterien zur Integration bzw. Weiterentwicklung der Faktoren,
3. Verbinden der Kriterien und Faktoren,
4. qualitative Gewichtung der Verbindungen,
5. Simulation und
6. Analyse und Interpretation des Simulationsergebnisses.

Das Sammeln der Faktoren kann einfach im Brainstorming an einer Metaplantafel erfolgen, ohne bereits nach Verbindungen zwischen den Faktoren zu suchen. Das Sammeln der Kriterien erfolgt im Hinblick auf die Integration und Weiterentwicklung der Faktoren. [Neumann 2013] empfiehlt zu diesem Zweck vier bewährte Fragen: „Was führt direkt zu mehr von diesem Faktor? Was führt direkt zu weniger von diesem Faktor? Was kann möglicherweise in Zukunft zu mehr von diesem Faktor führen? Was kann möglicherweise in Zukunft zu weniger von diesem Faktor führen?“ Beim Verbinden der Kriterien und Faktoren untereinander empfiehlt es sich bei unübersichtlichen Modellen mit vielen Variablen, Submodelle zu bilden. Gibt es am Ende von Phase drei noch Kriterien ohne Faktoren oder umgekehrt, dann sind diese Variablen für das Modell nicht erforderlich und können eliminiert werden. Die qualitativen Gewichtungen der Verbindungen beschreiben die positiven bzw. negativen Wirkungen. Liegen nur marginale Wirkungsstärken vor, dann empfiehlt Neumann, sie im Interesse der Übersichtlichkeit des Modells zu eliminieren. Durch die Prüfung mittels der Erkenntnismatrix erfolgt ein Plausibilitätscheck. Außerdem kann über die Beschreibung der Ursache-Wirkung-Ketten eine Modellprüfung erfolgen. Beide Prüfungen werden durch die Software CM unterstützt. Die Faktoren und Kriterien können im Modell mit Hilfe von Funktionen bestimmt werden. Dies ist für Simulationen auf der Grundlage des Modells erforderlich. Kriterien haben Ausgangswerte oder hinterlegte Wertereihen. Faktoren werden durch Funktionen aus Kriterien und anderen Faktoren bestimmt.

Der eigentliche Nutzen der Know-why-Methode tritt erst durch die Anwendung der Software CM ein. Durch sie wird die Erstellung und Auswertung von Ursache-Wirkungs-Modellen komfortabel und einfach.

3.3.2 Nutzen der Methoden zur Wirkungsdarstellung

Die im Abschnitt 3.3.1 beschriebenen Ansätze betreffen alle die Darstellung von Wirkungszusammenhängen in Form von Modellen. Dabei gehen alle Autoren von einer direkten oder indirekten Zusammenwirkung der Faktoren über Wirkungsketten aus. Weiterhin ist die Darstellung mehrerer Wirkungen zum selben Zeitpunkt möglich. Auf der Grundlage der formulierten Anforderungen an die auszuwählende Methode gibt die Tabelle 7 eine Bewertung der vorgestellten Ansätze. Demnach kommen nur das Systemmodell und die Know-why-Methode in die enge Wahl.

Das Sensitivitätsmodell nach Vester setzt die Erstellung eines realistischen Modells voraus, das die geplanten Veränderungen beschreibt. Das Modell ist stark auf einen speziellen Fall zugeschnitten. Eine Verallgemeinerung ist mit diesem Ansatz nur schwer möglich: Sie würde für jeden Praxisfall eine neue Modellierung erforderlich machen. Diese Form der Modellierung ist außerdem sehr aufwändig, da viele Interessengruppen eingebunden werden müssen. Typische Anwendungsfälle sind - wie auch von Vester erwähnt - Infrastrukturprojekte, Großprojekte im Land- und Wegebau, Umweltprojekte und ähnliches.

Aufgrund der in der Tabelle 7 angegebenen Bewertung eignet sich das Systemmodell genauso gut wie die Know-why-Methode. Das Systemmodell beruht auf einer Simulation und auf den sich daraus ergebenden Erkenntnissen. Eine rein qualitative Untersuchung ist

aber möglich. Die Erstellung eines solchen Modells und seine Auswertung sind jedoch aufwändig und setzen beim Anwender viel Erfahrung voraus. Die Know-why-Methode bietet mit einer intuitiv bedienbaren Software einen einfachen Einstieg in die Modellierung von Ursache-Wirkung-Zusammenhängen. Die Investitionskosten liegen für den Anwender bei einem Drittel derer von Powersim. Die Unterstützung bei der Modellierung komplexer Zusammenhänge ist im deutschsprachigen Raum ausgezeichnet. Die Simulation ist einfach gestaltet. Es sind keine umfangreichen Modellierungserfahrungen erforderlich.

Tabelle 7: Bewertung der Methodenansätze

Kriterien¹⁰	1	2	3	4	5
Ansatz					
Sensitivitätsmodell nach Vester	✓	✓	✗	✓	✗
Systemmodell	✓	✓	✓	✓	✓
Know-why-Methode	✓	✓	✓	✓	✓

Im weiteren Verlauf der vorliegenden Arbeit wird mit der Know-why-Methode von Neumann gearbeitet. Die verwendete Software ist CM, die sich direkt an der Know-why-Methode orientiert. Die Rahmenbedingungen und die detaillierte Anwendung der Software werden im nächsten Abschnitt beschrieben.

3.3.3 Anwendung in der Arbeit

In der vorliegenden Arbeit wird die Know-why-Methode eingesetzt, um die Wirkungsweisen der Lean-Methoden in einem Produktionssystem zu ermitteln. Dabei werden zwei grundsätzlich verschiedene Modelle erstellt. Abgeleitet aus den Elementartypen der Produktion, werden ein Modell für das Wirkungsgefüge eines gerichteten Systems und ein Modell für eine mehrstufige TF erstellt. Durch den Vergleich der beiden Modelle werden die Hauptunterschiede und die Gemeinsamkeiten der Systeme sichtbar.

Die beiden Grundmodelle werden im weiteren Verlauf der Arbeit dazu benutzt, eine typische Ausgangssituation qualitativ durch Variablen zu beschreiben. Die Kriterien sind Variablen, die die Funktion von Inputvariablen übernehmen und denen Werte oder Wertereihen zugeordnet werden können. Sie repräsentieren die Außengrenzen des Modells. Faktoren sind Variablen, die sich aus anderen Faktoren bzw. Kriterien durch Funktionen numerisch berechnen lassen. Die Werte der Faktoren liefern dem Anwender des Modells eine Aussage über den Gesamtzustand des Systems. Sie stehen außerdem im Fokus der Auswertungen der Simulationsergebnisse. Die Abbildung 23 zeigt beispielhaft einen Ausschnitt aus einem dieser Modelle. Da es sich um das Submodell „5S-Niveau der Fertigung“ handelt, werden die direkten Faktoren und Kriterien des Submodells nicht eingerahmt dargestellt (hier: die Variablen 16 und 16-1). Die eingerahmten Variablen sind Faktoren oder Kriterien aus anderen Submodellen, die jedoch mit diesem Submodell über Ursache-Wirkung-Beziehungen in Verbindung stehen. Kriterien lassen sich aufgrund des Piktogramms, das ein Diagramm mit Kurvenverlauf in grün darstellt, erkennen. Die Faktoren haben als Kennzeichen einen nach unten offenen Kreis, unterteilt in zwei Segmente.

¹⁰ Die Kriterien für die Auswahl der Methode sind:

1. Beschreibung mehrerer Wirkungspfade - sowohl direkt als auch indirekt - über mehrere Stufen hinweg,
2. Beschreibung mehrerer Veränderungen zeitgleich in einem komplexen Wirkungsgefüge verschiedener mehrfach miteinander verbundener Faktoren,
3. Unterstützung der Modellierungsaktivitäten durch eine geeignete Software,
4. Darstellung der Ausgangssituation und Aufzeigen mindestens einer qualitativen Veränderungen im Produktionssystem und
5. einfache Beschreibung unterschiedlicher Ausgangssituationen je nach Fortschritt des jeweiligen Produktionssystems im Veränderungsprozess.

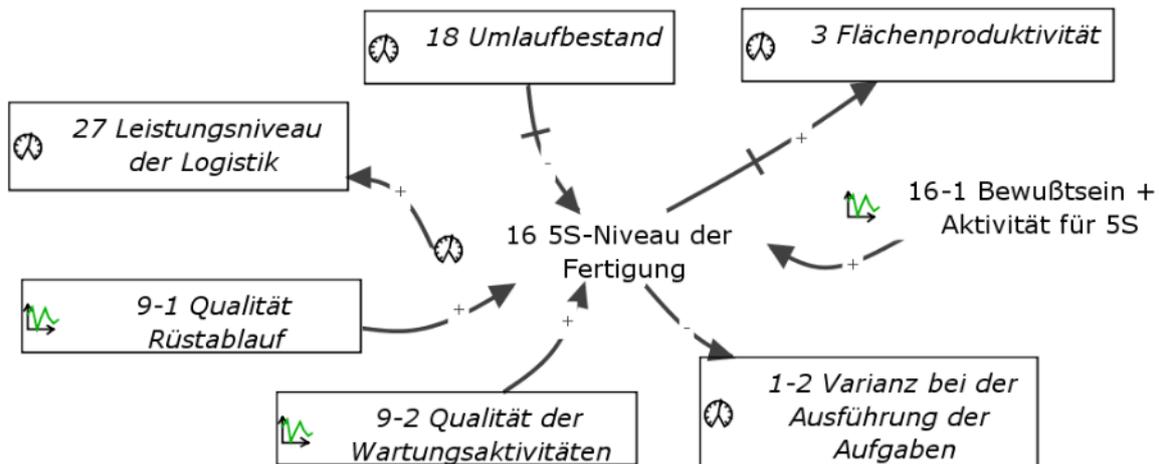


Abbildung 23: Modellausschnitt für das Submodell „5S-Niveau der Fertigung“

Bei den verwendeten Werten bzw. Wertereihen der Kriterien handelt es sich nicht um Realdaten. Es werden qualitative Werte benutzt, die die Situation eines Produktionssystems beschreiben sollen und die einen vorgegebenen Wertebereich besitzen. Beispielsweise steht die Variable „Qualität der Rüstaktivitäten“ für die Güte des Rüstprozesses in der Fertigung, die durch verschiedene Merkmale bestimmt wird. Der Wertebereich dieser Variablen ist in diesem Beispiel der Zahlenbereich von 1 bis 10. Der Wert 1 repräsentiert die folgende Situation: „langwierige, umfangreiche Rüstaktivitäten; keine vorgegebenen Arbeitsabläufe oder Standards; es ist unklar, wann der Rüstprozess voraussichtlich abgeschlossen sein wird; Rüstprozesse schwanken sehr stark in ihrer Gesamtdauer“. Der Wert 10 repräsentiert in diesem Beispiel die folgende Situation: „ein klar strukturierter Rüstablauf mit Zeitvorgaben für einzelne Tätigkeiten; ein absehbarer und kalkulierbarer Zeitraum für Rüstaktivitäten; die gesamte Maschinen-Stillstandszeit liegt im einstelligen Minutenbereich“. Zwischen den Extremwerten 1 und 10 gibt es Abstufungen, die je nach der Produktionssituation anzugeben sind.

Wie in der Abbildung 23 gut zu erkennen ist, steht die Variable 16 „5S-Niveau der Fertigung“ zu insgesamt vier anderen Variablen in Beziehung. Zwei Variable davon sind Kriterien, die anderen beiden sind ebenfalls Faktoren. Die Bestimmung des Wertes eines Faktors erfolgt durch die Auswertung von Funktionen. Die jeweilige Funktion lässt sich direkt aus dem Wirkungsgefüge des Modells - entsprechend den Variablenverbindungen - ableiten. Bei der Beschreibung der Verbindungen zwischen den Variablen werden vier Eigenschaften festgelegt: die Wirkungsrichtung, die Wirkungsweise, die Wirkungsstärke und die Zeitverzögerung. Die Wirkungsrichtung wird durch die Richtung des Pfeils angezeigt, der von der Ursache zur Wirkung weist. Die Wirkungsweise wird durch das Vorzeichen angegeben („+“ oder „-“ in der Abbildung 23). Das positive Vorzeichen bedeutet eine verstärkende Wirkung, das negative Vorzeichen bedeutet eine verringernde Wirkung auf den Faktor. Die Wirkungsstärke wird von der Software CM in Form der Standardwerte „schwach“, „mittel“ und „stark“ angeboten. Es ist aber auch möglich, benutzerspezifische Werte anzugeben. Der Wert „schwach“ entspricht einer Gewichtung von 0,1 und sollte für unterdurchschnittliche Wirkungen verwendet werden. Der Wert „mittel“ entspricht einer Gewichtung von 0,17 und wird für durchschnittliche Wirkungen empfohlen. Der Wert „stark“ entspricht einer Gewichtung von 0,25; er wird bei einer überdurchschnittlichen Wirkung eingesetzt.

Die Zeitverzögerungen werden unterschieden in „kurzfristig“, „mittelfristig“ und „langfristig“. Benutzerspezifische Werte sind im CM nicht vorgesehen. Es liegt im Ermessen des Modellierers, die Gültigkeit für die Zeitverzögerung festzulegen. Die Software benutzt die Zeitverzögerung durchgängig. Eine kurzfristige Wirkung bedeutet bei der Berechnung der Faktoren eine sofortige Wirkung der Veränderung der Variable. Es findet keine Auswirkung mittel- oder langfristig statt. Eine mittelfristige Wirkung bedeutet, dass 50% der Wirkungsstärke kurzfristig berücksichtigt werden, mittel- und langfristig werden 100% der Wirkungsstärke berücksichtigt. Bei der langfristigen Zeitverzögerung wird kurzfristig

mit einer 25%igen Wirkung gerechnet, mittelfristig wird mit 50%iger und langfristig mit 100%iger Wirkung kalkuliert. Die tatsächliche Berücksichtigung der Zeitverzögerungen in der Software wird vom Hersteller jedoch nicht offen gelegt (vgl. [Neumann 2013], Abschnitte 5 und 7.2)

Die vier Merkmale einer Variablenverbindung lassen sich im Modell im CM jederzeit grafisch ablesen (siehe hierfür die Abbildung 23). Die Wirkungsrichtung einer Variablen entspricht der Pfeilrichtung. Die Vorzeichen der Pfeile geben die Wirkungsweise an. Die Dicke eines Pfeils gibt die Wirkungsstärke wieder. Wird der Pfeil durch eine Linie unterbrochen, dann liegt eine mittelfristige Zeitverzögerung der Wirkung vor. Zwei unterbrechende Linien stellen die langfristige Zeitverzögerung dar. Ein durchgängiger Pfeil entspricht einer kurzfristigen Wirkung. In der vorliegenden Arbeit werden für die Kriterien qualitative Werte aus einer festgelegten Wertemenge verwendet, um die Ausgangssituation zu beschreiben. Diese Vorgehensweise wird mit den von CM angebotenen Standardkategorien kombiniert. Die mittelfristige Zeitverzögerung wird für alle Wirkungen ab drei Monaten eingesetzt. Die langfristige Zeitverzögerung gilt für mehr als zwölf Monate.

Die Werte der Faktoren werden durch Funktionen ermittelt. Die Software bietet eine relative Quantifizierung an sowie die Deklaration eigener Funktionen - über eine umfangreiche Auswahl an Grundfunktionen -, die individuell spezifiziert werden können. Beim Verfahren der relativen Quantifizierung wird auf der Grundlage der spezifizierten Variablenverbindung, die zu jedem Faktor hin führt, eine Funktion zusammengestellt, die lediglich die Gewichtung der Wirkungsstärke und die Zeitverzögerung berücksichtigt. Bei der Anwendung dieses Verfahrens ist eine Prüfung der Summe aller Variablen Gewichte erforderlich. Die Summe sollte kleiner oder gleich eins sein, um die Übergewichtung eines Faktors gegenüber den anderen zu vermeiden und damit ein Ungleichgewicht zu verhindern. Ist die Summe aller Gewichte kleiner als eins, dann gibt es für den Faktor Variablenverbindungen, die nicht im Ausschnitt des betrachteten (Sub-) Modells liegen. Die vorliegende Arbeit verwendet keine Realdaten, es wird nur mit qualitativen Wertemengen gearbeitet. Auch die Wirkungsstärke einer Variablenverbindung wird nur grob in „stark“, „mittel“ und „schwach“ unterteilt. Dieser Ansatz wird konsistent weitergeführt und mit dem Verfahren der relativen Quantifizierung gearbeitet.

Im Anschluss an die Quantifizierung des Modells wird eine Simulation durchgeführt. Die Simulationsergebnisse geben Auskunft über den qualitativen Verlauf der wichtigsten Faktoren des Modells. Es soll gezeigt werden, wie sich der eingeschwungene Zustand der Ausgangssituation qualitativ in den Werten der Faktoren widerspiegelt. Weiterhin soll gezeigt werden, wie sich die Einführung von Lean-Methoden auf das Gesamtgefüge auswirkt. Auf der Grundlage der Modelle werden für die bekannten Lösungsansätze gerichteter Systeme die Funktionalität und die Wirksamkeit nachgewiesen. Für die Welt der mehrstufigen TF wird ein Modell adaptiert, das das Wirkungsgefüge der Ausgangssituation analysiert und mit den gerichteten Systemen vergleicht. Die Einführung ausgewählter Lean-Methoden wird im Modell abgebildet, und es wird untersucht, welche Wirkung zu erwarten ist. Schließlich können auf der Basis der Simulationen in beiden Modellen die Wirkungsweisen der Lean-Methoden miteinander verglichen werden.

3.4 Evaluierung des entwickelten Verfahrens

Der in der vorliegenden Arbeit entwickelte Lösungsansatz soll evaluiert werden. Nur so kann sichergestellt werden, dass er auch auf andere Anwendungsfälle derselben Problemklasse übertragen werden kann. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die entwickelte Lösung hinsichtlich ihrer Wirksamkeit und Übertragbarkeit zu überprüfen. Sehr gute Möglichkeiten bieten der empirische Beweis und die Simulation.

Der empirische Beweis geht davon aus, dass eine relevante statistische Größe an Fallbeispielen untersucht wird. Fallbeispiele gibt es zwar viele, schon allein in Deutschland. Bei der Umsetzung dieses Konzepts dauert es aber mindestens ein bis zwei Jahre, bis erste Ergebnisse zur Verfügung stehen (vgl. [James 2006]). Es gibt Erfahrungswerte für

Veränderungsprojekte in der Produktion, die sowohl strukturelle als auch prozessuale Umgestaltungen beinhalten, bei denen eine aussagekräftige Ergebnisdarstellung erst nach zwei, manchmal sogar erst nach vier Jahren möglich war (vgl. [Lee 2007]). Die Ursachen hierfür sind vielfältig. Anfangs wird viel Zeit für die reine Projektorganisation benötigt. Das Team ist zusammenzustellen und erst zu einem echten Team zu formen. Weiterhin stößt man in den betroffenen Bereichen häufig auf Ressentiments, die eine sofortige Umstellung unmöglich machen. Die betroffenen Mitarbeiter müssen erst in das Projekt eingebunden und von seiner Nützlichkeit überzeugt werden. Dies wird häufig durch kleine Tests in abgeschlossenen Abschnitten erreicht, wenn die Lösungen überzeugen und die Vereinfachung der eigenen Aufgabe sichtbar wird.

Weiterhin setzt ein empirischer Beweis ein gut vergleichbares Datenmaterial voraus, das es ermöglicht, die durchgeführten Veränderungen und deren Wirkung zu erkennen. Leider ist in den meisten Unternehmen die Qualität der vorhandenen Daten für solche Untersuchungen zu gering. Deshalb wäre eine aufwändige Datenerhebung zur Beschreibung der Ausgangssituation erforderlich. Ist jedoch ein Unternehmen erst einmal so weit, dass die Veränderungen gewünscht und unterstützt werden, dann liegt kein Interesse an einer umfassenden Datenerfassung mehr vor. Weiterhin können sich wirtschaftliche Extremsituationen, wie wir sie in den Jahren 2007-2010 ¹¹in den USA und in Europa erlebt haben, dramatisch auf die Datenqualität auswirken.

Die Simulation als die zweite Methode zur Evaluierung eines Lösungsansatzes setzt ein umfangreiches mathematisches Modell voraus, das die Wirkungszusammenhänge in einem Produktionssystem beschreibt. Ein Teil der Simulation ist die Validierung des Modells und der dargestellten Zusammenhänge. Beides erweist sich als schwierig, da sich die einzelnen Zusammenhänge in der Praxis nicht isoliert beobachten lassen.

Als Ansatz für die Überprüfung, ob der entwickelte Lösungsvorschlag die an ihn gestellten Anforderungen erfüllt, wird das Experten-Interview gewählt. Das Thema Lean-Methoden und deren Einsatz ist schon in vielen Aspekten umfassend beschrieben und untersucht worden. Der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit liegt auf der Entwicklung eines Lösungsvorschlags mit Lean-Methoden, der in einer mehrstufigen TF angewendet werden kann. Somit ist in den Interviews zu eruieren, wie die Experten die Anwendbarkeit, die Umsetzbarkeit und die Erfolgsaussichten des Lösungsvorschlags beurteilen. Das Experten-Interview soll mit ausgewählten Experten durchgeführt werden, denen das Thema, die Problemstellung und der Lösungsansatz vorgestellt werden. Anschließend wird mit ihnen auf der Grundlage eines Gesprächsleitfadens ein Gespräch über die vorgestellte Lösung geführt (siehe hierzu Anhang 9.1, S. 175).

Die Beurteilungen hinsichtlich der Umsetzbarkeit, der Erfolgsaussichten usw. erfolgen gemäß dem deutschen Schulnotensystem. Die Schulnote 1 steht demnach für „sehr gut“ - die Anforderungen werden übererfüllt. Die Bewertung 2 steht für die Einschätzung „gut“ - die Anforderungen werden voll erfüllt. Eine „befriedigende“ Bewertung mit der Note 3 steht für eine allgemeine Erfüllung der Anforderungen. „Ausreichend“ entspricht einer mit Mängeln behafteten Leistung, die aber noch die Anforderungen erfüllt und somit die Benotung 4 widerspiegelt. Die Zensuren 5 und 6 erfüllen die Anforderungen nicht und stehen für „mangelhaft“ bzw. „ungenügend“.

Zusätzlich bietet das Interview die Möglichkeit der offenen Fragenbeantwortung und damit auch die Möglichkeit zum Austausch von Informationen und zur Diskussion bestimmter Themen. Die Auswertung der Interviewergebnisse hat aufgrund der Schulnoten einen quantitativen Bestandteil, der die Vergleichbarkeit der Aussagen der Experten und damit auch eine Bewertung des Lösungsvorschlags ermöglichen soll. Die qualitative Auswertung

¹¹ Im September 2008 ereignete sich die Insolvenz der bekannten Bank Lehmann Brothers in den USA. Zuvor war die gesamte Wirtschaft stark überhitzt. Die Insolvenz war der Auslöser eines weitreichenden konjunkturellen Abschwungs, der in Deutschland viele Unternehmen zur Kurzarbeit zwang.

des offenen Interviewteils erfolgt nach dem Sechs-Stufen-Modell von Mühlfeld (vgl. [Mühlfeld 1981]).

Die schriftlichen Protokolle (bzw. die Tonaufnahmen – sie erfolgen nur mit dem Einverständnis des Interviewpartners) werden ausgewertet. In einem ersten Schritt werden die sofort erkennbaren Antworten auf die Fragen des Leitfadens markiert. Im zweiten Schritt werden die Antworten des Interviewpartners in ein Kategorie-Schema eingeordnet. Die Grundaussagen bzw. Grundrichtungen der Antworten werden thematisch eingeordnet. In der dritten Stufe des Auswertungsverfahrens wird die innere Logik der Einzelinformationen ermittelt. Aus diesen Zusammenhängen entsteht im vierten Schritt ein erster Text. Dieser Text wird in der fünften Stufe mit konkreten Aussagen der Interviewpartner angereichert. Der sechste und letzte Schritt beinhaltet die Erstellung des Abschlussberichts über die Experten-Interviews.

In [Meuser 2005] wird der Begriff des Experten definiert: „Als Experte wird angesprochen, wer in irgendeiner Weise Verantwortung trägt für den Entwurf, die Implementierung oder die Kontrolle einer Problemlösung oder wer über einen privilegierten Zugang an Informationen über Personengruppen oder Entscheidungsprozesse verfügt.“ (siehe [Meuser 2005], S. 73).

Die Anforderungen an die auszuwählenden Experten für die Interviews im Rahmen der vorliegenden Arbeit sind:

- der Experte verfügt über berufliche Erfahrungen (mindestens fünf Jahre) im Bereich der Produktion,
- der Experte hat bereits Veränderungsprozesse im Produktionsumfeld maßgeblich geleitet oder als beratender Projektleiter unterstützt und
- der Experte verfügt über Grundlagenwissen zum Thema Lean-Philosophie und Lean-Methoden.

Die Auswahl der Expertengruppe orientiert sich an der Empfehlung von [Mager 2013, S. 37 ff.], unterschiedliche Sichtweisen und Hintergründe dadurch aufzudecken, dass Experten aus verschiedenen Hierarchieebenen, aus mehreren betroffenen Abteilungen und aus unterschiedlichen Unternehmen befragt werden. Deshalb soll die Stichprobe die in der Tabelle 8 aufgeführten Kriterien erfüllen.

Tabelle 8: Merkmale der Stichprobe für die Auswahl der Experten

Hierarchie	Fachbereich	Unternehmen
oberes Management	Produktionsplanung	Unternehmen X
mittleres Management	Arbeitsvorbereitung	Unternehmen X+1
Operative	Produktion	Unternehmen X+2
Projektleitung	Beratung	Unternehmen X+3

4 Wirkungsweise Lean-Methoden für gerichtete Systeme

4.1 Problembeschreibung für eine typische Ausgangssituation vor der Lean-Gestaltung

Der Forschungsansatz der vorliegenden Arbeit umfasst die Beschreibung einer Ausgangssituation, die Einführung der Lean-Methoden und die Darstellung ihrer Wirkungen bei den bereits untersuchten sogenannten gerichteten Systemen. Im Folgenden werden mehrere Fallbeispiele aus Veröffentlichungen dargestellt, die in diesem Kapitel immer wieder herangezogen werden. Im ersten Schritt wird die Ausgangssituation beschrieben. Es soll gezeigt werden, dass unterschiedliche Fallbeispiele auf gleiche Grundbedingungen zurückgeführt werden können und dass somit auch die zu befriedigenden Anforderungen vergleichbar sind. Im nächsten Schritt werden dann die dargestellten Anforderungen durch Implementierung ausgewählter Lean-Methoden erfüllt. Die qualitativen Wirkungen, die im Modell zu beobachten sind, werden mit den Wirkungen, die in den Fallbeispielen eingetreten sind, verglichen. Im letzten Schritt geht es schließlich um die Entwicklung eines geeigneten Verfahrens zur Einführung der Lean-Methoden. Wenn die Reihenfolge der Implementierung der Methoden in den Fallbeispielen explizit erwähnt wurde, wird auch sie betrachtet, um in der vorliegenden Arbeit später ein Verfahren aufstellen zu können.

Die Auswahl der Fallbeispiele für dieses Kapitel orientiert sich am Hauptthema der vorliegenden Arbeit, an der mehrstufigen TF, die hauptsächlich im Mittelstand anzutreffen ist. Der Begriff des Mittelstands ist nicht eindeutig definiert (siehe hierfür Tabelle 50 im Anhang 9.2, S. 176). Jödicke (in [Jödicke 2013], S. 13 ff.) zitiert die Definitionen, die von der Europäischen Union, vom Institut für Mittelstandsforschung und vom Handelsgesetzbuch angegeben werden. Der gemeinsame Nenner sind die quantitativen Merkmale: die Anzahl der Mitarbeiter liegt zwischen 50 und 250, der Jahresumsatz liegt zwischen 10 und 50 Mio. Euro.

Die Untersuchungen von Jödicke zeigen, dass im Mittelstand bereits eine Einführung von Prinzipien und Methoden der Schlanken Produktion zu beobachten ist. Mehr als 50% der untersuchten mittelständischen Unternehmen haben schon derartige Neuerungen eingeführt. Allerdings wurden die Maßnahmen lediglich in 16,9% der Unternehmen abgeschlossen. 16,9% der Unternehmen befinden sich in der Planungsphase und 11,3% in der Implementierungsphase (vgl. [Jödicke 2013], S. 115-122).

Geht man von davon aus, dass Ergebnisse nur nach einem erfolgreichen Abschluss der Maßnahmen publiziert werden und dass auch dies nur in seltenen Fällen geschieht, dann wird es wohl schwierig sein, in den Publikationen viele mittelständische Fallbeispiele zu finden. Unter Berücksichtigung der Definition des Mittelstands durch Jödicke führt die Recherche nur auf ein einziges verwendbares Fallbeispiel. Darum werden auch kleine Großunternehmen einbezogen. Die angepassten quantitativen Merkmale lauten nun: Anzahl der Mitarbeiter weniger als 1.000 und Jahresumsatz unter 200 Mio. Euro.

Ein weiteres Kriterium für die Auswahl der Fallbeispiele ist die Struktur des Produktionssystems. Es werden nur solche Fertigungen berücksichtigt, bei denen für die Herstellung des Produkts mehrere Prozessstufen erforderlich sind. Außerdem werden nur Unternehmen aus Westeuropa, aus den USA, aus Australien und aus Kanada betrachtet, da hier die Umsetzung des Themas der Schlanken Produktion nach einigen bekannten japanischen Unternehmen am weitesten vorangeschritten ist und man aufgrund zahlreicher Publikationen auf geeigneten Fallbeispielen aufbauen kann (vgl. [Marodin 2013]). Die auszuwählenden Veröffentlichungen müssen mindestens eine umfassende Beschreibung der Ausgangssituation, wesentliche Veränderungsschritte und relevante Ergebnisse beinhalten. Dann lassen sich die Fälle miteinander vergleichen und lässt sich der eigentliche Veränderungsprozess erkennen. Die relevante Zeitspanne muss einen längeren Zeitraum umfassen, da schon praktische Ergebnisse bzw. Erfolge dargestellt sein sollen. Die Darstellung der Veränderungen an lediglich einem Musterbereich ist nicht

ausreichend, um die Gesamtwirkung auf das Unternehmen abschätzen zu können. Der Vergleich der Wirkungen, die im entwickelten Modell beobachtet werden, mit den in den Fallbeispielen beschriebenen Erfahrungen sollte mit möglichst vielen Details erfolgen. Einfache Kurzveröffentlichungen über zwei Seiten in einem Fachjournal reichen für diesen Zweck nicht aus.

Fallbeispiel Festool, Werk Neidlingen

Festool ist ein typisches schwäbisches Mittelstands-Unternehmen, das im Jahre 2000 mit dem Werk Neidlingen rund 150 Mio. Euro Umsatz erwirtschaftet hat und über alle Standorte hinweg knapp 600 Mitarbeiter beschäftigte (Quelle: [Festool]). Die rund 450.000 produzierten Elektrowerkzeuge sind für den professionellen Einsatz vorgesehen. Sie werden aus 50 verschiedenen Grundgeräten hergestellt, die insgesamt 400 Produktvarianten umfassen. Anfang der 90er Jahre war das Unternehmen defizitär, und es gab Pläne zur Verlagerung des Produktionsstandortes in ein Niedriglohnland. Ein mehrjähriger Veränderungsprozess führte schließlich zu der Erkenntnis, dass eine wirtschaftliche Fertigung auch in Deutschland möglich ist. Im Jahr 2000 wurde das Fallbeispiel von Regber und Zimmermann aufbereitet. Zu diesem Zeitpunkt war der Veränderungsprozess bereits abgeschlossen und die Wirkungen der Maßnahmen wurden in Form messbarer Ergebnisse erkennbar (vgl. hierzu [Regber 2007], S. 317 ff.).

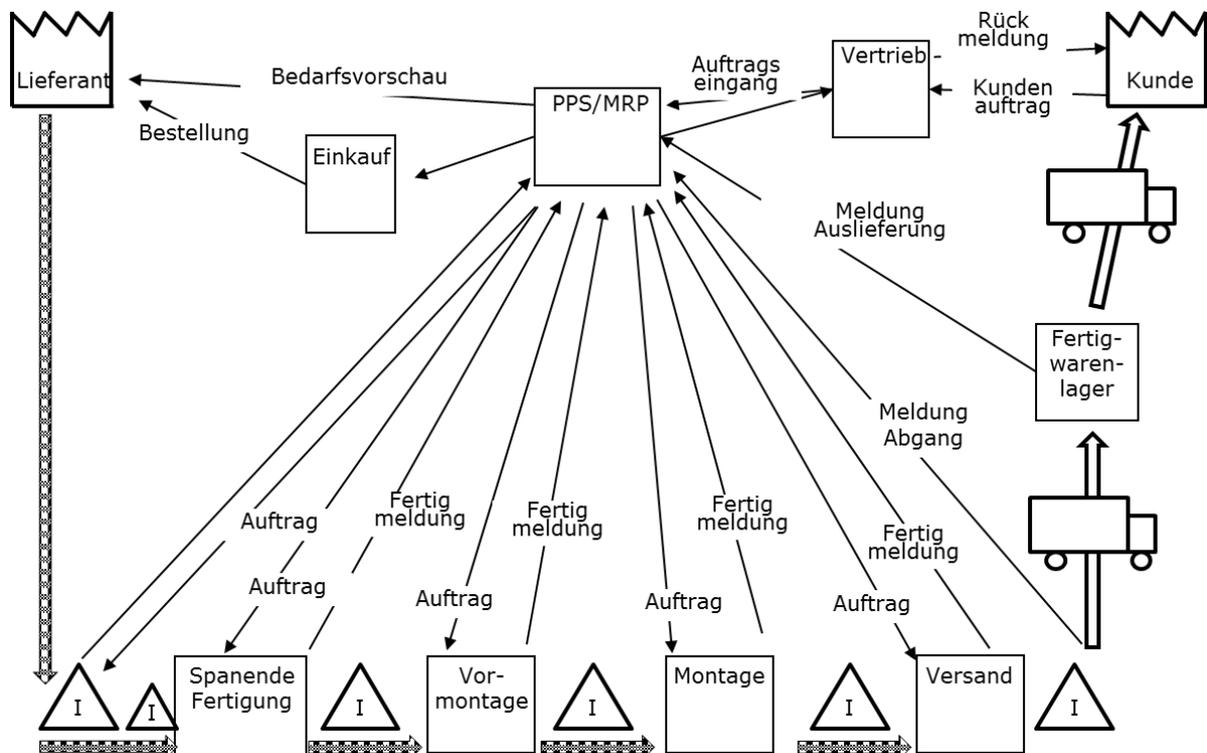


Abbildung 24: Vereinfachter Wertstrom der Firma Festool, Stand 1993 (Quelle: [Festool])

Die Ausgangssituation bei Festool ist in den Jahren 1996/1997 dramatisch: Das Unternehmen ist defizitär. Die Grundstruktur des Fertigungsflusses ist in der Abbildung 24 dargestellt. Der Kapitalumschlag liegt bei 3,5. Es werden große Auftragslose in der Fertigung freigegeben, die jeweils ein Arbeitsvolumen von ca. einer Woche umfassen. Große Behälter (Lieferantengebinde) stehen für die Materialversorgung des Montagepersonals direkt in der Montage. Damit ergeben sich für die Mitarbeiter lange Lauf- und Greifwege. Transportbänder verbinden die Montagearbeitsplätze eines Bereichs miteinander. Die Folge davon sind stark isolierte Arbeitsplätze, die keinen flexiblen Arbeitereinsatz als Reaktion auf die aktuelle Umsatzsituation zulassen. Die Arbeitsinhalte der einzelnen Arbeitsplätze sind nicht gleichmäßig verteilt, sodass es immer wieder Mitarbeiter mit einer überdurchschnittlich hohen Arbeitslast gibt. Während sich der eine Mitarbeiter abmühen muss, sein tägliches Pensum zu schaffen, müssen andere Mitarbeiter immer wieder auf Material vom vorgelagerten Arbeitsplatz warten. Das

Umrüsten einer Montagelinie dauert in manchen Fällen 80 Minuten. Die Montagearbeiter kümmern sich selbst um die Materialversorgung ihres Arbeitsplatzes. Das Material wird in den Lieferantenbehältnissen bereitgestellt, die in ihrer Größe und Menge nicht auf die Produktionsprozesse abgestimmt sind. Das Montagepersonal behebt selbst alle Störungen in der Linie, sofern das möglich ist. Eine detaillierte Analyse der Arbeit der Schichtführer in der Montage führt zu dem Ergebnis, dass die Schichtführer Tätigkeiten zur Materialversorgung der Linien ausführen. Bei der Fertigung in der Zerspanung liegen die Rüstzeiten bei 2,5 Stunden je Vorgang. Auch die Maschinenbediener kümmern sich selbst um den Materialtransport zu ihren Arbeitsplätzen und geben gefertigte Teile weiter (vgl. hierzu [Regber 2007], S. 317 ff.; [Hartmann 2003], S. 127 f.).

Fallbeispiel Bosch-Lieferant

Im Rahmen eines umfangreich geplanten Lieferanten-Entwicklungsprogramms (Start 2004) hat die Firma Robert Bosch GmbH aufgrund zuvor festgelegter Auswahlkriterien Lieferanten für ein Entwicklungsprogramm ausgewählt. Das Ziel dieses Programms war die Steigerung der Qualität, die Erhöhung der Liefertreue, ein verbessertes Preisverhalten und eine zielführende Kommunikation. Auf der Grundlage eines eigens für diesen Zweck entwickelten Reifegradmodells wurden die ausgewählten Lieferanten eingestuft und wurden entsprechende Konzepte für die Weiterentwicklung abgeleitet (vgl. hierzu [Schumacher 2007], S. 56 ff.).

Der schließlich ausgewählte Bosch-Lieferant wird aus Datenschutzgründen in der Studie nicht genannt. Das Unternehmen hat im Jahr 2006 rund 600 Mitarbeiter und erwirtschaftet einen Umsatz von 95 Mio. Euro. Die Kernkompetenz des Bosch-Lieferanten liegt in der Entwicklung und Herstellung von Präzisionsdrehteilen für die Automobilbranche. Die Firma Bosch bezieht von diesem Lieferanten u.a. Teile für die Einspritztechnik von Verbrennungsmotoren. Die Entscheidung für den ausgewählten Bosch-Lieferanten macht sowohl die Stärken als auch die Schwächen des Unternehmens sichtbar. Seine Stärken sind: eine gute Kundenorientierung; ein hohes Niveau bei den Merkmalen Sicherheit, Sauberkeit und Ordnung; die Teamarbeit und die Motivation werden als gut eingestuft; der Zustand der Maschinen sowie die Wartung der Maschinen wird als gut bewertet. Wesentliche Verbesserungspotentiale werden in folgenden Punkten gesehen: ein werkstatorientierter Aufbau der Fertigung; große Bestände im Lager; lange Durchlaufzeiten bei komplexen Bauteilen und eine verteilte Lagerhaltung der Materialien führen zu insgesamt hohen Beständen. Die Rüstzeiten beim Drehen betragen bis zu zehn Stunden und resultieren in umfangreichen Auftragsgrößen. Der gesamte Materialfluss weist Unterbrechungen auf, die Lager- und Transportflächen sowie lange Wegzeiten erforderlich machen (siehe hierzu die Abbildung 25). Die zentrale Produktionsplanung hat die Aufträge für jeden Fertigungsschritt tagesgenau vorgegeben. Aufgrund von Kapazitätsengpässen und unterschiedlichen Bearbeitungszeiten können nicht alle Teile den Wertstrom komplett durchlaufen. Ein Teil der Produkte wird extern fertiggestellt. Dies führt zu hohen Aufwänden für die Dateneingabe, für Prüfungen und Änderungen. Schließlich hat die Einstufung auch deutliche Verbesserungspotentiale bei der Visualisierung der internen Prozessziele und -ergebnisse aufgezeigt. Es ist nur an wenigen Stellen erkennbar, wie gut der Prozess aktuell funktioniert (vgl. [Schumacher 2007], S. 63 ff.).

Vor dem Beginn des gemeinsamen Entwicklungsprojekts befindet sich der Bosch-Lieferant in einer schwierigen Situation. Auf ihm lastet ein hoher Druck, resultierend aus gestiegenen Rohstoffpreisen und aus einem hohen Preisdruck von Seiten der Automobilkunden. Das Unternehmen hat keine Übersicht über seine Bestände. Der Mangel an Standards senkt die Qualität (die Gesamtqualitätsrate liegt bei $>5.000 \text{ ppm}^{12}$) und verlängert die Durchlaufzeit für die Teile. Die sich daraus ergebenden Lieferrückstände werden durch eine aufwändige Kommunikation kompensiert (vgl. [Schumacher 2007], S. 65-66).

¹² ppm = parts per Million (Teile je eine Million), gibt die Fehlerquote eines Systems an. Statt auf die Basis 100 - wie es bei Prozentangaben üblich ist - wird die Fehlerquote auf eine Million bezogen.

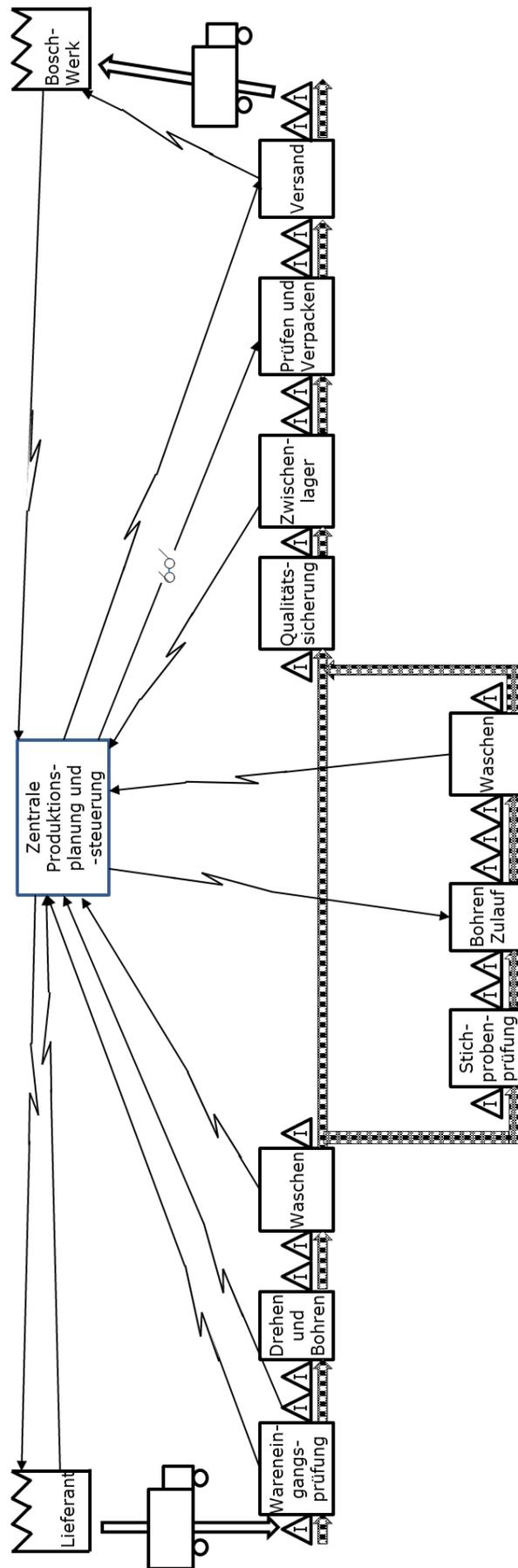


Abbildung 25: Vereinfachte Wertstromdarstellung zum Produktionsfluss des Bosch-Lieferanten (vgl. [Schumacher 2007], S. 68)

Fallbeispiel Lantech

Die Beschreibung von Lantech ist ein durch Womack und Jones ausführlich aufbereitetes Fallbeispiel, das die Entwicklung eines Unternehmens über mehrere Jahre hinweg verfolgt: von der Produktidee über die Unternehmensgründung, die Wachstumsphase und die Stagnationsphase bis zum Veränderungsprozess. 1970 wird Pat Lanchaster in den USA ein Patent für eine Maschine zum Verpacken von Paletten mit Stretchfolie erteilt. Durch sein Verfahren wird es möglich, den Einsatz von Folie für die Ladungssicherung von Paletten um den Faktor 7,5 zu reduzieren. Aufgrund der Ölkrise 1973 wird für viele Firmen diese Erfindung zu einer interessanten Alternative gegenüber der bis dahin verwendeten Schrumpffolie. Das Unternehmen wächst bis 1988 auf eine Größe von 266 Mitarbeitern bei einem Jahresumsatz von knapp 40 Mio. Euro¹³ (siehe [Womack 2003], S. 102 ff.).

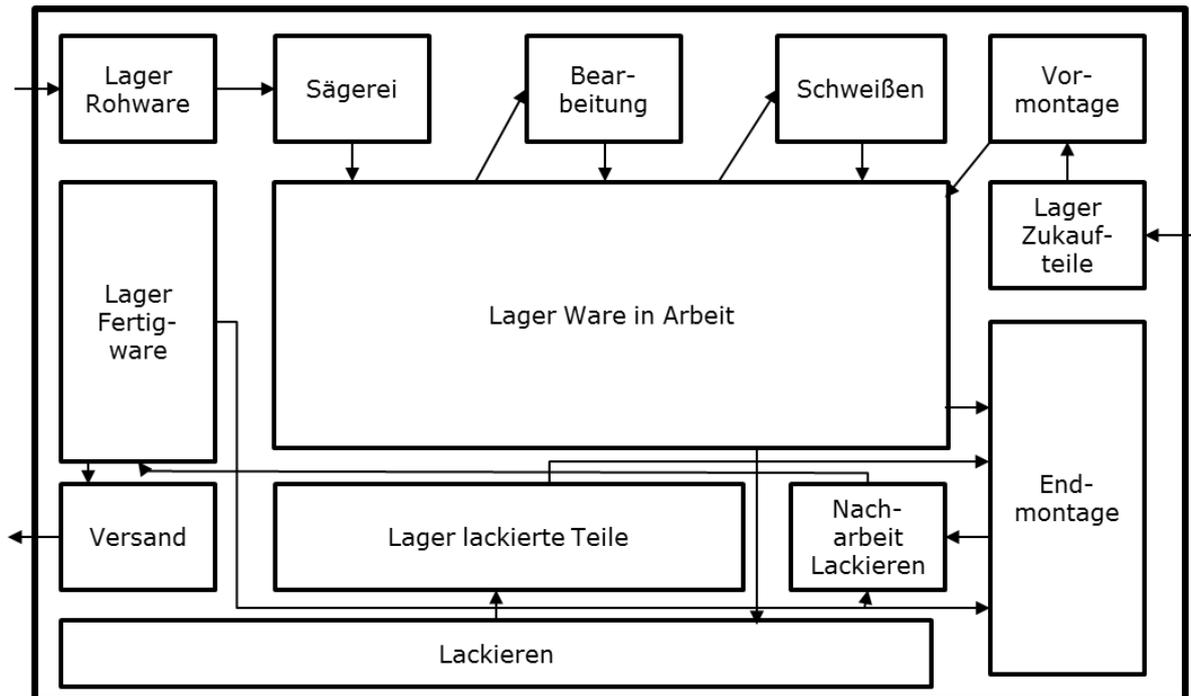


Abbildung 26: Produktionsstruktur bei Lantech (vgl. [Womack 2003], S. 104)

Schnell wird aus einem kleinen Unternehmen ein großes Produktionsunternehmen, das viele verschiedene Produktionsschritte, organisiert nach dem Werkstattprinzip, selbst durchführt (siehe die Abbildung 26). Es gibt je nach Verpackungsbedarf unterschiedliche Produkttypen. Diese werden in größeren Losen gefertigt und im Fertigwarenlager vorgehalten. Zur Befriedigung von Sonderkundenwünschen werden die bereits gefertigten Maschinen wieder aus dem Lager geholt und nochmals in die Produktion gegeben, um die erforderlichen Modifikationen vorzunehmen. Lange Wartezeiten in jeder einzelnen Werkstatt führen bei großen Losgrößen zu langen Durchlaufzeiten. Diese langen Durchlaufzeiten lösen beim Vertrieb eine Eingabe von Aufträgen auf Verdacht aus, die erst später - im laufenden Produktionsprozess - den tatsächlichen Kundenbedarfen angepasst werden müssen. Auf die Qualität der ausgelieferten Produkte kann man sich nicht verlassen. Mit dem Auslaufen des Patents stagnierten die Verkäufe. Es gab zwar verschiedene Ansätze zur Kostenreduktion und Reorganisation, um das Unternehmen zu retten, doch stellte sich kein richtiger Erfolg ein. Bei einem dieser Lösungsansätze wurde sogar das allgemeine Bestandsniveau deutlich angehoben, um die Lieferfähigkeit zu verbessern, doch das erhoffte Ergebnis trat nicht ein. Stattdessen gab es noch mehr Terminjäger in der Produktion, die versuchten, Aufträge oder die Produktion einzelner Teile zu beschleunigen. Ein neues MRP-System¹⁴ führte Anfang der 1990er Jahre zu mehr

¹³ 43 Mio. US-Dollar entsprachen 1988 bei einem durchschnittlichen Umrechnungskurs von 1,75592 D-Mark rund 78 Mio. D-Mark. Der Umrechnungskurs von D-Mark in Euro wird festgelegt mit 0,51 Euro. (Quelle: Bundesbank)

¹⁴ Abkürzung für Material Resource Planning, engl. für Material- und Kapazitätsplanung

Mitarbeitern und zu einem noch größeren Chaos, aber nicht zu Verbesserungen. Die Fertigungssteuerung war weiterhin geprägt von umfangreichen Planungs- und Steuerungsaktivitäten auf der Arbeitsplatzebene. Schließlich wurde der Punkt erreicht, an dem das Unternehmen Verluste machte (siehe [Womack 2003], S. 102 ff.).

Zusammenfassung

Der Vergleich der drei Fallbeispiele zeigt bei allen drei Ausgangssituationen ähnliche Merkmalsausprägungen. Alle drei Unternehmen sind Serienfertiger und befinden sich vor der Veränderungsphase in einer schwierigen wirtschaftlichen Ausgangssituation - sie sind sogar defizitär. Die Fertigung ist in eine Art Werkstattprinzip unterteilt, gleiche Prozesse sind zusammengefasst. Alle drei Unternehmen verfügen über umfassende Bestände, die sich in vielen Lägern - bei Lantech - oder in vielen Lagerstufen vor und nach den Fertigungsprozessen - bei Festool und beim Bosch-Lieferanten - ausdrücken. Die hohen Bestände führen zu langen Durchlaufzeiten und zu einem geringen Kapitalumschlag. Weiterhin zeigt sich - besonders ausgeprägt bei dem Bosch-Lieferanten und bei Lantech - eine häufige Unterbrechung im Fertigungsfluss durch Läger, Qualitätskontrollen oder zentrale Prozesse wie das Waschen. Alle drei Fallbeispiele haben eine zentrale Produktions-Planungseinheit und -Steuerungseinheit, die die Fertigungsaufträge plant und in der Fertigung freigibt. Es werden Aufträge mit großen Losen freigegeben. In der Fertigung entstehen durch die Umstellung der Anlagen von einem Teil auf ein anderes lange Rüstzeiten, sodass hohe Losgrößen erforderlich sind, damit das Umrüsten noch wirtschaftlich bleibt. In den Fallbeispielen Bosch-Lieferant und Lantech kommt es zu Qualitätsproblemen.

Die Aufträge kommen auf sehr unterschiedliche Art und Weise in die Fertigung. Lantech hat eher eine kundenauftragsbezogene Fertigung: In der Regel steht fest, welche Maschine für welchen Kunden ist. Bei Festool und beim Bosch-Lieferanten liegt eine kundenanonyme Fertigung vor. Diese Unterschiede ergeben sich in erster Linie aus dem jeweiligen Produkt des Unternehmens und aus der jeweiligen Branche. Der Bosch-Lieferant ist ein Zulieferer für Bosch. Bosch selbst ist wiederum ein zulieferndes Unternehmen. Festool produziert für Endkunden, genauso wie Lantech. Dementsprechend sind die eingesetzten Technologien und Maschinen unterschiedlich.

Zwar bestimmt das Produkt viele Details der Produktion, doch sind die Strukturen und die Organisation in allen drei Fällen vergleichbar.

4.2 Einordnung gerichteter Systeme in Elementartypen

Auf der Basis der Elementartypen der Produktion können Produktionssysteme klassifiziert werden. Die Elementartypen können somit als ein unterstützendes Werkzeug für den Vergleich der Produktionssysteme verwendet werden. Die im Abschnitt 4.1 beschriebenen Fallbeispiele werden in der Tabelle 9 (vgl. S. 58) auf der Grundlage der Elementartypen der Produktion näher charakterisiert. Wenn sich aus den verfügbaren Informationen zu den Fallbeispielen für ein Merkmal keine eindeutige Merkmalsausprägung ableiten lässt oder wenn es zu dem Merkmal gar keine Aussage gibt, dann bleibt das Merkmal bei der Klassifizierung unberücksichtigt. Die Klassifizierung unterstützt den späteren Vergleich der gerichteten Systeme mit der mehrstufigen TF.

Allein aus der Klassifizierung der Fallbeispiele gerichteter Produktionssysteme lassen sich noch keine Tendenzen ablesen. Es zeigt sich jedoch, dass bei einigen Merkmalen eine gleiche - oder zumindest eine ähnliche - Ausprägung zu verzeichnen ist. Als relevante Merkmale gelten das Prinzip der räumlichen Anordnung, das Prinzip des zeitlichen Ablaufs, die Arbeitsteilung sowie die Art der Bearbeitungsfolge.

Tabelle 9: Einordnung der Fallbeispiele in die Elementartypen der Produktion

 Festool Bosch-Lieferant Lantech						
Input-orientierte Produktionsprozess-Typisierung						
vorherrschender Einsatzfaktor	arbeitsintensiv	materialintensiv	informationsintensiv	betriebsmittelintensiv	energieintensiv	kapitalintensiv
Qualifikation der eingesetzten Arbeitskräfte	gelernt		angelernt		ungelernt	
Art der Verbrauchsfaktoren	Werkstoffe		Betriebsstoffe		Handelswaren	
Art der eingesetzten Maschinen	Spezialmaschinen			Universalmaschinen		
Throughput-orientierte Produktionsprozess-Typisierung						
Art der Stoffverwertung	durchgängig	synthetisch	analytisch	austauschend		
Mengenaspekt der Produktion	Einzelfertigung		Mehrfachfertigung			
	Einmalfertigung	Wiederholfertigung	Sorten-, Variantenfertigung	Serienfertigung	Massenfertigung	
Prinzip der räumlichen Anordnung	Werkstattprinzip	Erzeugnis- (Gegenstands-) Prinzip			Einzelplatzprinzip	
		Gruppenprinzip	Reihenprinzip			
Prinzip des zeitlichen Ablaufs des Produktionsprozesses	ohne Teileweitergabe	mit Teileweitergabe				
		Reihenverlauf	Parallelverlauf	kombinierter Verlauf		
Grad der Mechanisierung/Automatisierung	Handprozess	mechanisierter Prozess	Maschinenprozess	teilautomatisierter Prozess	vollautomatisierter Prozess	
Grundform industrieller Produktionsprozesse	stoffgewinnende Prozesse		stoffumwandelnde Prozesse		stoffverformende Prozesse	
Arbeitsteilung	einstufiger Prozess		mehrstufiger Prozess			
			arbeitsteilig einfach		arbeitsteilig kompliziert	
Art der Bearbeitungsfolge	gleiche technologische Bearbeitungsfolge für alle Teile einer Klasse ohne Überspringen von Arbeitsplätzen		mit Überspringen von Arbeitsplätzen		variierende technologische Bearbeitungsreihenfolge der Teile einer Klasse	
kinematisches Verhalten der Elementarfaktoren im Produktionsprozess	Arbeitskräfte		Betriebsmittel		Werkstoffe	
	stationär	instationär	stationär	instationär	stationär	instationär
Fertigungstiefe	Teilefertigung = Eigenfertigung		Baugruppenmontage = Eigenfertigung		Endmontage = Eigenfertigung	

Output-orientierte Produktionsprozess-Typisierung							
Art der Produktionsauslösung	Auftragsproduktion (Bestellproduktion)			Vorratsproduktion			
	Einzelbestellung ▲		Rahmenvertrag ■ ● ▲				
Produktdiversifikation	keine Varianten		mittlere Variantenanzahl		hohe Variantenanzahl		
			■ ● ▲				
Zusammensetzung der Produkte	einteilige Produkte			mehrteilige Produkte			
	●			■ ▲			
Produkt-eigenschaften	Materialität der Güter		Gestalt der Güter		Art der Güterverwendung		
	materielle Güter	immaterielle Güter (Leistungen)	Fließgüter	Stückgüter	Produktions- (Investitions-)güter	Konsumgüter	
		■ ● ▲		■ ● ▲		■ ● ▲	

4.3 Erfüllung der Anforderungen mit Lean-Methoden in gerichteten Systemen

4.3.1 Ermittlung der Anforderungen

Zusammenfassend betrachtet, gibt es in den Fallbeispielen für die Einordnung der Anforderungen drei Ebenen: den einzelnen Arbeitsplatz, den Fertigungsfluss durch die gesamte Fertigung und die Organisation der Arbeitsabläufe. Auf der Grundlage der Beschreibung der Fallbeispiele werden in diesem Abschnitt die Anforderungen zusammengefasst. Sie bilden die Grundlage für die Entwicklung des Modells. Diese Anforderungen werden auch für den Vergleich mit den Problemen der mehrstufigen TF verwendet.

Einzelne Arbeitsplätze

Im Umfeld der Arbeitsplätze wird eine große Fläche für die Lagerung von Material benötigt. Das führt zu langen Lauf- und Greifwegen für die Mitarbeiter. Die Einzelarbeitsplätze haben nur relativ geringe Arbeitsinhalte. Eine Abtaktung stark isolierter Arbeitsplätze, die ggf. mit viel Material umstellt sind, ist schwer bis unmöglich zu realisieren. Lange Rüstzeiten für das Umstellen der Arbeitsplätze auf einen anderen Erzeugnistyp oder auf ein anderes Teil erfordern umfangreiche Fertigungsaufträge (Menge), um noch wirtschaftlich produzieren zu können.

Fertigungsfluss

Die Fertigung weist in ihrer Gesamtstruktur einen Werkstattcharakter auf. Ein eindeutiger Fertigungsfluss ist kaum erkennbar, da die Arbeitsplätze nur geringe Arbeitsinhalte haben und der Fertigungsfluss durch Lagerflächen, Qualitätsprüfungen und andere nicht-wertschöpfende Arbeitsschritte unterbrochen wird. Das führt zu langen Durchlaufzeiten. Befinden sich viele oder umfangreiche Aufträge im System, führt das zu langen Wartezeiten vor den Arbeitsplätzen.

Organisation

Umfangreiche Aufträge werden in der Fertigung freigegeben. Das führt an den Arbeitsplätzen zu großen Mengen an Material, das bereitzustellen ist und die Fläche belegt. Außerdem erzeugt das lange Wartezeiten der Aufträge vor den Arbeitsplätzen. Die Arbeitsplätze werden von einem zentralen Produktions-Planungs- und Produktions-Steuerungs-Bereich einzeln geplant. Daher ist es wichtig, dass die Arbeitsplätze den Arbeitsfortschritt bzw. die Beendigung eines Auftrags fertigmelden. Dies führt zu umfangreichen Aufwänden in der Organisation der Fertigung. Hohe Bestände in der

gesamten Fertigung sind eine Folge der hohen Auftragsgrößen und sind andererseits für eben diese erforderlich. Die Mitarbeiter der Fertigung kümmern sich um die Materialbereitstellung und um den Weitertransport der Materialien sowie um die Behebung von technischen Störungen der Anlagen. Auch die Schichtführer kümmern sich um die Materialverfügbarkeit und um technische Störungen der Linien. Es bestehen Qualitätsprobleme. Produktivitätssteigerungen in der Fertigung sind nur in einem geringen Umfang möglich.

4.3.2 Methodeneinsatz in den Fallbeispielen

Die Fallbeispiele wurden beschrieben und klassifiziert. Auch die Anforderungen wurden benannt. Im nächsten Schritt ist nun zu untersuchen, welche Lean-Methoden eingesetzt wurden, um eine Schlanke Produktion zu etablieren.

In den Fallbeispielen wurden unterschiedliche Methoden eingesetzt. Dabei kamen nicht nur die Lean-Methoden in ihrer klar abgegrenzten Form, wie sie im Abschnitt 2.1.3 beschrieben wurden, zum Einsatz. Es wurden Mischformen zusammengestellt, andere Methodenbezeichnungen verwendet u.v.a.m. Außerdem wurden in den beschriebenen Fallbeispielen ganze Unternehmen verändert. Damit wurde ein deutlich weiterer Ausschnitt verwendet, als in der vorliegenden Arbeit angenommen wird.

Es wird aber trotzdem der Versuch unternommen, eine Verbindung zwischen den Methoden, die in den Fallbeispielen eingesetzt wurden, und dem im Abschnitt 2.1.3 beschriebenen Methodenkatalog herzustellen. Zu diesem Zweck werden die in den Fallbeispielen vorgestellten Vorgehen und Ziele mit dem eingeführten Methodenkatalog dieser Arbeit inhaltlich verglichen.

Außerdem wird untersucht, in welcher Reihenfolge die Methoden in den Fallbeispielen zum Einsatz kamen. Damit soll die Frage beantwortet werden, ob sich ein Verfahren für die Einführung von Lean-Methoden bei vergleichbaren Ausgangssituationen angeben lässt.

Tabelle 10: Methodeneinsatz bei den Fallbeispielen

Methode	Festool¹⁵	Bosch-Lieferant¹⁶	Lantech¹⁷
SMED	6	2	6
TPM	8		7
Standardisierung	1	3	3
Arbeiten im Takt	1		3
JIT/JIS	8	3	7
kontinuierlicher Fluss / U-Linie	1	3	2
5S			
Kanban	5	3	
Pull	4	3	5
Heijunka / Nivellieren und Glätten	7	8	8
VSM/VSD		1	1

Die in den Fallbeispielen eingesetzten Methoden sind in der Tabelle 10 in der Reihenfolge ihrer Anwendung zusammengestellt. Ist einer Methode keine Reihenfolgennummer zugeordnet, dann wurde sie im betreffenden Fallbeispiel nicht erwähnt. Es zeigt sich, dass die Reihenfolge des Einsatzes der einzelnen Methoden nicht immer klar erkennbar ist. Manche Methoden werden nahezu gleichzeitig eingeführt, weil sie einander bedingen. In

¹⁵ Quelle: [Regber 2007], S. 317 ff.

¹⁶ Quelle: [Schumacher 2007], S. 76-101

¹⁷ Quelle: [Womack 2003], S. S 111-124)

den Fallbeispielen werden aber Methoden auch dann zur selben Zeit eingeführt, wenn sie an unterschiedlichen Punkten im System wirksam werden sollen. Weiterhin wird deutlich, dass nicht in jedem Fall alle Methoden eingeführt wurden. Beim Vergleich der drei Fallbeispiele lässt sich keine gemeinsame Vorgehensweise bei der Anwendungsreihenfolge der Methoden erkennen.

Die Analyse der Fallbeispiele hinsichtlich der Intensität des Methodeneinsatzes zeigt, dass sich Schwerpunktthemen bzw. Schwerpunktmethoden erkennen lassen. Es handelt sich dabei um ein oder zwei Methoden, die besonders intensiv zum Einsatz kommen, die laut der Beschreibung der Fallbeispiele eine Schlüsselfunktion für den Gesamterfolg des Veränderungsprozesses erfüllen. Im Fallbeispiel Festool sind es die Methoden „kontinuierlicher Fluss“ und Kanban. Im Fallbeispiel Bosch-Lieferant sind es die Methode „kontinuierlicher Fluss“ als ein Mittel, um Verschwendungen im Prozess auszumerzen, und die Wertstrommethode (VSM/VSD). Lantech hat mit dem methodischen Ansatz „kontinuierlicher Fluss“ bzw. U-Linie sehr viel Zeit in den Aufbau der Produktionslinien investiert, um einen kontinuierlichen Produktionsfluss der Teile zu ermöglichen. Es gibt also in allen drei Fallbeispielen eine gemeinsame Schwerpunktmethode: „kontinuierlicher Fluss“ bzw. U-Linie.

Die Tabelle 10 offenbart allerdings auch, dass in keinem der Fallbeispiele die Methode 5S explizit erwähnt wird, obwohl sie doch gemäß der Rechercheauswertung im Abschnitt 2.1.3.3 zu den am häufigsten eingesetzten Lean-Methoden zählt. Das überrascht aber nicht. Die Methode 5S ist in der Fertigung eine Grundvoraussetzung für viele andere Methoden, wie beispielsweise für die Methoden „kontinuierlicher Fluss“ bzw. U-Linie, Standardisierung, SMED und TPM. Wird die Methode 5S isoliert eingesetzt, dann hat sie nur eine geringe unmittelbare Wirkung auf die Ergebnisgrößen in der Produktion. Häufig wird diese Methode fast intuitiv eingesetzt. Im Fallbeispiel Festool erwähnt Regber diese Methode gar nicht. Die Informationen aus dem Festool-Firmenarchiv geben jedoch Hinweise darauf, dass im Veränderungsprozess auch die Methode 5S von Bedeutung war. Aus den Informationen lässt sich jedoch nicht entnehmen, an welcher Stelle in der Kette der anderen Methoden 5S zum Einsatz gekommen ist. Vermutlich sind entsprechend dem jeweiligen Stand der Umsetzung der Lean-Methoden in einem Unternehmen auch andere als die genannten Lean-Methoden zur Anwendung gekommen.

4.3.3 Ergebnisse des Methodeneinsatzes in den Fallbeispielen

Die Ausgangssituation und die eingesetzten Lean-Methoden sind für die drei Fallbeispiele jeweils ausführlich dargestellt worden. In diesem Abschnitt soll anhand von Ergebnis-Kenngrößen dargestellt werden, zu welchen Veränderungen der Einsatz der Methoden führt. Diese Ergebnis-Kenngrößen sind bei der Modellierung der gerichteten Systeme von Bedeutung, um die Wirksamkeit der Methoden einschätzen zu können.

Für die Fallbeispiele wurden in den Literaturquellen unterschiedliche Bezugsrahmen und Kenngrößen angegeben. Das liegt daran, dass die Veröffentlichungen unterschiedliche Schwerpunkte gesetzt haben. Für die Zwecke der vorliegenden Arbeit wird - soweit dies möglich ist - eine Angleichung der Darstellung vorgenommen. Damit soll die Vergleichbarkeit der Fallbeispiele gesichert werden. Die Veröffentlichungen haben für die Darstellung der Ergebnisse des Veränderungsprozesses unterschiedliche Zeitpunkte gewählt. Im Fallbeispiel Festool wird nach fünf Jahren intensiver Veränderungen Bilanz gezogen. Der Bosch-Lieferant hat bis zum Stichtag lediglich sechs Monate Umsetzungsarbeit beansprucht und bei Lantech hat der Veränderungsprozess 3 Jahre gedauert. Auffällig an der Veröffentlichung zum Fallbeispiel Bosch-Lieferant ist, dass Schumacher versucht, möglichst alle Verbesserungen als Kostenersparnisse auszudrücken. Die anderen beiden Fallbeispiele beschränken sich auf eine Darstellung der Verbesserungen der typischen Messgrößen einer Kategorie bzw. auf die Angabe ihrer prozentualen Veränderungen.

Die Tabelle 11 zeigt die Ergebnisse der Fallbeispiele in einer Zusammenfassung. In der Kategorie Bestandsreduzierung hat es bei Festool und bei Lantech eine Verschiebung gegeben. Beide Unternehmen haben die Ausbringungsmenge deutlich erhöht und trotzdem die Bestände reduzieren können. Für die Darstellung in der vorliegenden Arbeit wird die Bestandsmenge der Ausgangssituation um den Faktor der erhöhten Ausbringung angehoben. Dahinter verbirgt sich die Annahme, dass die Bestandsmenge - bei ansonsten gleichen Bedingungen der Ausgangssituation - um denselben Faktor wie die erhöhte Ausbringungsmenge zu steigern gewesen wäre. Für die Flächenproduktivität wird dieses Rechenverfahren allerdings nicht angewendet. Es gibt in den Fallbeispielen keine Angaben zum Auslastungsgrad der Lager.

Tabelle 11: Ergebnisse Einsatz Lean-Methoden Fallbeispiele

Ergebnis-Kenngrößen	Festool¹⁸	Bosch-Lieferant¹⁹	Lantech²⁰
Mitarbeiterproduktivität	+ 44%	+ 9%	+100 %
Flächenproduktivität	+ 36%	vorhanden, aber nicht explizit ausgewiesen	+ 81%
Qualitätsverbesserung beim Kunden [Fehler beim Kunden]	keine Angabe	+ 100%	+ 90%
Reduzierung der Durchlaufzeit in der Produktion	- 90 %	- 31%	- 94%
Reduzierung der Lieferzeit zum Kunden	keine Angabe	kein Kriterium, da Lieferpläne mit Kunden vereinbart	- 80%
Liefertreue	+ 55%	+ 25%	Keine Angabe
Bestandsreduzierung	- 56% (Gesamtbestand)	- 65% (Ware in Arbeit)	- 63% (Gesamtbestand)
Reduzierung Herstellkosten je Produkt	- 40%	durchschnittlich 0,61 EUR pro Stück	Keine Angabe
Marktanteile	keine Angabe, lediglich Steigerung Ausbringung um Faktor 1,5	kein Kriterium	+31%

Bei einer genauen Analyse der Ergebnisse zeigt sich, dass schon nach kurzer Zeit gute Ergebnisse erkennbar sind. Die Defizite, die in der Ausgangssituation geschildert wurden, spiegeln sich in den Ergebnis-Kennzahlen wider. Die Fallbeispiele weisen unterschiedliche Veränderungsdaten auf. Das ist sicherlich auf die unterschiedlichen Ausgangssituationen der Unternehmen, aber auch auf die unterschiedliche Dauer des Veränderungsprozesses zurückzuführen. Die ausgewiesenen Verbesserungen entsprechen wesentlichen Fortschritten, es handelt sich nicht um marginale Veränderungen. Bei Festool und Lantech wird klar ersichtlich, dass sich die Veränderungen in der Produktion deutlich auf den Unternehmenserfolg auswirken. Durch gesteigerte Ausbringungsmengen wird der Umsatz erhöht und bei Lantech wird sogar der Marktanteil deutlich vergrößert. Außerdem haben beide Fälle signifikant höhere Verbesserungsdaten zu verzeichnen, was sicherlich nicht zuletzt auf die Umsetzungsdauer von mehreren Jahren zurückzuführen ist.

¹⁸ Quelle: Festool Archiv

¹⁹ Quelle: [Schumacher 2007], S. 86-101

²⁰ Quelle: [Womack 2003], S. 121)

Die in der Tabelle 11 zusammengestellten Veränderungen und Wirkungen der eingesetzten Lean-Methoden werden im nächsten Schritt durch ein Modell verallgemeinert beschrieben. Damit soll erreicht werden, dass sich die in den Fallbeispielen beschriebenen Veränderungen auch im Modell nachvollziehen lassen.

4.4 Modellierung der Methodenwirkung in gerichteten Systemen

4.4.1 Abbilden der Anforderungen in Wirkungsketten

Im ersten Schritt wird dargestellt, wie aus den beschriebenen Anforderungen der Fallbeispiele Wirkungsketten gebildet werden können. Die Wirkungsketten werden im weiteren Verlauf dieses Abschnitts zu einem Modell zusammengefügt. Schließlich wird eine qualitative Simulation vorgenommen, um im Modell die Wirkungen von Lean-Methoden aufzuzeigen.

Für die Darstellung der Wirkungen und Wirkungsketten werden Variablen benötigt. Diesen Variablen werden für eine spätere Auswertung des Modells entsprechende Eigenschaftswerte zugewiesen. Das Modell enthält gemäß der Know-why-Methode (vgl. Abschnitt 3.3) zwei Variablentypen: Faktoren und Kriterien. Die Kriterien dienen zur Integration bzw. Weiterentwicklung der Faktoren. Der Einsatz der Lean-Methoden wird sich somit in den Kriterien zur Weiterentwicklung der Faktoren widerspiegeln. Wenn eine Kombination von Faktoren und/oder Kriterien benötigt wird, werden Kriterien zur Integration verwendet. Die Tabelle 12 fasst die verwendeten Variablen, ihre Funktion im Modell und ihre Bedeutung zusammen.

Tabelle 12: Definition der Modell-Variablen für gerichtete Systeme

Nummer	Name	Funktion im Modell	Definition
1	Mitarbeiterproduktivität	Faktor	Die Mitarbeiterproduktivität bezieht sich auf alle Mitarbeiter, die - direkt oder indirekt - am Produktionsprozess beteiligt sind. Diese Variable ist ein Abbild der Fähigkeit des betrachteten Systems, optimierte Abläufe in der Produktion zu erzeugen und diese Abläufe einzuhalten, damit die Ausbringungsmenge je Zeiteinheit entsprechend hoch ist. Nicht-wertschöpfende Tätigkeiten mindern die Produktivität.
1-2	Varianz bei der Ausführung der Aufgaben	Kriterium zur Integration von Faktoren	Eine hohe Varianz bei der Ausführung von Aufgaben bedeutet, dass die Durchführung gleicher Tätigkeiten sehr unterschiedliche Zeitaufwände beansprucht. Eine hohe Varianz ist ein Indikator für Kriterien, die die Mitarbeiterproduktivität mindern.
1-3	Bewusstsein und Aktivität für Standardisierung	Kriterium zur Entwicklung von Faktoren	Standardisierung von Tätigkeiten oder Prozessen bedeutet, für die gleiche Durchführung einen festgelegten Ablauf zu haben. Das Arbeiten mit Standards setzt innerhalb der Organisation ein Bewusstsein für diese Methode voraus.
1-4	Qualität der Abtaktung	Kriterium zur Entwicklung von Faktoren	Beim der Abtaktung geht es um die zeitliche Abstimmung der aufeinanderfolgenden Tätigkeiten in der Fertigung, um Wartezeiten zu vermeiden.

Num-mer	Name	Funktion im Modell	Definition
1-5	Arbeiten im Takt	Kriterium zur Integration von Kriterien	Arbeiten im Takt ist ein Ergebnis aus der Qualität der Abtaktung und der Varianz bei der Ausführung der Aufgaben.
2	Qualität des Bestandsniveaus	Faktor	Die Qualität des Bestandsniveaus bemisst sich nach der Höhe des Bestands als Reichweite, orientiert am erwarteten Verbrauch. Diese Variable zum Bestandsniveau berücksichtigt Roh- und Fertigware.
2-2	Umfang der eingesetzten Pull-Methoden	Kriterium zur Entwicklung von Faktoren	Der Umfang der eingesetzten Pull-Methoden bezieht sich auf die Durchgängigkeit der Pull-Methoden in der gesamten Produktion. Ist in der Produktion eine hohe Durchdringung beim Einsatz der Pull-Methoden erreicht, dann zeigt sich die wahre Wirkung der Methoden umfänglich.
2-3	Pull-Umsetzungsgrad	Kriterium zur Integration von Kriterien	Die Einführung der Pull-Methoden ist nur dann umfänglich wirksam, vor allem auf die Bestände des Unternehmens, wenn dies in Kombination mit anderen Methoden geschieht. Diese Variable stellt das im Modell sicher, indem sie die anderen Kriterien in ihrer Wirksamkeit vereint und die Wirkung dann an die Faktoren weitergibt.
3	Flächenproduktivität	Faktor	Die Flächenproduktivität gibt an, wie gut die vorhandene Fläche genutzt wird, um Wertschöpfung zu betreiben. Diese Größe wird zum einen von der Qualität des Bestandsniveaus und zum anderen vom allgemeinen Ordnungs- und Sauberkeitsgrad der Fertigung maßgeblich beeinflusst.
4	Planbarkeit der Aufträge – Zuverlässigkeit	Faktor	Die Planbarkeit der Aufträge in der Produktion zeigt an, ob nach Ablauf der Zeit, die für einen Auftrag eingeplant wurde, dieser fertiggestellt ist. Werden Pläne verändert, weil sich Prioritäten geändert haben, ist kein Verlass mehr auf die Produktionsplanung. Es kann dem Kunden keine zuverlässige Aussage gegeben werden.
5	Liefertreue	Faktor	Die Liefertreue gibt an, ob ein anfangs bestätigter Liefertermin eingehalten wird. Werden Terminverschiebungen später vorgenommen, sollen diese nicht für den Faktor Liefertreue berücksichtigt werden.
6	Anlagenproduktivität	Faktor	Die Anlagenproduktivität gibt an, in welcher Höhe die geplante Produktionszeit zur Fertigung von Gutteilen genutzt wird.
6-2	Qualität Rüstablauf	Kriterium zur Entwicklung von Faktoren	Die Qualität des Rüstablaufs zeigt den Optimierungsgrad des Rüstprozesses an, von der Vorbereitung der Rüstaktivitäten über den eigentlichen Maschinenstillstand bis zur Nachbereitung der Rüstaktivitäten.

Num-mer	Name	Funktion im Modell	Definition
6-3	Qualität der Wartungsaktivitäten	Kriterium zur Entwicklung von Faktoren	Die Qualität der Wartungsaktivitäten misst sich an unvorhersehbaren Stillständen von Anlagen bzw. an der Wartungsdauer. Vorausschauende Instandhaltung vermeidet ersteres. Standardisierte Wartungstätigkeiten stellen die Planbarkeit von Stillständen sicher.
7	Produktionsflexibilität	Faktor	Eine hohe Produktionsflexibilität liegt vor, wenn einerseits die Anlagen möglichst flexibel eingesetzt werden können, da dann hohe Produktivität vorliegt. Die Produktionsflexibilität richtet sich aber auch in Richtung Mengenflexibilität, um möglichst nahe am sich verändernden Kundenbedarf orientiert produzieren.
8	5S-Niveau der Fertigung	Faktor	Das 5S-Niveau einer Fertigung wird gemessen an der Ordnung und Sauberkeit in der Fertigung. Dies wird deutlich, wenn Transparenz über den aktuellen Zustand herrscht.
8-2	Bewusstsein + Aktivität für 5S	Kriterium zur Entwicklung von Faktoren	Bei der Methode 5S geht es um die Verfügbarkeit des Wissens und das entsprechende Agieren. Das alleinige Bewusstsein für die Methode ist nicht ausreichend, es sind auch Aktivitäten erforderlich, um Ergebnisse zu erzielen.
9	Umlaufbestand	Faktor	Der Umlaufbestand bezieht sich auf alle Teile, die keine Rohware und noch keine Fertigungsgüter sind.
10	Qualität des Fertigungsflusses	Kriterium zur Entwicklung von Faktoren	Die Qualität des Fertigungsflusses gibt an, wie gut der Fertigungsfluss aufgebaut ist, ob es möglichst wenige Unterbrechungen durch Linienwechsel, Puffer oder ähnliches gibt. Hier spielt das Thema Einstückfluss eine bedeutende Rolle.
11	Durchlaufzeit	Faktor	Die Durchlaufzeit ist ein Ergebnis der Bestände einer Fertigung. Hohe Bestände führen zu hohen Durchlaufzeiten.
12	Leistungsniveau der Logistik	Faktor	Das Leistungsniveau der Logistik bildet die Effizienz der Arbeitsweise ab. Sie wird durch verschiedene Variablen beeinflusst. Das Zusammenspiel mit der Produktion, Trennung von Wertschöpfung und Logistik, ist ein wichtiger Einfluss.
12-2	Niveau Trennung von Wertschöpfung und Logistik	Kriterium zur Entwicklung von Faktoren	Die Trennung von Wertschöpfung und Logistik gibt an, wie gut die Prozesse in der Fertigung organisiert und Verantwortlichkeiten zugewiesen sind.
13	Qualität beim Nivellieren und Glätten	Faktor	Die Qualität beim Nivellieren und Glätten gibt an, wie flexibel die Produktion zwischen den Produkttypen wechselt. Es geht um die Mengen- und Variantenflexibilität der Fertigung.
13-2	Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters	Kriterium zur Entwicklung von Faktoren	Die Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters gibt an, wie häufig derselbe Typ in einer Zeiteinheit aufgelegt wird.

Aufgrund der ermittelten Anforderungen der Fallbeispiele gerichteter Systeme lassen sich Wirkungszusammenhänge ableiten. Im weiteren Verlauf dieses Abschnitts werden die erkennbaren Zusammenhänge mit den in der Tabelle 12 angegebenen Variablen verbunden. Dadurch werden Wirkungszusammenhänge dargestellt. Diese individuellen Wirkungszusammenhänge sind wichtige Bausteine für das aufzustellende Modell, das alle Wirkungszusammenhänge in sich vereinen soll. Es wird sich herausstellen, dass sich einige Wirkungspfade häufig wiederholen.

In der Tabelle 13 werden die Wirkungen nur einmal als Wirkungskette aufgeführt und beschrieben. Die jeweils betroffenen Variablen werden dagegen bei jeder Wirkung immer wieder angegeben. Dadurch soll die Lesbarkeit des Textes erhöht und sollen unnötige Wiederholungen vermieden werden. Die jeweils betroffenen Variablen werden aufsteigend nach ihrer Nummer angegeben. Diese Reihenfolge entspricht nicht ihrer Wirkungsreihenfolge. Da Wirkungsketten nicht immer eindeutig gerichtet sind, soll die Wirkungsreihenfolge erst bei der Darstellung der Wirkungszusammenhänge endgültig festgelegt werden.

Tabelle 13: Wirkungszusammenhänge gerichteter Systeme

Anforderungen der Fallbeispiele	Betroffene Variablen	Wirkungszusammenhänge
„eine große Fläche für die Lagerung von Material benötigt“	1, 1-2, 1-5, 2, 2-2, 2-3, 3, 4, 5, 6, 8, 8-2, 9, 11, 12, 13	<p>Wird in der Fertigung viel Fläche zum Lagern von Material benötigt, dann ist das ein Indikator für Mitarbeiter mit einem gestörten Arbeitsablauf: die Varianz bei der Ausführung der Aufgaben nimmt zu. Damit wird das Arbeiten im Takt schwieriger und die Mitarbeiterproduktivität und die Anlagenproduktivität sinken.</p> <p>Wird viel Fläche zum Lagern in der Fertigung benötigt, ist das ein Indikator für einen hohen Umlaufbestand und ein geringes Bewusstsein bzw. wenig Aktivitäten für das Thema 5S in der Fertigung. Ist das allgemeine 5S-Niveau der Fertigung gering, dann wirkt sich das negativ auf das Leistungsniveau der Logistik aus und erhöht die Varianz bei der Ausführung der Aufgaben.</p> <p>Hohe Umlaufbestände sind auf eine Push-gesteuerte Materialversorgung zurückzuführen. Das heißt, dass der Umfang der eingesetzten Pull-Methoden gering ist. Das führt zu einem niedrigen Leistungsniveau in der Logistik. Auch ein erhöhter Umlaufbestand führt zu hohen Durchlaufzeiten und schließlich zu einer geringen Planbarkeit der Aufträge in der Fertigung. Das führt zu einer geringen Liefertreue beim Endkunden. Hohe Bestände führen zu einer geringen Flächenproduktivität sowie zu einem geringen 5S-Niveau in der Fertigung. Eine weitere Folge hoher Durchlaufzeiten ist mittelfristig eine geringe Qualität beim Nivellieren und Glätten der Fertigungsaufträge. Auch eine geringe Planbarkeit der Aufträge senkt die Qualität beim Nivellieren und Glätten. Die geringe Planbarkeit der Aufträge führt mittelfristig zu erhöhten Beständen im System, die der Planung mehr Sicherheit verschaffen sollen.</p>

Anforderungen Fallbeispiele	Betroffene Variablen	Wirkungszusammenhänge
„lange Rüstzeiten für das Umstellen der Arbeitsplätze auf einen anderen Erzeugnistyp“	1-2, 1-3, 5, 6, 6-2, 7, 8, 8-2, 9, 11	<p>Ein geringes Bewusstsein für Standards und eine geringe Qualität beim Rüstablauf führen zu einer hohen Varianz bei der Durchführung der Rüstaufgaben und zu einer geringen Anlagenproduktivität. Außerdem führen lange Rüstzeiten zu hohen Auftragsgrößen und damit wiederum zu hohen Umlaufbeständen und Durchlaufzeiten. Weiterhin führen umfangreiche Aufträge zu einer geringeren Flexibilität in der Fertigung.</p> <p>Ein hoher Umlaufbestand wirkt sich positiv auf die Anlagenproduktivität aus. Maschinen warten nicht auf Aufträge.</p> <p>Lange Rüstzeiten sind auch ein Indikator für ein geringes 5S-Niveau in der Fertigung.</p>
„Die Fertigung weist in ihrer Gesamtstruktur einen Werkstattcharakter auf.“	1, 1-4, 1-5, 9, 10	<p>Eine geringe Qualität des Fertigungsflusses führt zu einer geringen Mitarbeiterproduktivität. Außerdem haben die Mitarbeiter häufige Unterbrechungen in den Arbeitsabläufen, die zu Doppelhandlung führen. Bei einem Werkstattcharakter finden in einer Fertigung eher kleinteilige Arbeitsabläufe an den einzelnen Arbeitsplätzen statt. Eine hohe Qualität der Abtaktung ist nicht möglich. Arbeiten im Takt wird verschlechtert.</p> <p>Die Unterbrechungen im Fertigungsfluss haben außerdem zur Folge, dass der Umlaufbestand in der Fertigung hoch ist. Viele Arbeitsstationen mit geringem Arbeitsinhalt müssen angelaufen werden, um Teile fertigzustellen.</p>
„Umfangreiche Aufträge werden in der Fertigung freigegeben [...] Außerdem erzeugt das lange Wartezeiten der Aufträge vor den Arbeitsplätzen“	2, 2-2, 2-3, 3, 7, 9, 11, 12, 13, 13-2	<p>Eine hohe Anzahl umfangreicher Aufträge im System deutet darauf hin, dass es keine Beschränkung der Auftragsfreigabe in die Produktion gibt, orientiert an den fertiggestellten Aufträgen. Der Umfang der eingesetzten Pull-Methoden ist gering und damit das Bestandsniveau hoch. Ein geringer Einsatz von Pull-Methoden führt auch zu einem geringen Leistungsniveau in der Logistik, da verschiedene umfangreiche Aufträge zu handhaben sind.</p> <p>Viele umfangreiche Aufträge im System zeigen, dass die Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters von geringer Güte ist. Die sich daraus ergebende geringe Qualität beim Nivellieren und Glätten führt zu einer geringeren Produktionsflexibilität und zu hohen Umlaufbeständen.</p>
„Arbeitsplätze werden von einem zentralen Produktionsplanungs- und Produktionssteuerungsbereich einzeln geplant“	2, 2-2, 2-3, 9, 12	<p>Eine zentrale Produktionsplanung und -steuerung weist auf einen geringen Einsatz von Pull-Methoden hin. Demnach sind das allgemeine Bestandsniveau bzw. der Umlaufbestand hoch. Das Leistungsniveau der Logistik wird ebenfalls beeinträchtigt.</p>

Anforderungen Fallbeispiele	Betroffene Variablen	Wirkungszusammenhänge
„Mitarbeiter der Fertigung kümmern sich um die Materialbereitstellung und um den Weitertransport der Materialien sowie um die Behebung von technischen Störungen der Anlagen“	1-2, 6, 6-3, 8, 11, 12, 12-2,	<p>Werden logistische Tätigkeiten von den Mitarbeitern in der Fertigung übernommen, dann liegt ein geringes Niveau bei der Trennung von Wertschöpfung und Logistik vor. Das reduziert deutlich das eigentliche Leistungsniveau der Logistik. Da die Logistik das eigene Leistungsportfolio nicht voll anbieten und nutzen kann, wird die Durchlaufzeit für Aufträge verlängert.</p> <p>Werden Logistikaufgaben von der Fertigung übernommen, steigert dies auch die Varianz bei der Ausführung von Aufgaben in der Fertigung.</p> <p>Außerdem führen die Mitarbeiter der Fertigung Aktivitäten zur Beseitigung von technischen Störungen an den Anlagen durch. Das ist ein Hinweis auf eine geringe Qualität der Wartungsaktivitäten. Dies senkt die Anlagenproduktivität. Auch hier wird eine erhöhte Varianz bei der Ausführung der Fertigungstätigkeiten in Kauf genommen. Eine geringe Qualität der Wartungsaktivitäten stellt sich durch ein geringes 5S-Niveau in der Fertigung dar.</p>

4.4.2 Modellierung der Ausgangssituation gerichteter Systeme

Die Beschreibung der Anforderungen der Fallbeispiele und die Definition der erforderlichen Variablen hat im vorangegangenen Abschnitt zur Darstellung von Wirkungszusammenhängen geführt. Die Ursachen und Wirkungen wurden im Zusammenhang dargestellt; sie können nun im nächsten Schritt zu einem Gesamtmodell zusammengefasst werden. Dieses Modell zeigt qualitativ die typische Ausgangssituation gerichteter Systeme. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Verläufe von Veränderungsprozessen - infolge von sehr unterschiedlichen Ausgangssituationen - wird eine rein qualitative Darstellung gewählt.

Das Modell ist in nur zwei Stufen gegliedert: Es gibt das Gesamtmodell, das sich aus 13 Submodellen zusammensetzt (siehe die Abbildung 27). In den Submodellen gibt es keine weiteren Teilmodelle. Die Submodelle stellen den präzisen Zusammenhang zwischen den Variablen dar. Dabei werden die Faktoren und die Kriterien - trotz ihrer unterschiedlichen Funktionen - in gleicher Weise dargestellt. In der Abbildung 28 ist repräsentativ das Submodell 1 „Mitarbeiterproduktivität“ abgebildet. Im Interesse der besseren Unterscheidung sind die Variablen, die eigene Submodelle bilden, grau eingefärbt. Die Variablen, die lediglich einen unterstützenden Charakter - ohne eigene Teilmodelle - haben, sind hellblau eingefärbt. Somit wird eine detaillierte Darstellung der Zusammenhänge erst durch die Untermodelle möglich. Das Gesamtmodell gibt eine Zusammenfassung aller Wirkungszusammenhänge.

Im Interesse einer besseren Übersicht über alle Wirkungen im Modell enthält die Einflussmatrix (vgl. hierzu Tabelle 14, S. 71) die Wirkungsstärken und die zeitlichen Verzögerungen der einzelnen Wirkungen. Die Lesrichtung ist von links nach rechts, sodass die Wirkung - ausgehend von den vertikal aufgetragenen Variablen - in die Richtung der horizontal aufgetragenen Variablen geht. Leere Zellen zeigen an, dass im Modell zwischen den betroffenen Variablen kein Wirkungszusammenhang besteht. Der erste Wert in der Zelle steht für die Wirkungsstärke und die Wirkungsrichtung. Ein positives Vorzeichen bedeutet, dass ein verstärkender Effekt vorliegt. Ein negatives Vorzeichen zeigt einen mindernden Effekt an. Ist die Wirkungsstärke mit 1 angegeben, dann liegt eine unterdurchschnittliche Wirkung vor. Der Wert 2 symbolisiert eine eher durchschnittliche und der Wert 3 eine überdurchschnittliche Wirkung. Der zweite Wert der Zelle gibt die

zeitliche Verzögerung an. Ein kurzfristiger Effekt wird mit 1 angegeben. Die 2 steht für eine mittelfristige Wirkung. Eine langfristige Wirkung wird durch 3 angegeben.

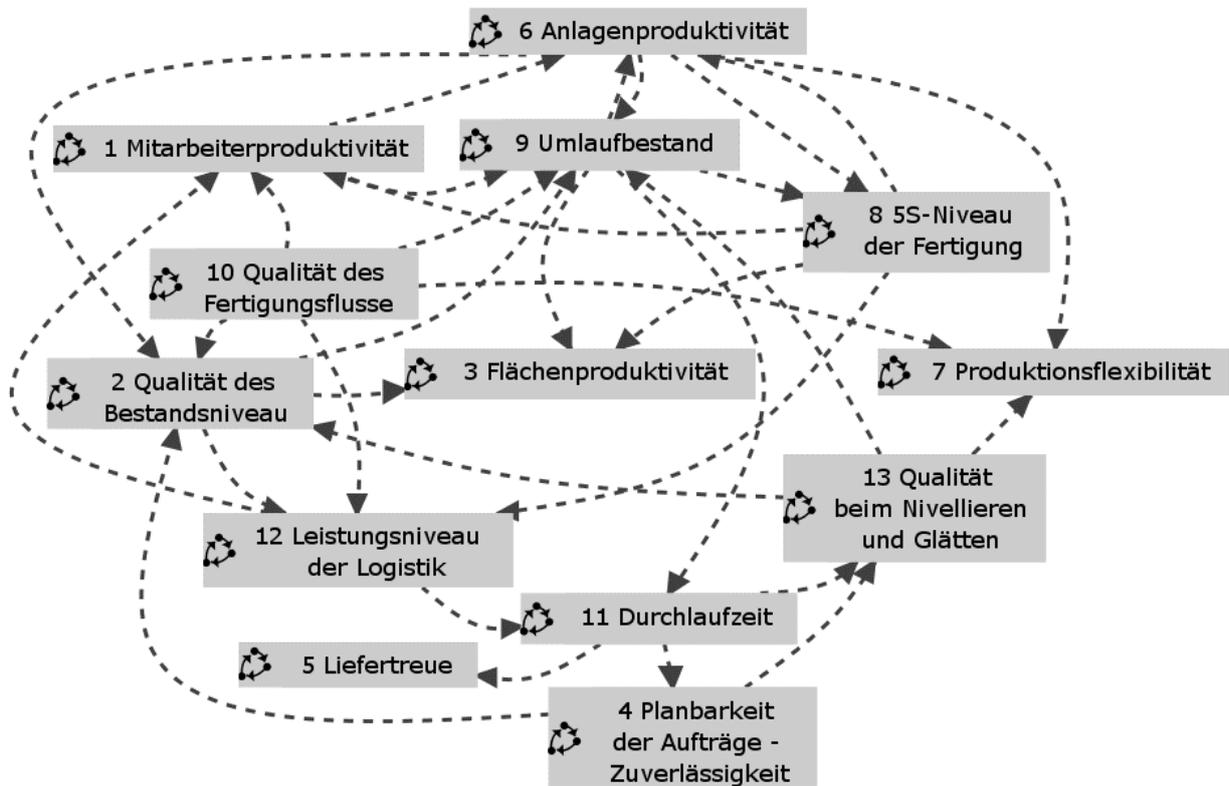


Abbildung 27: Übersicht Zusammenspiel der Submodelle im Modell gerichteter Systeme

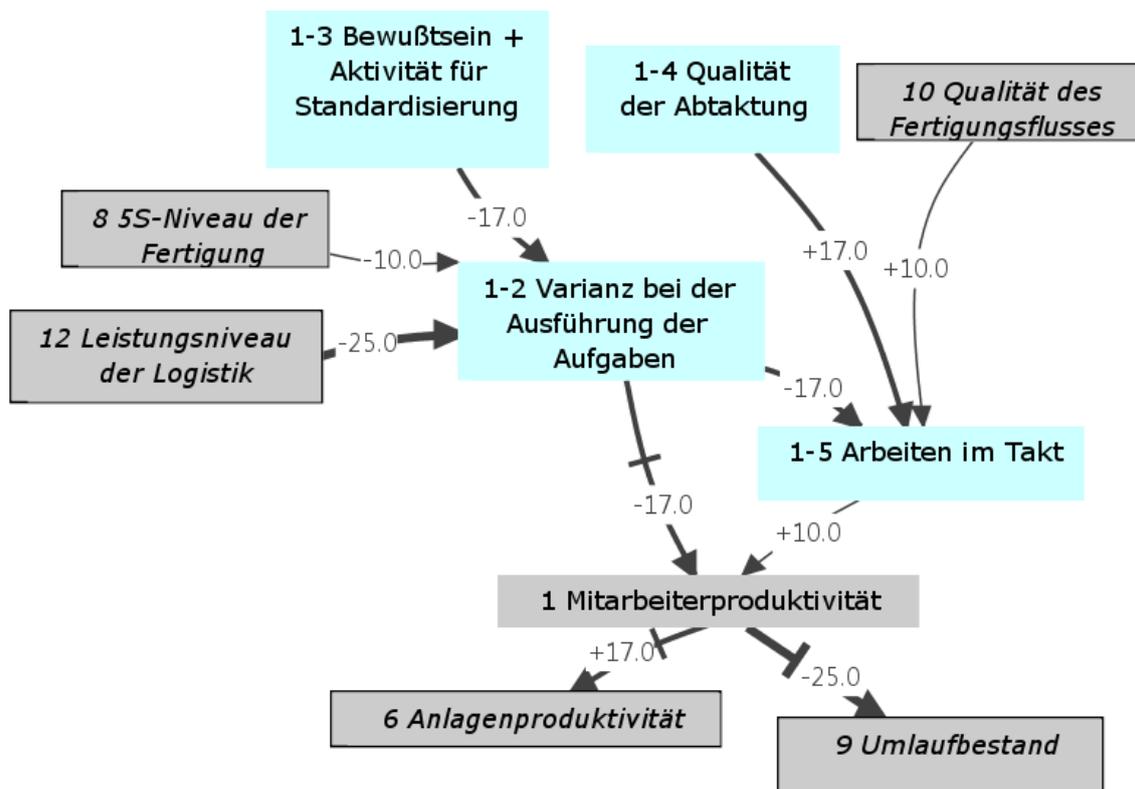


Abbildung 28: Wirkungszusammenhänge im Submodell „Mitarbeiterproduktivität“

Bei genauer Betrachtung der Tabelle 14 wird deutlich, welche Variablen Kriterien für die Entwicklung anderer Variablen sind. Diese Variablen haben in ihrer vertikal verlaufenden Spalte keine Eintragungen. Das heißt: diese Variablen werden von keiner anderen Variablen beeinflusst. Weiterhin fällt auf, dass die Variablen Flächenproduktivität (3), Liefertreue (5) und Produktionsflexibilität (7) in ihren horizontal verlaufenden Zeilen keine Eintragungen haben. Diese Variablen beeinflussen im Modell keine anderen Variablen und fungieren demnach als Ergebnisvariablen.

Die Berechnung der Aktiv- und Passivwerte der Variablen gibt weitere Aufschlüsse über die Zusammenhänge im Modell. Der Aktivwert einer Variablen wird als Summe der Beträge der Wirkungsstärken dieser Variablen in ihrer horizontal verlaufenden Zeile ermittelt. Die aktivsten Variablen des Modells sind die „Qualität des Fertigungsflusses“ (10) und der Umlaufbestand (9) mit Aktivwerten von 7 bzw. 6. Der Passivwert einer Variablen wird als Summe der Beträge der Wirkungsstärken dieser Variablen in ihrer vertikal verlaufenden Spalte ermittelt. Die am stärksten beeinflussten Variablen sind die Anlagenproduktivität (6) und die „Qualität beim Nivellieren und Glätten“ (13) mit einem Passivwert von jeweils 7.

Die höchst unterschiedliche Ausgangssituation der im Abschnitt 4.1 beschriebenen Fallbeispiele führt zu einer allgemeinen, qualitativen Simulation der Ausgangssituation gerichteter Systeme. Zu diesem Zweck werden im Modell für die Kriterien zur Entwicklung von Faktoren Ausgangswerte angenommen und allgemeine Formeln für die Berechnung der übrigen Variablen im Modell festgelegt. Die Kriterien für die Entwicklung von Faktoren erhalten als Ausgangswert den Wert 0,2. Dieser Wert signalisiert, dass bereits minimale Veränderungen vorgenommen wurden, das Unternehmen also nicht bei null anfängt, wie es auch bei keinem der Fallbeispiele war. Schließlich existierten bereits Arbeitspläne, Abläufe, Prozesse usw. Der Wert soll aber auch zeigen, dass noch Verbesserungen möglich sind. Die Festlegung des Ausgangswertes spiegelt letztlich die Fähigkeit des Unternehmens zur Veränderung und zur Weiterentwicklung wider.

Bei der Simulation mit der Software „Consideo Modeler“ wird mit relativ niedrigen Werten (0,2 in der Ausgangssituation) gearbeitet. Schließlich ist bei der Erstellung des Modells zu bedenken, dass die Faktoren über Formeln berechnet werden und dass die berechneten Werte der Faktoren bei ungünstiger Konstellation schnell in hohe Wertebereiche abdriften und so den zulässigen Wertebereich der Software verlassen.

Tabelle 14: Einflussmatrix gerichtete Systeme

Nr.	Variablenname	Variable																								
		1	1-2	1-3	1-4	1-5	2	2-2	2-3	3	4	5	6	6-2	6-3	7	8	8-2	9	10	11	12	12-2	13	13-2	
1	Mitarbeiterproduktivität																									
1-2	Varianz bei der Ausführung der Aufgaben	-2/2			-2/1																					
1-3	Bewußtsein+Aktivität für Standardisierung		-2/1																							
1-4	Qualität der Abtaktung				2/1																					
1-5	Arbeiten im Takt	1/1																								
2	Qualität des Bestandsniveaus								2/2																	
2-2	Umfang eingesetzter Pull-Methoden					2/2		2/1																		
2-3	Pull-Umsetzungsgrad																									
3	Flächenproduktivität																									
4	Planbarkeit der Aufträge - Zuverlässigkeit					1/2																				2/2
5	Liefertreue																									
6	Anlagenproduktivität					2/2											1/2									
6-2	Qualität Rüstablauf						2/2											1/1								
6-3	Qualität der Wartungsaktivitäten																	1/1								
7	Produktionsflexibilität																									
8	5S- Niveau der Fertigung																									
8-2	Bewußtsein+Aktivität für 5S																									
9	Umlaufbestand																									
10	Qualität des Fertigungsflusses																									
11	Durchlaufzeit					1/1		2/1																		
12	Leistungsniveau der Logistik																									
12-2	Niveau Trennung von Wertschöpfung und Logistik																									
13	Qualität beim Nivellieren und Glätten																									
13-2	Wiederholbarkeit des Produktionsmusters																									2/2

Anmerkungen: Lesrichtung von links nach rechts; erster Wert der Zelle ist die Wirkungsstärke und zweiter Wert die Wirkungsverzögerung; zum ersten Wert: ein positiver Wert bedeutet verstärkende, ein negativer Wert mindernde Wirkung auf die andere Variable; 1 bedeutet unterdurchschnittliche Wirkung, 2 steht für durchschnittliche Wirkung und 3 bedeutet eine überdurchschnittliche Wirkung; der zweite Wert der Zelle ist die zeitliche Verzögerung der Wirkung; 1 bedeutet kurzfristige Wirkung, 2 steht für eine mittelfristige Wirkung und 3 signalisiert eine langfristige Wirkung

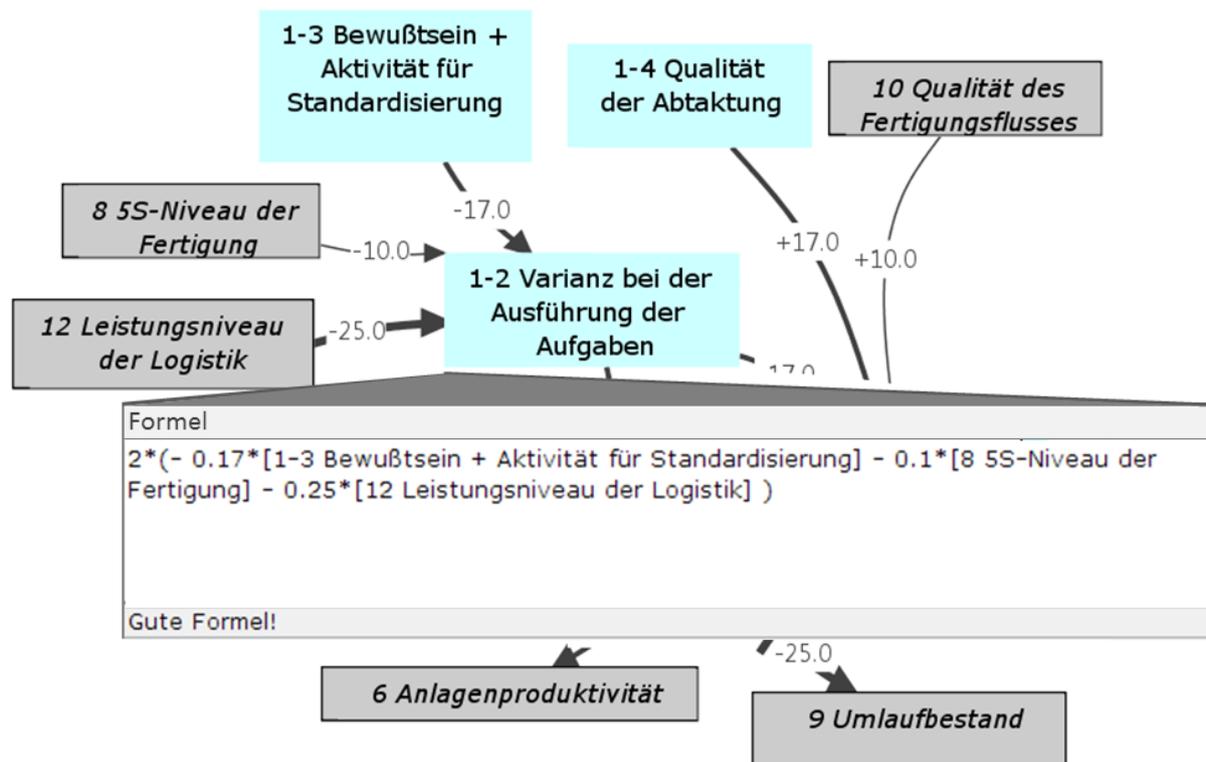


Abbildung 29: Formelermittlung im Modell gerichteter Systeme

Die Faktoren und die Kriterien zur Integration der Faktoren werden durch Formeln festgelegt, die aus der gegenseitigen Konstellation der Variablen abgeleitet werden. In der Abbildung 29 wird am Beispiel des Kriteriums 1-2 „Varianz bei der Ausführung der Aufgaben“ gezeigt, wie die Formeln grundsätzlich im Modell aufgebaut werden. Dabei werden alle Variablen berücksichtigt, die im Modell auf die betrachtete Variable direkt einwirken. Je nach Wirkungsstärke und Wirkungsrichtung wird ein Faktor vor die beeinflussende Variable gesetzt. Ist die Wirkungsrichtung negativ, so ist auch das Vorzeichen negativ. Ist die Wirkungsgröße schwach (in der Einflussmatrix mit 1 gekennzeichnet), dann wird der Faktor 0,1 eingesetzt. Bei starker Wirkung (bei einem Wert 2 in der Einflussmatrix) wird für die Berechnung der Wert 0,17 verwendet. Liegt eine überdurchschnittliche Wirkung (der Wert 3 in der Einflussmatrix) vor, dann wird in der Formel der Wert 0,25 verwendet. Auf diese Weise werden die einwirkenden Variablen in der Formel berücksichtigt. Wichtig ist dabei, dass eine Variable am Ende nicht mathematisch überbestimmt ist. Das vorliegende Modell hat die Prüfung auf Überbestimmung erfolgreich bestanden. Abschließend wird in diesem Modell jedes Ergebnis verdoppelt. Dieser Schritt ist erforderlich, weil sonst die Ergebnisse der Simulation zu sehr kleinen Zahlenwerten für die Ausgangssituation führen. Bei grafischen Auswertungen wäre dann schlecht erkennbar, wann sich das System im eingeschwungenen Zustand befindet. Die zeitliche Verzögerung wird laut Herstellerangabe der Software „Consideo Modeler“ durch interne Algorithmen berücksichtigt, die jedoch nicht offengelegt werden.

Die qualitative Simulation des Modells erfolgt im ersten Schritt über 19 Zeiteinheiten. Im Zuge der Simulationsexperimente hat sich gezeigt, dass das System dann eingeschwungen ist und dass sich die Werte der Variablen nicht mehr verändern. In der Abbildung 30 wird für alle zu berechnenden Variablen des Modells die Werteentwicklung bis zum eingeschwungenen Zustand des Systems aufgezeigt. Es wird deutlich, dass sich viele Variablen während der ersten Zeiteinheiten auf sehr ähnliche Weise verhalten. Schließlich gibt es beim Zeitschritt 12 eine letzte Bewegung für „Qualität beim Nivellieren und Glätten“. Das beweist, dass zeitverzögerte Wirkungen über lange Wirkungsketten durch die Software entsprechend berücksichtigt werden. Die detaillierten Ergebnisse des

Simulationsläufe gerichteter Systeme in der Ausgangssituation befinden sich im Anhang 9.3 in der Tabelle 51 (vgl. S. 177).

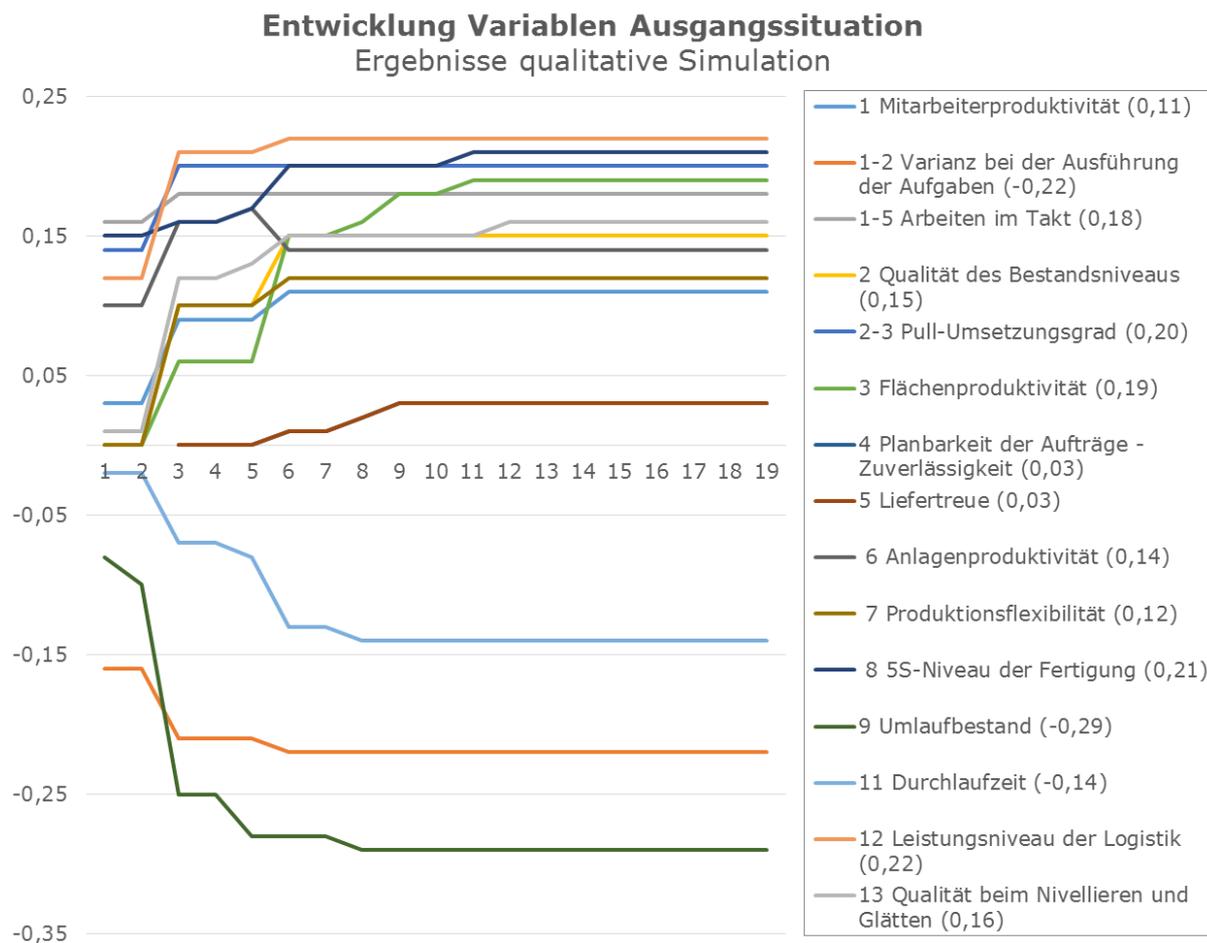


Abbildung 30: Datenverläufe in der Ausgangssituation bis eingeschwungener Zustand

4.4.3 Modellierung des Methodeneinsatzes in gerichteten Systemen

Die Modellierung der gerichteten Systeme und die Simulation der Wirkungszusammenhänge geben wertvolle Hinweise darauf, wie sich die einzelnen Variablen zeitlich verändern. Doch erst mit der Einführung von Variationen im Modell werden die Wirkungszusammenhänge transparent. Wenn die Optimierung der gerichteten Systeme nach Lean-Kriterien erfolgt, können die erreichten Veränderungen aufgezeigt und die Abweichungen von der Ausgangssituation gemessen werden. In diesem Abschnitt wird beschrieben, wie die ausgewählten Lean-Methoden in das Modell der gerichteten Systeme aufgenommen werden und welche Veränderungen sich in den Wirkungsweisen des Modells ergeben. Die Simulationsergebnisse werden schließlich mit den Ergebnissen der Fallbeispiele verglichen.

Das Modell für gerichtete Systeme ist so konzipiert, dass seine Grundstruktur auch bei den Optimierungen erhalten bleibt. Die Einführung von Lean-Methoden erfolgt über eine Variation der Parameter der Kriterien zur Entwicklung von Faktoren. Diese Kriterien sind schließlich die Hauptstellschrauben und fungieren im Modell als Systemgrenzen. Sie sind Variable, die als Inputgrößen dienen und die den Kontakt zur Welt außerhalb der Systemgrenzen herstellen. Durch eine Variation der Parameter kann die Stärke des Methodeneinsatzes abgebildet werden.

Tabelle 15: Abbilden der Lean-Methoden im Modell über Kriterien

Lean-Methode	Variable im Modell	Wirkungsweise
SMED	6-2 Qualität im Rüstablauf	positiv
TPM	6-3 Qualität der Wartungsaktivitäten	positiv
Standardisierung	1-3 Bewusstsein und Aktivität für Standardisierung	positiv
Arbeiten im Takt	1-4 Qualität der Abtaktung	positiv
JIT/JIS	12-2 Niveau Trennung von Wertschöpfung und Logistik	positiv
kontinuierlicher Fluss / U-Linie	10 Qualität des Fertigungsflusses	positiv
5S	8-2 Bewusstsein und Aktivität für 5S	positiv
Kanban	2-2 Umfang eingesetzter Pull-Methoden	positiv
Pull		
Heijunka / Nivellieren und Glätten	13-2 Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters	positiv
VSM/VSD	nicht im Modell enthalten	/

In der Tabelle 15 werden die ausgewählten Lean-Methoden den jeweiligen Stellschrauben im Modell zugeordnet. Außerdem ist die Wirkungsweise der Variablen im Modell angegeben. Eine positive Wirkungsweise bedeutet, dass eine Anhebung der Parameter der Variable mit einem verstärkten Einsatz der Methode gleichzusetzen ist. Beispielsweise wird die Methode SMED durch die Variable 6-2 „Qualität im Rüstablauf“ repräsentiert. Wird der Einsatz der Lean-Methode SMED forciert, dann wird das im Modell durch einen erhöhten Wert für die Variable 6-2 „Qualität im Rüstablauf“ dargestellt.

Die Lean-Methode Kanban ist eine Form der Realisierung der Methode Pull (vgl. hierzu die Erläuterungen im Abschnitt 2.1.3.3). Die Fallbeispiele zeigen, dass hier in der Praxis keine besondere Unterscheidung vorgenommen wird. Lediglich im Fallbeispiel Festool wird explizit zwischen Pull und Kanban unterschieden. Allerdings erfolgt im Fallbeispiel Festool letztlich mehr als 90% der Pull-Realisierung über Kanban. Daher wurde im Modell bei der Umsetzung der beiden Methoden keine explizite Unterscheidung vorgenommen.

Die Wertstromanalyse und -gestaltung (VSM/VSD) kann im Modell nicht dargestellt werden, da es sich hierbei um eine reine Analyse- und Konzeptionierungsmethode handelt. Das Modell ist hingegen auf die Wirkungsweisen in einem Produktionssystem ausgerichtet. Eine Einbindung dieser Methode in das Modell ist daher nicht vorgesehen.

In der Ausgangssituation wurden die Parameter der Kriterien zur Entwicklung der Faktoren grundsätzlich auf den Ausgangswert 0,2 gesetzt. Um die Veränderungen durch die Einführung der Lean-Methoden zu berücksichtigen, wird dieser Wert auf 1,0 erhöht. Das bedeutet im Vergleich zur Ausgangssituation eine um den Faktor 5 verbesserte Situation. Der Simulationsverlauf wird so gestaltet, dass die Optimierung im Anschluss an den eingeschwungenen Zustand der Ausgangssituation ab der 20. Zeiteinheit erfolgt. Der Simulationslauf wird bis zur 50. Zeiteinheit fortgesetzt, sodass sich das System nach der Optimierung wieder stabilisieren kann. Im Anhang sind die Ergebnisse des Simulationslaufs mit absoluten Werten angegeben (vgl. hierzu Tabelle 52, S. 178).

Die Abbildung 31 zeigt, dass sich das System in der 19. Zeiteinheit in einem stabilen Zustand befindet. Im Gefolge der Veränderungen, die alle in der 20. Zeiteinheit eingeführt werden, machen sich Veränderungen der Faktoren bemerkbar. Das System benötigt dann noch Zeit bis zur 36. Zeiteinheit, um erneut in einen eingeschwungenen Zustand zu gelangen. Dabei passt sich die Variable 3 „Flächenproduktivität“ am langsamsten an die Veränderungen an, da lange Wirkungsketten mit mittelfristiger Wirkungsweise vorliegen.

Weiterhin zeigt die Abbildung 31 deutlich, dass es Variablen gibt, die auf die Veränderungen sehr stark reagieren, wie beispielsweise die Variablen 1-2 „Varianz bei der

Ausführung der Aufgaben“, 1-5 „Arbeiten im Takt“, 8 „5S-Niveau der Fertigung“, 9 „Umlaufbestand“ und 12 „Leistungsniveau der Logistik“. Die beiden Variablen 4 „Planbarkeit der Aufträge“ und 5 „Liefertreue“ laufen komplett parallel zueinander. Beide Größen werden in gleicher Weise von der Durchlaufzeit beeinflusst. Allerdings wirkt sich im weiteren Verlauf der Wirkungsketten die Planbarkeit der Aufträge anders aus als die Liefertreue. Das rechtfertigt die Berücksichtigung beider Faktoren.

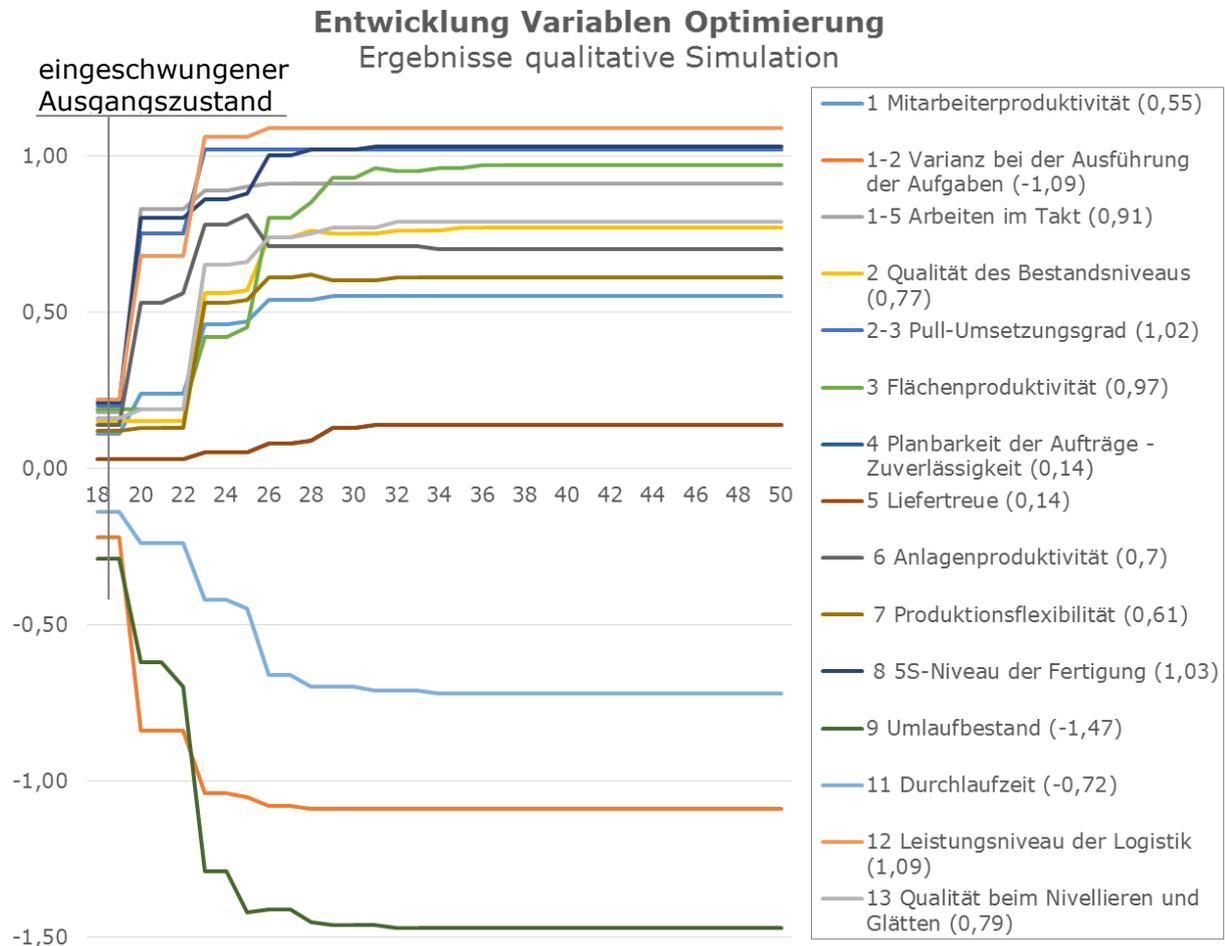


Abbildung 31: Datenverläufe Ausgangssituation und Optimierung

Die qualitative Simulation der Wirkungszusammenhänge des Modells ermöglicht eine qualitative Abschätzung der Auswirkungen des Einsatzes ausgewählter Lean-Methoden auf ein gerichtetes System. Ein Vergleich mit den Fallbeispielen erscheint jedoch nicht sinnvoll, da aus der Beschreibung der Fallbeispiele nicht ersichtlich ist, in welchem Maße die jeweilige Methode eingesetzt und in ihrer Anwendung forciert wurde. Im Modell wird in dieser Hinsicht ein gerichteter Ansatz gewählt: Alle Lean-Methoden werden zum selben Zeitpunkt in gleichem Maße eingesetzt. Dies ist für die qualitative Simulation - zur Darstellung der Wirkungsweisen - ein gerechtfertigter Ansatz. Auf der Grundlage dieses Modells und der Fallbeispiele mit ihrer Zahlenbasis ist eine Feinjustierung der Wirkungszusammenhänge möglich. Außerdem kann konkret abgeschätzt werden, welche Ergebnisse durch die Einführung der jeweiligen Lean-Methode zu erwarten sind.

4.4.4 Evaluierung des entwickelten Modells

In der vorliegenden Arbeit wird mit einem rein qualitativen Modell gearbeitet. Daher ist eine quantitative Evaluierung des Modells über Praxisfälle und Simulationsläufe nicht möglich. Für die Evaluierung bietet es sich jedoch an, die im Modell für die einzelnen Methoden ermittelten Wirkungen mit den in der Literatur beschriebenen Erkenntnissen zu vergleichen. Zu diesem Zweck werden die ausgewählten Lean-Methoden im Modell einzeln

vom Wert der Ausgangssituation (0,2) auf den Wert der optimierten Situation (1,0) angehoben. Dabei wird jeweils nur ein einziges Kriterium zur Entwicklung von Faktoren angepasst, um im Modell die Wirkung der mit diesem Kriterium verbundenen Methode zu beobachten. Sind die im Modell auftretenden Veränderungen vergleichbar mit den in der Literatur beschriebenen Wirkungen der Methodeneinführung, dann wird dieser Bereich des Modells als validiert betrachtet. Das Modell beschreibt unmittelbare, mittelfristige und langfristige Wirkungsketten. Bei einer genaueren Betrachtung des Modells fällt auf, dass viele Faktoren über mehrere Stufen miteinander verbunden sind. So können selbst bei Veränderungen, die einen Faktor nicht unmittelbar betreffen, über die langfristigen Effekte dennoch Veränderungen dieses Faktors zu beobachten sein. Dieses Verhalten lässt sich bereits in der Abbildung 31 (siehe Abschnitt 4.4.3, S. 75) beobachten. Es gibt einige Variable, die unmittelbar auf Veränderungen reagieren. Andere Variable reagieren dagegen zeitversetzt. Schließlich gibt es Faktoren, die aufgrund langer Wirkungsketten eine längere Zeit benötigen, um in einen stabilen Zustand zu gelangen.

Tabelle 16: Wirkungsveränderungen durch Einführung von Lean-Methoden im Modell

Lean-Methode	Verändertes Kriterium	Beeinflusste Faktoren	Literaturquelle
SMED	6-2 Qualität Rüstablauf	6 Anlagenproduktivität 7 Produktionsflexibilität 8 5S-Niveau der Fertigung 9 Umlaufbestand	[Kletti 2011], S. 99 f.
TPM	6-3 Qualität der Wartungsaktivitäten	6 Anlagenproduktivität 7 Produktionsflexibilität 8 5S-Niveau der Fertigung 9 Umlaufbestand	[Kletti 2011], S. 95 f.
Standardisierung	1-3 Bewusstsein und Aktivität für Standardisierung	1 Mitarbeiterproduktivität 1-2 Varianz bei der Ausführung der Aufgaben 1-5 Arbeiten im Takt	[Nepal 2011]
Arbeiten im Takt	1-4 Qualität der Abtaktung	1 Mitarbeiterproduktivität 1-5 Arbeiten im Takt	[Monden 1998], S. 11-12, 145 f.; [Liker 2007], S. 205 f.
JIT/JIS	12-2 Trennen von Wertschöpfung und Logistik	1 Mitarbeiterproduktivität 1-5 Arbeiten im Takt 6 Anlagenproduktivität 9 Umlaufbestand 12 Leistungsniveau der Logistik	[Brown 2006]
kontinuierlicher Fluss / U-Linie	10 Qualität des Fertigungsflusses	1 Mitarbeiterproduktivität 1-5 Arbeiten im Takt 3 Flächenproduktivität 6 Anlagenproduktivität 7 Produktionsflexibilität 9 Umlaufbestand 11 Durchlaufzeit 12 Leistungsniveau der Logistik 13 Qualität beim Nivellieren und Glätten	[Liker 2007], S. 135-148; [Shingo 1992], S. 184; [Ohno 2009], S. 43-44

Lean-Methode	Verändertes Kriterium	Beeinflusste Faktoren	Literaturquelle
5S	8-2 Bewusstsein und Aktivität für 5S	1 Mitarbeiterproduktivität 1-2 Varianz bei der Ausführung der Aufgaben 1-5 Arbeiten im Takt 3 Flächenproduktivität 6 Anlagenproduktivität 8 5S-Niveau der Fertigung 12 Leistungsniveau der Logistik	[Nölling 2008], S. 55-56; [Dickmann 2007], S. 43 f.; [Liker 2007], S. 85 f.
Pull bzw. Kanban	2-2 Umfang eingesetzter Pull-Methoden	2 Qualität des Bestandsniveaus 3 Flächenproduktivität 9 Umlaufbestand 12 Leistungsniveau der Logistik	[Shingo 1992], S. 150 ff.; [Lödding 2008], S. 177 ff.
Heijunka / Nivellieren und Glätten	13-2 Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters	2 Qualität des Bestandsniveaus 7 Produktionsflexibilität 9 Umlaufbestand	[Takeda 2004], S. 41-42; [Rother 2003], S. 50

Zum Zweck der Evaluierung wird im Vorfeld für jede einzuführende Lean-Methode anhand der Veröffentlichungen ermittelt, welche Wirkungen unmittelbar zu erwarten sind. Die zu erwartenden Veränderungen werden durch einen Simulationslauf überprüft. Dann werden die Werte der Faktoren in der eingeschwungenen Ausgangssituation mit den Werten nach der Optimierung verglichen. Wenn sich Faktoren deutlich verändern, obwohl sie gemäß den Aussagen in der Literatur keine unmittelbare Wirkung zeigen sollten, wird mit Hilfe des Modells geprüft, ob die Wirkung über lange Wirkungsketten oder aufgrund eines unmittelbaren Zusammenhangs eintritt. Das Ziel der Evaluierung besteht darin, die direkten Wirkungsgefüge zu überprüfen, und damit alle Wirkungsketten zu bestätigen. Die Überprüfung erfolgt anhand von Simulationsläufen und auf der Grundlage der ermittelten Werte der Faktoren. Im Zuge der Evaluierung wird das Ausmaß der Faktorveränderung nicht berücksichtigt, da es sich nur um ein qualitatives Modell und somit auch nur um eine qualitative Simulation handelt. Die Tabelle 16 zeigt die Lean-Methoden mit den jeweils zugehörigen Kriterien im Modell. Außerdem werden die beeinflussten Faktoren dargestellt und die verwendeten Literaturquellen. Die detaillierten Ergebnisse der Simulationsläufe zur Evaluierung des Modells befinden sich im Anhang (vgl. Anhang 9.4, S. 178).

4.5 Methodenreihenfolge für gerichtete Systeme

4.5.1 Bewertungskriterien für die Ermittlung der Methodenreihenfolge für gerichtete Systeme

In der Literatur findet man keine einheitliche Aussage über ein Verfahren zur Einführung von Lean-Methoden im Fall von gerichteten Systemen. Die jeweils vorgeschlagene Reihenfolge der anzuwendenden Methoden variiert stark (vgl. hierzu Tabelle 4, S. 24). Auch die Analyse der in den beschriebenen Fallbeispielen verwendeten Methodenreihenfolgen gibt keinen Hinweis auf ein geeignetes Verfahren, das in mehreren Fällen erfolgreich verwendet worden wäre (siehe Tabelle 10, S. 60).

Die Einführung eines umfangreichen Methodenkatalogs ist mit weitreichenden Konsequenzen verbunden und betrifft das gesamte Unternehmen. Derartige Vorhaben werden in den Unternehmen in der Regel als Projekte durchgeführt, deren Auftraggeber die Geschäftsleitung ist oder sogar die Unternehmensinhaber sind. Es stellt sich also die Frage, welcher Empfehlung der Literatur oder welchen Erfahrungen der Fallbeispiele zu folgen ist. Mit einer schrittweisen Simulation kann ermittelt werden, in welcher Reihenfolge

die ausgewählten Lean-Methoden einzuführen sind, um eine größtmögliche Wirkung zu erzielen. Fraglich ist nur, nach welchen Kriterien entschieden werden soll, welche Reihenfolge am nützlichsten ist.

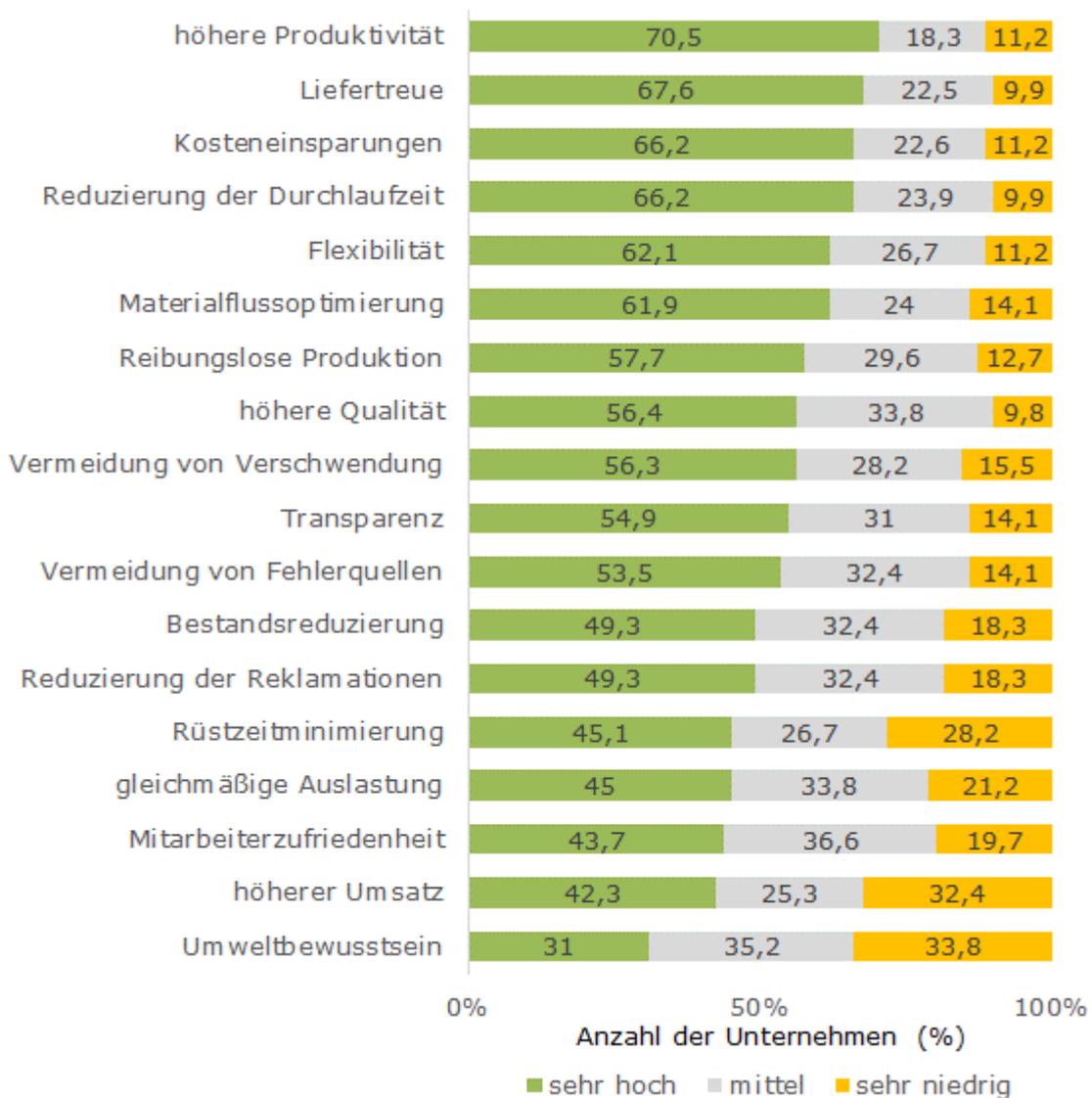


Abbildung 32: Ergebnisse der Befragung mittelständischer Unternehmen zum Nutzen ganzheitlicher Produktionssysteme (vgl. [Jödicke 2013], S. 126)

Für den Auftraggeber eines derart umfangreichen Projekts ist der maximale Nutzen, der sich aus den damit verbundenen Investitionen ergibt, das entscheidende Argument. Am Ende muss sich eine solche Investition lohnen und im Idealfall schnell amortisieren. Die empirische Studie von Jödicke (vgl. [Jödicke 2013]) im Bereich der mittelständischen Unternehmen zeigt, welchen Nutzen einer solchen Umstellung die befragten Unternehmen als besonders wichtig einstufen. Die Ergebnisse der Befragung sind in der Abbildung 32 grafisch aufbereitet. Die vier am höchsten bewerteten Nutzen sind messbare Ergebnisgrößen, die sich im Wesentlichen auf zwei Grundrichtungen reduzieren lassen: messbare Verbesserung der Leistung gegenüber dem Kunden und Reduzierung der Herstellkosten. Die Liefertreue gehört dabei zur ersten Grundrichtung. Eine Reduzierung der Herstellungskosten kann einerseits durch eine Produktivitätssteigerung erzielt werden und andererseits durch eine Bestandssenkung bzw. durch eine Verkürzung der Durchlaufzeiten, die eine Bestandssenkung impliziert. Die Simulationsläufe können sich lediglich hinsichtlich der Amortisation der Projektinvestitionen unterscheiden. Es ist also dasjenige Methodenreihenfolge auszuwählen, die am schnellsten zu einer möglichst hohen Produktivität, zu einer verbesserten Liefertreue und zu einer Verkürzung der

Durchlaufzeiten führt. Ein Verfahren sollte genau diese Ermittlung der Methodenreihenfolge unterstützen.

Im vorangegangenen Abschnitt 4.4 wurden diese messbaren Ergebnisgrößen auch im Modell berücksichtigt. Die Liefertreue ist die Variable 5. Die Produktivität wird zum einen durch die Mitarbeiterproduktivität, durch die Variable 1, und zum anderen durch die Anlagenproduktivität, durch die Variable 6, repräsentiert. Die Kosteneinsparungen durch Bestandsreduzierungen werden durch die Variable 2 „Qualität des Bestandsniveaus“ und durch die Variable 9 „Umlaufbestand“ repräsentiert.

Die Bestimmung der optimalen Methodenreihenfolge könnte anhand der Kriterien „höchste Produktivität“, „beste Liefertreue“ und „beste Bestandsreduzierung“ ermittelt werden. Um eine bessere Differenzierung der Kriterien zu erhalten, sollten sie noch entsprechend den Befragungsergebnissen aus der Abbildung 32 gewichtet werden. Diese Gewichtung orientiert sich an der abgestuften Bedeutung aus den Umfrageergebnissen und ist detailliert im Anhang 9.5 (siehe S. 183) dargestellt.

Die Gewichtung der Kriterien sieht vor, dass die Variablen 1 und 6 in den einzelnen Simulationsschritten mit dem Wert 1,019 gewichtet werden. Die Variable 5 wird mit dem Wert 1,008 gewichtet. Die Variablen 2 und 9 werden in den Simulationsläufen jeweils mit dem Faktor 1 gewichtet.

4.5.2 Bewertung der Methoden gemäß den Kriterien zur Ermittlung einer Methodenreihenfolge

Mit Hilfe des Modells und der ermittelten Bewertungskriterien lässt sich schrittweise eine optimale Reihenfolge für die Einführung der ausgewählten Lean-Methoden bestimmen. Dafür werden die Simulationskriterien verwendet, die bereits im Abschnitt 4.4.3 vorgestellt wurden.

Die Kriterien zur Entwicklung der Faktoren werden - ausgehend vom Wert 0,2 in der Ausgangssituation - jeweils um den Faktor 5 erhöht, also auf den Wert 1,0. Für jede einzuführende Lean-Methode wird nur die sie repräsentierende Variable verändert. Die Ergebniswerte der Faktoren werden mit den Werten der Ausgangssituation verglichen. Im ersten Schritt werden neun Simulationsläufe durchgeführt, in denen jeweils eine Variable von 0,2 auf 1,0 erhöht wird. Die Ergebnisse jedes Simulationslaufs werden mit den Ergebnissen der Ausgangssituation verglichen und entsprechend der im Abschnitt 4.5.1 eingeführten und gewichteten Bewertung beurteilt. Die Variablenanpassung mit der stärksten Veränderung der ausgewählten Faktoren (Variable 1, 2, 5, 8 und 9) bildet die erste Veränderungsstufe.

Danach werden 8 weitere Simulationsläufe durchgeführt. Die erste ermittelte Veränderung wird dabei als gegeben angenommen. Der zugehörigen Variablen wird in der Simulation von Anfang an der Wert 1,0 zugewiesen. Anschließend wird der Reihe nach jeweils eine Variable angepasst, um die Auswirkungen auf die Faktoren zu messen und sie mit der neuen Ausgangssituation der ersten Veränderungsstufe zu vergleichen. Die Simulationsarbeit wird solange fortgesetzt, bis alle Methoden ihre optimale Position in der gesamten Methodenreihenfolge erhalten haben.²¹

In der Tabelle 17 sind die Ergebnisse der Simulationsläufe zusammenfassend dargestellt. Es zeigt sich, mit welcher Methode bei der Einführung eines schlanken Produktionssystems sinnvollerweise begonnen werden sollte.

²¹ Die Ergebnisse der Simulationsläufe sowie die gewichtete Bewertung der ermittelten Faktoren sind im Anhang 9.6 (vgl. S. 182) dargestellt.

Tabelle 17: Methodenreihenfolge für gerichtete Systeme

Optimierungsstufe	Variable	Übergeordnete Lean-Methode
1	6-2 Qualität Rüstablauf	SMED
2	10 Qualität des Fertigungsflusses	kontinuierlicher Fluss / U-Linie
3	6-3 Qualität der Wartungsaktivitäten	TPM
4	2-2 Umfang eingesetzter Pull-Methoden	Kanban und Pull
5	1-3 Bewusstsein und Aktivität für Standardisierung	Standardisierung
6	12-2 Niveau Trennung von Wertschöpfung und Logistik	JIT/JIS
7	13-2 Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters	Heijunka / Nivellieren und Glätten
8	8-2 Bewusstsein und Aktivität für 5S	5S
9	1-4 Qualität der Abtaktung	Arbeiten im Takt

Beim Vergleich mit den in der Literatur beschriebenen Methodenreihenfolgen, die als Fallbeispiele verwendet wurden, lässt sich feststellen, dass in einem Fall ebenfalls mit der Methode SMED gestartet wurde - nämlich im Fallbeispiel des Bosch-Lieferanten. Der weitere Verlauf der Methodeneinführung lässt sich bei diesem Fallbeispiel aus den Veröffentlichungen kaum rekonstruieren, sodass der Eindruck entsteht, dass mehrere Methoden gleichzeitig zum Einsatz kamen. Tatsächlich war die Ausgangssituation, wie sie sich in den Fallbeispielen darstellt, so, dass hohe Bestände vorliegen und damit ein Puffer zur Absicherung der Unsicherheiten - beispielsweise langwieriges Rüsten oder unzuverlässige Anlagen - vorhanden ist. Es ist sinnvoll, genau an dieser Stellschraube zu drehen und im ersten Schritt SMED in den Mittelpunkt der Aktivitäten zu rücken. Im Anschluss daran können dann andere Methoden - beispielsweise die Methoden „kontinuierlicher Fluss“ oder Kanban - ihre Wirkung voll entfalten.

Man darf nicht vergessen, dass mit dem Modell und den in ihm durchgeführten Simulationen nur ein allgemeines und vereinfachtes Vorgehen realisiert wird. In der Praxis wird es kaum möglich sein, alle ausgewählten Lean-Methoden auf dem gleichen Niveau bzw. mit der gleichen Intensität einzuführen. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass in den Unternehmen die Ausgangssituationen hinsichtlich der Entwicklungsfelder und damit auch die Ausgangssituationen der Kriterien zur Entwicklung der Faktoren sehr heterogen sind und somit differenziert behandelt werden müssen. Außerdem wird in vielen Unternehmen mit der Einführung neuer Methoden ein unbekanntes Terrain betreten. Daher werden in der Regel zunächst Erfahrungen in einem abgegrenzten Testbereich gesammelt, und erst nach einem Erfolg das Vorgehen innerhalb des Unternehmens ausgerollt. Mit der Einführung weiterer Methoden werden häufig zusätzliche Potentiale sichtbar, die zuvor noch nicht erkannt worden sind, sodass es häufig zu weiteren Umsetzungsaktivitäten kommt, die parallel und mitunter in einem iterativen Prozess stattfinden. Diese Umsetzungspraxis findet keinen Eingang in das Modell. Jedoch kann durch die Beschreibung der Ausgangssituation und unter Einbindung eines erfahrenen Lean-Spezialisten das Modell für den jeweiligen Fall so modifiziert werden, dass sich klare Aussagen hinsichtlich der Ausgangssituation und hinsichtlich der zu erwartenden Veränderungen gewinnen lassen. Unter Berücksichtigung der Schwerpunkte, die der Auftraggeber für den Veränderungsprozess vorgibt, kann dann eine individuelle Reihenfolge der Methodeneinführung festgelegt werden.

4.5.3 Zusammenfassung der Modellierungserkenntnisse

In diesem Kapitel wurden gerichtete Systeme untersucht. Es sollte zeigen, welche Wirkungszusammenhänge in einer solchen Produktion vorliegen. Außerdem sollte anhand eines Modells die Wirkungsweise ausgewählter Lean-Methoden aufgezeigt werden.

Schließlich sollte der Nachweis erbracht werden, dass man durch eine Modellierung von Wirkungsketten und durch eine qualitative Simulation Erkenntnisse auch für die mehrstufige TF gewinnen kann.

Auf der Grundlage der Beschreibungen von drei ausgewählten Fallbeispielen mittelständischer Unternehmen wurden die Anforderungen der nicht optimalen Produktionssysteme ermittelt und in einem Modell abgebildet. Das Modell bietet die Möglichkeit eine Ausgangssituation abzubilden. Es wird auch möglich die Lean-Methoden des Methodenkatalogs im Modell einzuführen und deren Wirkungsweise zu prüfen. Das ist für jeweilige Anwendungsfälle möglich. So kann mit Hilfe des Modells eine Methodenreihenfolge für den jeweiligen Anwendungsfall ermittelt werden. Werden die Ziele für einen Fall abweichend definiert, kann entsprechend auch dafür die angepasste Methodenreihenfolge mit den bestmöglichen Beiträgen zum Erfolg ermittelt werden.

Mit Hilfe des Modells konnte gezeigt werden, welche individuellen Wirkungen die einzelnen Lean-Methoden im Gesamtzusammenhang haben. Die Methoden stehen untereinander in einem engen Zusammenhang und können ihre Wirkung am besten gemeinsam entfalten.

Auf der Grundlage der bisherigen Erfahrungen mit gerichteten Systemen kann man wohl davon ausgehen, dass die in diesem Kapitel entwickelten methodischen Ansätze auch für das zentrale Thema der vorliegenden Arbeit - für die Anwendung von Lean-Methoden im Umfeld einer mehrstufigen TF - geeignet sind. Im folgenden Kapitel werden deshalb dieselben Vorgehensweisen verwendet und auf die Probleme der mehrstufigen TF angewendet. Die Ergebnisse und Erkenntnisse der mehrstufigen TF und der gerichteten System werden miteinander verglichen.

5 Wirkungsweise Lean-Methoden für eine mehrstufige Teilefertigung

5.1 Ausgangssituation

5.1.1 Problembeschreibung einer typischen Ausgangssituation

Auf der Grundlage von drei anonymisierten Fallbeispielen wird eine typische Ausgangssituation einer mehrstufigen TF vor der Einführung von Lean-Methoden bzw. vor anderen Optimierungsaktivitäten beschrieben. Die Fallbeispiele beruhen auf selbst durchgeführten Analysen.

Fallbeispiel Werkzeughersteller

Der Werkzeughersteller hat seinen Sitz in Deutschland und erwirtschaftet mit knapp 600 Mitarbeitern 66 Mio. Euro Umsatz im Jahr. Die Produktion gliedert sich in eine TF und in eine bereits nach Lean-Kriterien organisierte Montage. Das Unternehmen produziert 133 verschiedene Produkte, die insgesamt mehr als 700 Varianten bilden. In der TF wird daher mit einer Losgröße zwischen 5 und 500 operiert. Die TF verfügt über 48 Bearbeitungsmaschinen, die funktionsorientiert in fünf Werkstätten organisiert sind. Die im Wesentlichen verfügbaren Technologien sind: Drehen, Langdrehen, Verzahnen, Schleifen, Fräsen, Oberflächenbearbeitung und -veredelung. Die Hälfte des Maschinenparks deckt 80% der Gesamtleistung der TF ab. Es kommt in der Fertigung immer wieder zu Engpässen, die jedoch - je nach Auftragslage - an verschiedenen Maschinen eintreten können. Die durchschnittliche Anlagenproduktivität liegt bei 56%. In dieser Ausgangssituation ist eine zuverlässige Terminplanung für die Montage nicht realisierbar. Häufig ist keine Aussage möglich, wann die Teile tatsächlich fertig werden.

Bei einer genaueren Untersuchung des Fallbeispiels zeigt sich, dass in der TF ein hoher Auftragsbestand vorliegt. Es gibt im Auftragsverwaltungssystem durchschnittlich zwei Aufträge je Teilenummer. Im ungünstigsten Fall liegen für eine Teilenummer mehr als 30 offene Aufträge vor. Das bedeutet, dass viele wartende Aufträge vor den Maschinen die Durchlaufzeit verlängern. Es lässt sich somit schwer kalkulieren, wann ein erforderliches Teil tatsächlich in der Montage ankommt. Im Interesse der Vervollständigung eines Montageauftrags werden einzelne Aufträge, die sehr wichtige Teile produzieren, durch eine Priorisierung kontrolliert beschleunigt.

Eine Untersuchung der Anlagenproduktivität deckt große Potentiale beim Rüsten der Anlagen auf. Hinsichtlich der Vorgehensweise, wie eine Bearbeitungsmaschine von einem Auftrag auf einen anderen umzustellen ist, liegen keine Standards vor. Weiterhin zeigt sich, dass die Vorgabezeiten für Bearbeitungs- oder Rüstzeiten nicht der Realität entsprechen. Das führt dazu, dass alle Terminkalkulationen für diese Teile fehlerhaft sind.

Eine Analyse der Wertströme nach dem Verfahren der Wertstromanalyse (VSM/VSD) erweist sich als schwierig, weil bei 1.500 aktiven Teilenummern sehr unterschiedliche Bearbeitungsfolgen durch die TF ausgeführt werden. Die längste Bearbeitungsfolge besteht aus 21 Schritten. Für 80% der Teilenummern sind bis zu 11 Bearbeitungsschritte erforderlich. Ein klarer Fluss durch die TF ist nicht erkennbar.

Eine ABC-Analyse der Teilenummern ergibt, dass 230 A-Teile knapp 80% der Bedarfsmengen in der TF ausmachen. 350 B-Teile stehen für 15% der zu fertigenden Mengen und 930 C-Teile stellen die restlichen 5% der Fertigungsmenge.

Die Planung der Aufträge für die TF erfolgt mitunter auf Verdacht. Die Durchlaufzeit in der TF ist deutlich länger als die vom Kunden akzeptierte Lieferzeit. Die Planung erfolgt auf Einzelteilebasis durch verschiedene Personen, die um dieselben Kapazitäten konkurrieren. Die Werkstattleiter planen jedoch einen konkreten Auftrag erst dann, wenn er in ihrer Werkstatt tatsächlich physisch eingetroffen ist. Vorher können sie hinsichtlich des

Fertigstellungstermins nur vage Angaben machen. In der TF gibt es eine Mischung von kundenanonymen Aufträgen und spezifischen Aufträgen, die einem Endkundenauftrag zugeordnet werden können.

Die TF des Werkzeugherstellers ist ein gutes Beispiel für das Durchlaufzeiten-Syndrom. [Nyhuis 2003] beschreibt, wie sich schwankende Durchlaufzeiten und ein hoher Umlaufbestand gegenseitig verstärken (vgl. hierzu die Abbildung 33). Häufig erforderliche manuelle Eingriffe und Prozessinstabilitäten führen zum gegenseitigen Aufschaukeln von Durchlaufzeiten und Beständen: Mangelnde Termintreue führt zur Erhöhung der Plan-Durchlaufzeit, Aufträge werden früher freigegeben, das führt zu einer steigenden Belastung der einzelnen Arbeitsplätze, und die Warteschlangen vor den Arbeitsplätzen werden immer länger. Die Durchlaufzeiten verlängern sich und streuen stärker (vgl. [Nyhuis 2003], S. 5).



Abbildung 33: Durchlaufzeiten-Syndrom (vgl. [Huber 2010], S. 134 ff.)

Das Durchlaufzeiten-Syndrom wird durch das Auftragsplanungssystem (ERP-System) noch verstärkt, weil es zu einem festgelegten Datum keine kapazitive Begrenzung der einzuplanenden Aufträge gibt. Außerdem findet kein Abgleich mit dem noch offenen Auftragsbestand bzw. mit der tatsächlichen Leistung der TF statt. Weiterhin sind die Anlagen kapazitiv überplant. Vergleicht man die geplante Jahresmenge je Teilenummer mit der verfügbaren Kapazität, dann stellt man fest, dass auf einigen Anlagen der Bedarf des Kunden nicht realisiert werden kann. Ein Rückstand ist damit vorprogrammiert.

Ein Maschinenbediener in der TF ist für alle Aufgaben rund um seine Maschine zuständig. Selbst der Abtransport zum nächsten Bearbeitungsschritt muss von ihm organisiert werden. Beim Rüsten erhält er keine Unterstützung. Ein Maschinenbediener ist mitunter auch für zwei Anlagen zuständig. Folglich steht während der Rüstphase der einen Anlage die andere Anlage still. Die Bediener dürfen sämtliche Programme und Einstellungen an den Anlagen selbst verändern. Es kommt immer wieder zu Werkzeugbruch, der auf eine unsachgemäße Bedienung der Anlagen zurückzuführen ist. Die Transporte zwischen den Werkstätten finden nur unregelmäßig statt.

Es erfolgt keine vorausschauende oder präventive Wartung. Jederzeit kann eine Maschine ausfallen und dadurch die ohnehin angespannte Fertigungssituation noch weiter verschärfen.

Durch eine Steigerung der Gesamtproduktivität der TF will die Unternehmensleitung die Bestände reduzieren, den Fertigungsrückstand komplett auflösen und die Anzahl der Umplanungen in der Produktion verringern. Schließlich ist es ihr Ziel, die Durchlaufzeiten der TF derart stark zu verkürzen, dass sie sich wieder an den von den Kunden erwarteten Lieferfristen orientieren. Das impliziert eine Erhöhung der Liefertreue gegenüber den Endkunden.

Fallbeispiel Getriebefertigung

Der Getriebehersteller ist ein mittelständisches Familienunternehmen mit Sitz in Deutschland. Die jährlich rund 12 Mio. Euro Umsatz werden mit insgesamt 103 Mitarbeitern erwirtschaftet. Es werden über 2.200 verschiedene Teile geführt. Eine ABC-Analyse des Teilespektrums zeigt, dass 530 A-Teile 80% der Fertigungsmenge der TF darstellen. Es gibt 760 B-Teile, die 15% der zu fertigenden Menge betreffen, und 1.900 C-Teile, die die restlichen 5% der Fertigungsmenge ausmachen.

Es wird zwischen Getriebegehäusen und Getriebeteilen unterschieden, die jeweils in ein sich anschließendes Montageunternehmen geliefert werden. Die große Teilevielfalt schlägt sich in relativ geringen Losgrößen zwischen 1 und 300 Stück nieder. Im Durchschnitt beträgt die Losgröße 10 Stück je Auftrag. Die Kundenaufträge der Getriebemontage setzen sich aus unterschiedlichsten Teilen der TF zusammen. Diese Teile haben stark variierende Durchlaufzeiten in der TF. Die Getriebe sind kundenindividuell, sodass eine Mehrfachverwendung der Getriebeteile nahezu nicht möglich ist. Die Getriebefertigung ist in drei funktionsorientierte Werkstätten gegliedert; sie verfügt insgesamt über 32 Bearbeitungsmaschinen. Die einsetzbaren Technologien sind Fräsen, Drehen, Verzahnen, Räumen und Schleifen. Die Anlagenproduktivität liegt im Durchschnitt bei 46%. Wenn zusätzliche Oberflächenveredelungen erforderlich sind, werden sie von externen Partnern durchgeführt.

Die Terminplanung der Fertigung erfolgt mit einem Leitstand, um den Kunden belastbare Termine nennen zu können. Eine intern hinterlegte Priorisierung soll dabei helfen, die Anzahl der manuellen Eingriffe zu minimieren. Jedoch zeigt sich immer wieder, dass regelmäßig die durch die Fertigung geplanten Aufträge nicht im Planungszeitraum abgearbeitet werden können. Dadurch baut sich über mehrere Wochen ein ständig wachsender Rückstand auf. Durch Zusatzschichten wird versucht, diesen Rückstand abzubauen. Nach spätestens drei Monaten wird jedoch der Kampf gegen den Rückstand aufgegeben: Die rückständigen Aufträge werden mit den anderen geplanten Fertigungsaufträgen terminiert und neu eingeplant. Dadurch wird der Rückstand mit einem Schlag auf null gesetzt. Eine Ursache für die immer wieder entstehenden Rückstände sind die Planungsgrundlagen. Die systemseitig gespeicherten Bearbeitungszeiten und Rüstzeiten stimmen nicht mit den tatsächlich benötigten Zeiten überein. Weitere organisatorische Defizite in der Fertigung verschärfen die Situation zusätzlich.

Die Durchlaufzeiten in der TF liegen zwischen 10 und 28 Tagen. Bei durchschnittlich 5,5 Arbeitsschritten je Teilenummer führt das zu einer Liegezeit von zwei bis fünf Tagen vor jeder Maschine. Weitere Analysen zeigen, dass auch in diesem Unternehmen Symptome des Durchlaufzeiten-Syndroms zu beobachten sind. Die Durchlaufzeiten streuen stark, bei einigen Teilenummern sogar um den Faktor 15. Innerhalb von drei Monaten hat sich die durchschnittliche Durchlaufzeit von 5,3 Tagen auf 11,1 Tage erhöht.

Für die langen und stark streuenden Durchlaufzeiten gibt es drei Hauptursachen. Zum einen liegt ein netzartiger Materialfluss vor. Lediglich in der Gehäusefertigung ist ein linearer Fertigungsfluss erkennbar. Die Getriebeteile werden sehr unterschiedlich gefertigt. In den Fertigungsflüssen sind viele Rückflüsse und Verzweigungen erkennbar. Einige Maschinen fungieren im Fertigungsablauf mal als Start- und mal als Folgemaschinen.

Weiterhin werden die problematischen Durchlaufzeiten durch umfangreiche organisatorische Mängel in der Fertigung verursacht. Das äußert sich vor allem in der Tatsache, dass die Maschinenbediener für nahezu sämtliche Tätigkeiten rund um die

Auftragsbearbeitung verantwortlich sind: Material für den nächsten Auftrag suchen, den erforderlichen Kran für das Rüsten der Werkzeuge oder Vorrichtungen ordern, Werkzeuge von der Werkzeugausgabe holen, Wartungs- und Instandhaltungstätigkeiten durchführen u.v.a.m. Dabei befindet sich die gesamte Fertigung in einem allgemein schlechten Ordnungs- und Sauberkeitszustand. Die Mitarbeiter müssen häufig die von ihnen benötigten Hilfsmittel und Werkzeuge suchen. Die Stellflächen sind nicht eindeutig gekennzeichnet. Diese Defizite der Fertigung schlagen sich in langen Rüstzeiten von bis zu 220 Minuten nieder. Bei relativ geringen Losgrößen führen diese langen Rüstzeiten zu einem regelmäßigen Verlust, der sich in der geringen Anlagenproduktivität von nur 46% widerspiegelt. Ein Mitarbeiter bedient nur eine Anlage. Die umfangreichen Bearbeitungszeiten der Maschinen führen bei den Maschinenbedienern zu Leerlaufzeiten von durchschnittlich 50% ihrer Zeit. Es sind auch keine einheitlichen Standards erkennbar. Jeder Mitarbeiter führt seine eigenen Handlungsabläufe zum Abarbeiten von Aufgaben durch, was zu unterschiedlichen Zeitdauern führt.

Schließlich sind im Tagesgeschehen immer wieder kurzfristige Ausfälle zu bewältigen, die zu Kapazitätsengpässen und damit zu unkalkulierbaren Durchlaufzeiten führen. Das Fehlen einer präventiven Instandhaltung verursacht unvorhersehbare Maschinenausfälle, die unvorhersehbar lange andauern können. In der Regel können die Maschinenbediener nur eine Anlage bedienen. Treten krankheitsbedingte Ausfälle ein, können häufig dringende Aufträge nicht fertiggestellt werden, da die Mitarbeiter nicht hinreichend flexibel einsetzbar sind.

Die Unternehmensleitung will die Durchlaufzeiten um 70% verkürzen. Die Lieferzeit soll auf 14 Tage reduziert werden, da die Kundenerwartungen deutlich von den internen Möglichkeiten abweichen. Die Materialumschlaghäufigkeit soll unter anderem dadurch verdoppelt werden, dass in der Fertigung das Pull-Prinzip eingeführt wird. Weiterhin soll die TF durch ein flussorientiertes Layout und durch Visualisierungen transparenter werden.

Fallbeispiel Blechfertigung

Die Blechfertigung ist ein Teil eines mittelständischen Familienunternehmens mit Sitz in Deutschland. Es werden rund 31 Mio. Euro Umsatz pro Jahr erwirtschaftet. In diesem Unternehmen sind insgesamt 420 Mitarbeiter beschäftigt. In der TF arbeiten 160 Mitarbeiter. Die Blechfertigung beliefert sowohl die nach Lean-Kriterien organisierte Montage als auch externe Kunden. Insgesamt gibt es 1.700 Teilenummern, die über 26 Maschinen laufen. Die TF ist in drei funktionsorientierte Werkstätten unterteilt. Die ABC-Analyse der Teile weist eine klassische Pareto-Verteilung auf: Es gibt rund 190 A-Teile, die 80% der Fertigungsmenge abbilden, ca. 310 B-Teile und knapp 1.190 C-Teile. Die durchschnittliche Losgröße ist 100. Die Losgrößen schwanken zwischen 1 und 1.000 Stück je Auftrag.

Die Anlagenproduktivität wird in diesem Unternehmen nicht als Kennzahl geführt. Die Analyse der TF zeigt jedoch deutliche Verbesserungspotentiale auf. Es kann also davon ausgegangen werden, dass es für die Anlagenproduktivität keine guten bis sehr guten Werte (von 85% bis 90%) gibt. Beispielsweise dauern die Rüstzeiten an den Biegemaschinen bis zu 90 Minuten. Die Pressen werden innerhalb von 30 Minuten gerüstet. Analysen der Rüstprozesse zeigen das Potential auf, dass bei beiden Maschinentypen die Rüstzeiten auf 20 Minuten gesenkt werden können. Es zeigt sich, dass für das Rüsten keine klaren Standards vorliegen, die die Maschinenstillstandzeit auf ein Minimum reduzieren könnten. Weiterhin zeigt sich, dass ein relativ hoher Aufwand erforderlich ist, um die Anlagen zu justieren, damit nach dem Werkzeugwechsel Gutteile produziert werden können. Außerdem haben die Maschinenbediener für die Erfüllung der Aufträge umfangreiche Tätigkeiten an den Maschinen zu erledigen. Sie müssen die nächsten Aufträge oder Materialien aussuchen, Leerbehälter an die Arbeitsplätze bringen, Werkzeuge vorbereiten und zur Maschine bringen usw.

Vor den Anlagen liegen Bereitstellflächen mit Aufträgen, die zu bearbeiten sind. Da an den Bereitstellflächen keine Reihenfolge für das Eintreffen der Aufträge vorgegeben ist

(chaotisches System), werden durch die Maschinenbediener optimale Rüstreihenfolgen oder akkordoptimale Auftragsreihenfolgen gewählt. Stichprobenartige Untersuchungen der Vorgabezeiten des Planungssystems zeigen, dass diese Zeiten nicht der Realität entsprechen.

Die Auftragsplanung der TF erfolgt mit Hilfe eines Leitstandes. Ein weiterer Leitstand des genutzten ERP-Systems wird genutzt. Es finden manuelle Eingriffe im System statt, die die Planer selbst vornehmen. Manuelle Eingriffe erfolgen in der Regel dann, wenn sonst Aufträge zu spät kommen und einen Stillstand in der Montage provozieren würden, bzw. bei dringenden externen Kundenaufträgen. Aufträge für externe Kunden haben eine höhere Priorität. Einmal am Tag werden für die nächsten 24 Stunden die Fertigungsaufträge in der Fertigung freigegeben. Wenn Aufträge aus den Freigaben der vorangegangenen Tage noch nicht abgearbeitet wurden, baut sich ein Rückstand auf. Das führt in der TF unmittelbar zu hohen Beständen unfertiger Aufträge. Verschärft wird diese Situation noch dadurch, dass die Blechstanze, die Startmaschine für ca. 80% der Teile, in der TF in der Nachtschicht und am Wochenende im mannlosen Betrieb arbeitet. Die anderen Anlagen sind zu dieser Zeit nicht besetzt. So entstehen in der TF zyklische Bestandsspitzen, die sich deutlich auf den Bereitstellflächen abzeichnen. Weiter verstärkt wird diese Situation durch höhere Losgrößen an der Blechstanze und an den nachfolgenden Arbeitsplätzen.

Die Aufträge werden zunächst kundenanonym in der TF eingesteuert, da diese für die Montage gedacht sind. Erst in der Montage wird gemäß den Kundenspezifikationen verfahren. Gemäß den Aussagen der Auftragsplaner der TF überholen sich regelmäßig die Planungen selbst. Zum Beispiel werden Mengen zu einem Zeitpunkt vergrößert, zu dem der Auftrag bereits in der TF gestartet wurde. Aufträge werden zum Teil früher als geplant gestartet, weil bekannt ist, dass die vom Auftragsplanungssystem vorausgesetzte Liegezeit von einem Tag vor jeder Maschine nicht immer der Realität entspricht. Es zeigt sich ein erhöhtes Sicherheitsbedürfnis der Planer, das sich in verschiedenen Entscheidungen und Steuerungstaktiken widerspiegelt. Das Ziel dieser Aktivitäten besteht darin, die Lieferfähigkeit in Richtung der hauseigenen Montage sicherzustellen.

Bei 80% der Teile erfolgen die ersten Arbeitsschritte auf folgenden Anlagen: Blechstanze, Entgratungsmaschine, Biege- oder Schwenkbiegemaschine. Danach teilt sich der Fluss auf in Teile, die bereits fertig sind und in ein montagenahes Lager gebracht werden. Die anderen Teile erfahren noch weitere Bearbeitungsschritte zur Blechbearbeitung oder werden Lackiert. Die möglichen Pfade sind sehr vielfältig. Der Materialfluss der TF bildet viele Rückflüsse und Verzweigungen. Die ersten drei Anlagen - Stanzen, Entgraten und Biegen - des Hauptflusses wurden als die Engpässe der Fertigung erkannt.

Die Unternehmensleitung will in der TF das Pull-Prinzip verankern. Es sollen standardisierte Abläufe installiert werden, die die Grundlage für eine kontinuierliche Verbesserung bilden. Die Produktivität der TF soll gesteigert werden, um die Ausbringungsmenge der TF erhöhen zu können. Der Bestand an gefertigten Blechteilen vor der Montage soll reduziert werden.

Zusammenfassung

Die drei beschriebenen TF sind zwar sehr unterschiedlich, weisen aber dennoch in vielen Punkten Gemeinsamkeiten auf. Bei allen TF liegt ein umfangreicher Maschinenpark vor, der unterschiedliche Technologien zur Verfügung stellt. Die Maschinen unterscheiden sich häufig in Details: beispielsweise in den Teileabmessungen, die auf einer Anlage höchstens akzeptiert werden, oder in den Verfahren, die zum Einsatz kommen (z.B. Schleifen: Innen-, Außen-, Flach- oder Rundschleifen). Die Strukturierung des Maschinenparks erfolgt in Werkstätten nach dem Funktionsprinzip. Einige Anlagen sind sehr stark ausgelastet oder bereits überplant (die verfügbare Maschinenkapazität ist kleiner als der Bedarf an Maschinenstunden).

Die durchschnittliche Anlagenproduktivität liegt deutlich unter einem Niveau, das als gut oder sehr gut (das entspräche einer Anlagenproduktivität von 80% bis 90%) bezeichnet werden kann. Diese Ausgangssituation ist u.a. auf lange Rüstzeiten und fehlende

Rüststandards zurückzuführen. Weiterhin hat die Analyse der Fallbeispiele gezeigt, dass es in zwei Fällen gar keine präventive Instandhaltung gibt. Das führt immer wieder zu unvorhersehbaren Anlagenausfällen, die unkalkulierbar lange andauern können.

Es zeigt sich in jedem untersuchten Fall, dass sich der Maschinenbediener in der TF außer um die eigentliche Fertigung der Teile an der Maschine auch noch um andere Tätigkeiten kümmern muss, was letztlich die Anlagenproduktivität senkt. Er muss umfangreiche Aktivitäten zur Vor- und Nachbereitung der Rüstung der Maschine ausführen. Dazu zählen auch Logistikaktivitäten, so beispielsweise das Herbeischaffen von Behältern und von Material sowie der Transport der gefertigten Teile. In zwei Fällen ist ein Maschinenbediener für nur eine Maschine zuständig. Im Fall des Werkzeugherstellers werden von einem Mitarbeiter mitunter auch zwei Maschinen bedient. Wenn zusätzliche Aufgaben zu erledigen sind, senkt das noch weiter die Anlagenproduktivität.

In allen drei Fällen sind an die TF Montagebereiche angeschlossen, die mit Teilen zu versorgen sind, um letztendlich fertige Erzeugnisse entsprechend den Kundenaufträgen ausliefern zu können. Die Einhaltung zuverlässiger Fertigstellungstermine für die Teile erweist sich jedoch als schwierig. Durch die Anwendung interner Priorisierungsverfahren wird versucht, die Produktion der am dringendsten benötigten Teile zu beschleunigen, um die dahinter stehenden Kundenaufträge fertigstellen zu können. Erschwert wird die Terminfindung dadurch, dass die Vorgabezeiten des Planungssystems nicht mit den tatsächlichen Zeiten in der Fertigung übereinstimmen. Stark streuende Durchlaufzeiten und lange Liegezeiten der Teile vor den Maschinen sind in allen drei Fallbeispielen zu beobachten.

In zwei der analysierten Fälle wird zwar mit einem Leitstand gearbeitet, doch auch so scheint die Aufgabe der Terminabgabe nicht zu bewältigen zu sein. Die Aufgaben der Auftragsplanung und -steuerung sind bei den TF derart umfangreich, dass für ihre Bewältigung mehrere Personen benötigt werden, die dann aber für ihren Aufgabenbereich mit den Kollegen um die knappen Ressourcen konkurrieren. Außerdem zeigt sich, dass unbegrenzt viele Aufträge gestartet werden können und dadurch die Anzahl der offenen, noch nicht fertiggestellten Aufträge sehr groß wird. Limitierend scheinen dabei lediglich die Verfügbarkeit der Rohstoffe und die Stellflächen zu wirken.

In zwei Fällen liegen die Durchlaufzeiten in der TF deutlich über den Kundenerwartungen zur Fertigstellung des gesamten Kundenauftrags. Diesen Konflikt kann das Unternehmen nur durch den Aufbau von Beständen an gefertigten Teilen lösen. Wenn - wie in den Fallbeispielen - eine hohe Variantenvielfalt vorliegt, dann bindet diese Maßnahme im Unternehmen jedoch viel Kapital und Fläche. Diese Tatsachen führen schließlich zur Beobachtung der typischen Symptome des Durchlaufzeiten-Syndroms.

Ein linearer Fertigungsfluss innerhalb der TF ist schwer zu erkennen. Es lassen sich zwar immer wieder einzelne Ausschnitte oder Bereiche abgrenzen, bei denen ein Fertigungsfluss klar erkennbar ist, doch ist in der gesamten TF keine klare Struktur zu sehen. Die beobachteten Strukturen weisen Rückflüsse, Verzweigungen und Kreuzungen auf. Dies ist einerseits auf die zahlreichen Bearbeitungsstufen für die Fertigstellung eines Teils zurückzuführen und andererseits auf die hohe Variantenvielfalt in den untersuchten Fertigungen. In allen drei Fällen liegen deutlich mehr als 1.000 verschiedene Teile vor.

Die hohe Variantenvielfalt in der TF spiegelt sich letztlich auch in den Losgrößen wider. Mittelständische Unternehmen mit einer hohen Variantenvielfalt können in letzter Konsequenz nur relativ geringe Losgrößen bewältigen. Das Minimum liegt bei einer Quasi-Einzelfertigung mit den Losgrößen 1 bis 5. Die höchste Losgröße liegt bei 1.000 Stück. In der Blechfertigung zeigt sich, dass hier das Pareto-Prinzip - deutlich weniger als 20% der Teilenummern verursachen den Großteil der Fertigungslast - zutrifft.

Letztlich sind aber die Ziele der Unternehmen vergleichbar: Die Durchlaufzeiten sollen verkürzt werden, das Pull-Prinzip soll eingeführt werden und schließlich soll die Liefertreue gegenüber dem Kunden erhöht werden.

Der Vergleich der beschriebenen Ausgangssituationen der Fallbeispiele mehrstufiger TF mit den Fallbeispielen der gerichteten Systeme macht deutliche Parallelen sichtbar. Alle drei Unternehmen arbeiten zwar als Serienfertiger, die Fertigung hat jedoch bei einigen Teilen nahezu den Charakter einer Einzel- bzw. Auftragsfertigung. Die ABC-Analysen zeigen aber deutlich, dass der Großteil des Fertigungsvolumens Seriencharakter besitzt. Allerdings ist nicht klar, ob die Ausgangssituationen ähnlich dramatisch sind wie bei den gerichteten Systemen. Hier befanden sich die Unternehmen in einer deutlich angespannteren wirtschaftlichen Situation und konnten nicht umhin, die bisherigen Fertigungsprinzipien und -methoden zu hinterfragen, um das Fortbestehen des Unternehmens zu sichern.

Die Fertigungsstruktur ist auch bei den gerichteten Systemen eine funktionsorientierte Werkstattfertigung, die gleichartige Technologien bzw. Prozesse zusammenfasst. Die Bestandssituation ist ebenfalls vergleichbar. Hinsichtlich der Fertigungssysteme der mehrstufigen TF wird von langen Liegezeiten und Durchlaufzeiten berichtet, die eine Folge der hohen Umlaufbestände der Fertigung sind. Bei den gerichteten Systemen wird deutlich aufgezeigt, dass die Bestände kapitalbindend, über mehrere Stufen hinweg umfangreich gestaltet sind.

Beim Fertigungsfluss der gerichteten Systeme wird auf häufige Unterbrechungen hingewiesen. Dieses Phänomen lässt sich auch in der mehrstufigen TF beobachten. Hier gibt es viele verschiedene Fertigungsstufen, die die Teile bis zur Fertigstellung durchlaufen müssen.

Die Fertigungsplanung bzw. -steuerung erfolgt zentral, wie bei den gerichteten Systemen. Die Planung und Freigabe von umfangreichen Losgrößen findet lediglich bei zwei Fallbeispielen der mehrstufigen TF statt. Allerdings werden die langen Rüstzeiten auch einen Einfluss auf die Fertigung haben, sei es, dass tendenziell hohe Losgrößen bevorzugt werden, oder, dass die Fertigung eines Auftrags nicht sonderlich wirtschaftlich ist. Zumindest lassen die relativ geringen Werte für die Anlagenproduktivität darauf schließen.

Auch die Art und Weise der Auftragsentstehung unterscheidet sich innerhalb der Fallbeispiele für die mehrstufige TF, wie das auch bei den gerichteten Systemen der Fall ist. Vermutlich hat das also keinen signifikanten Einfluss auf die Güte der Gesamtleistung eines Produktionssystems.

Die gute Vergleichbarkeit der gerichteten Systeme mit denen der mehrstufigen TF lässt die Vermutung zu, dass gleiche oder adaptierte Methoden eingesetzt werden können, um die mehrstufige TF nach Lean-Kriterien zu gestalten und entsprechende Ergebnisse zu erzielen.

5.1.2 Einordnung in Elementartypen der Produktion

Die Elementartypen der Produktion werden einerseits für eine Klassifizierung der Fallbeispiele der mehrstufigen TF verwendet und andererseits für den Vergleich mit den Fallbeispielen der gerichteten Systeme. Die im Abschnitt 5.1.1 beschriebenen Fallbeispiele werden in der Tabelle 18 durch die Elementartypen der Produktion genauer charakterisiert. Wenn die über die Fallbeispiele zur Verfügung stehenden Informationen keine eindeutige Aussage über ein Merkmal zulassen oder wenn das Merkmal gar nicht erwähnt wird, dann erfolgt für das Merkmal keine Klassifizierung.

Tabelle 18: Einordnung der Fälle mehrstufige TF in die Elementartypen der Produktion

✓ Werkzeughersteller * Getriebefertigung ★ Blechfertigung

Input-orientierte Produktionsprozess-Typisierung						
vorherrschender Einsatzfaktor	arbeitsintensiv	materialintensiv ✓x★	informationsintensiv	betriebsmittelintensiv ✓x★	energieintensiv	kapitalintensiv
Qualifikation der eingesetzten Arbeitskräfte	gelernt ✓x★		angelernt ✓x★		ungelernt	
Art der Verbrauchsfaktoren	Werkstoffe ✓x★		Betriebsstoffe ✓x★		Handelswaren	
Art der eingesetzten Maschinen	Spezialmaschinen			Universalmaschinen ✓x★		
Throughput-orientierte Produktionsprozess-Typisierung						
Art der Stoffverwertung	durchgängig ✓x★		synthetisch	analytisch	austauschend	
Mengenaspekt der Produktion	Einzelfertigung Einmalfertigung			Mehrfachfertigung Wiederhol- fertigung ✓x Sorten-, Varianten- fertigung ✓x★ Serien- fertigung ✓x★ Massen- fertigung		
Prinzip der räumlichen Anordnung	Werkstattprinzip ✓x★	Erzeugnis- (Gegenstands-) Prinzip Gruppenprinzip			Reihenprinzip	Einzelplatzprinzip ✓x★
Prinzip des zeitlichen Ablaufs des Produktionsprozesses	ohne Teileweitergabe ✓x★	mit Teileweitergabe Reihenverlauf				
Grad der Mechanisierung/ Automatisierung	Handprozess	mechanisierter Prozess	Maschinenprozess ✓x★	teilautomatisierter Prozess ✓★	vollautomatisierter Prozess ★	
Grundform industrieller Produktionsprozesse	stoffgewinnende Prozesse		stoffumwandelnde Prozesse		stoffverformende Prozesse ✓x★	
Arbeitsteilung	einstufiger Prozess		mehrstufiger Prozess arbeitsteilig einfach			arbeitsteilig kompliziert ✓x★
Art der Bearbeitungsfolge	gleiche technologische Bearbeitungsfolge für alle Teile einer Klasse ohne Überspringen von Arbeitsplätzen x			mit Überspringen von Arbeitsplätzen variierende technologische Bearbeitungsreihenfolge der Teile einer Klasse ✓x★		
kinematisches Verhalten der Elementarfaktoren im Produktionsprozess	Arbeitskräfte stationär ✓x★	in-stationär	Betriebsmittel stationär ✓x★	in-stationär	Werkstoffe stationär	in-stationär ✓x★
Fertigungstiefe	Teilefertigung = Eigenfertigung ✓x★		Baugruppenmontage = Eigenfertigung		Endmontage = Eigenfertigung	

Output-orientierte Produktionsprozess-Typisierung					
Art der Produktionsauslösung	Auftragsproduktion (Bestellproduktion) ✓x Einzelbestellung Rahmenvertrag		Vorratsproduktion ✓★		
Produktdiversifikation	keine Varianten		mittlere Variantenanzahl		hohe Variantenanzahl ✓★★
Zusammensetzung der Produkte	einteilige Produkte ✓★★		mehrteilige Produkte		
Produkt-eigenschaften	Materialität der Güter materielle Güter ✓★★		Gestalt der Güter Fließgüter		Stückgüter ✓★★
		immaterielle Güter (Leistungen)		Produktions- (Investitions-) güter ✓★★	Konsumgüter

Die Klassifizierung der Fallbeispiele der mehrstufigen TF bezieht sich in erster Linie nur auf die TF. Die Montage, die in zwei Fällen bereits nach Lean-Kriterien gestaltet ist, bleibt dabei unberücksichtigt. Schließlich sollen durch den Vergleich mit den gerichteten Systemen Unterschiede erkannt werden. Die Berücksichtigung dieser Unterschiede führt im weiteren Verlauf des Kapitels zur Auswahl bzw. Adaption der Methoden, die in der mehrstufigen TF zum Einsatz kommen sollen.

Der Vergleich der Klassifizierung der Fallbeispiele nach der Methode der Elementartypen der Produktion (siehe Tabelle 18 und Tabelle 9) zeigt, dass es klare Unterschiede zwischen der mehrstufigen TF und den gerichteten Systemen gibt. Die Inputfaktoren sind bei der TF eindeutig material- und betriebsmittelintensiv. In den einstufigen Systemen, bei denen gerade die Montageprozesse im Fokus stehen, sind dies eher arbeits- und materialintensive Faktoren.

Die Gegenüberstellung der Throughput-Faktoren zeigt, dass in den mehrstufigen TF Tendenzen der Einzelfertigung zu beobachten sind. Aufgrund der sehr maschinenlastigen Bearbeitung sind hauptsächlich Maschinenprozesse in unterschiedlichen Automatisierungsstufen zu erkennen. Da die TF in erster Linie Teile für eine sich anschließende Montage produziert, die zu mehrteiligen Endprodukten führt, handelt es sich dabei um arbeitsteilig komplizierte Prozesse. Letztlich ist die TF erst dann erfolgreich, wenn alle für einen Montageauftrag benötigten Teile zur Verfügung stehen. Diese Teile müssen sehr unterschiedliche technologische Bearbeitungsfolgen durchlaufen. Diese Merkmalsausprägung steht im klaren Gegensatz zu den gerichteten Systemen, die stets eine gleiche Reihenfolge – höchstens mit dem Überspringen einzelner Schritte - verzeichnen.

Die Outputfaktoren der mehrstufigen TF weisen zwei wesentliche Unterschiede gegenüber den gerichteten Systemen auf. Zum einen handelt es sich zum Teil um Auftragsproduktionen, die einer Einzelbestellung zugrunde liegen. Außerdem kann bei der hohen Teilevielfalt in der TF von einer hohen Variantenanzahl gesprochen werden.

Die Klassifizierung der Fallbeispiele nach der Methode der Elementartypen der Produktion zeigt auch, dass es eine große Überschneidung der gerichteten Systeme mit den Produktionssystemen einer mehrstufigen TF gibt. Allerdings gibt es auch klare Unterschiede, die in diesem Abschnitt benannt wurden. Es stellt sich nun die Frage, wie diese Unterschiede den Methodenansatz verändern, wenn eine mehrstufige TF nach den Lean-Prinzipien gestaltet werden soll.

5.1.3 Ableitung der Anforderungen

Die Untersuchung der Fallbeispiele im Hinblick auf die Anforderungen, die sich in der Fertigung stellen, basiert auf denselben Problemklassen wie bei den gerichteten Systemen: Einzelne Arbeitsplätze, Fertigungsfluss und Organisation. Nachfolgend werden für die beschriebenen Fallbeispiele die Anforderungen zusammengestellt. Sie bilden später die Basis für die Modellierung der mehrstufigen TF.

Einzelne Arbeitsplätze

Die Maschinenbediener sind - neben der unmittelbaren Anlagenbedienung - für viele andere Aufgaben zuständig. Sie übernehmen das Rüsten der Maschinen einschließlich der erforderlichen Vor- und Nachbereitungen für diesen Prozess. Darüber hinaus werden logistische Tätigkeiten durchgeführt wie das Herbeischaffen von erforderlichen Leerbehältern und Material sowie der Abtransport der Materialien nach abgeschlossener Bearbeitung. Das führt am Ende zu langen Rüstzeiten durch fehlende Rüststandards. Es fehlt ein präventives Instandhalten der Anlagen. Diese Defizite führen zu einer relativ geringen Anlagenproduktivität. Dies wird in der Planung der Aufträge dadurch verstärkt, dass die Vorgabezeiten für das Rüsten und die Teilebearbeitung nicht mit den tatsächlichen Zeitbedarfen übereinstimmen.

Es gibt Fallbeispiele bei denen ein Maschinenbediener lediglich für eine Maschine zuständig ist. Es gibt aber auch Beispiele mit bis zu zwei Maschinen pro Mitarbeiter in der Betreuung.

Fertigungsfluss

Die stark funktionsorientierte Werkstattgestaltung in der Fertigung führt zu regelmäßigen Unterbrechungen im Fertigungsfluss der Teile. Die Teile müssen vor den Maschinen warten. Das führt zu langen Liegezeiten und letztlich zu langen Durchlaufzeiten.

Organisation

Die Auftragsplanung ist ein Kernelement bei der Beschreibung der Anforderungen einer mehrstufigen TF. In diesem Punkt treffen die Anforderungen der Kategorien „einzelne Arbeitsplätze“ und „Fertigungsfluss“ aufeinander. Es fängt bereits damit an, dass Vorgabezeiten des Planungssystems mit den tatsächlichen Zeiten in der Fertigung nicht übereinstimmen.

In der Fertigung werden nacheinander sehr unterschiedliche Losgrößen durchgeschleust. Dies ist eine Konsequenz der hohen Variantenvielfalt, wobei jedoch eine genaue Prüfung mittels einer ABC-Analyse zeigt, dass ein Großteil des Umsatzes durch eine geringe Anzahl an Teilenummern erwirtschaftet wird. Die sonstigen Teilenummern erfordern aufgrund des relativ geringen Jahresbedarfs nur geringe Losgrößen. Die hohen Losgrößen der A-Teile sind eine Folge der langen Rüstzeiten in der Fertigung und einer wirtschaftlichen Betrachtung. Dazu kommt, dass vereinzelt Anlagen stark ausgelastet oder sogar überplant sind.

Das Auftreten des Durchlaufzeiten-Syndroms ist eine Folge des häufig unterbrochenen Fertigungsflusses und der Art und Weise der Auftragsplanung. Da es für den Werkstattbestand bzw. für die gestarteten Aufträge keine Begrenzung gibt, kann sich der Werkstattbestand jederzeit durch weitere Aufträge erhöhen und können lange und - bei einer manuellen Priorisierung von Aufträgen - auch sehr unterschiedliche Durchlaufzeiten auftreten. Diese Fakten führen letztlich zum Durchlaufzeiten-Syndrom und damit zu einem Teufelskreislauf aus erhöhten Beständen und erhöhten Durchlaufzeiten. Dann ist eine zuverlässige Terminangabe, wann ein Auftrag tatsächlich fertig wird, nicht durchgängig möglich.

Der Vergleich der Anforderungen gerichteter Systeme mit denen der mehrstufigen TF zeigt, dass nicht nur die Kategorien dieselben sind. Lange Rüstzeiten und ein unterbrochener Fertigungsfluss verstärken die Probleme. Die Konsequenzen sind in der mehrstufigen TF

weitreichender, da hier die hohe Teilevielfalt und die vielen Fertigungsstufen die Situation deutlich verschärfen.

5.2 Methodenauswahl für die mehrstufige Teilefertigung

5.2.1 Anforderungen an die Methodenauswahl

Der Vergleich der Eigenschaften der gerichteten Systeme mit denen der mehrstufigen TF zeigt deutliche Unterschiede auf. Die Anwendung von Lean-Methoden erfordert im Fall der mehrstufigen TF eine Auswahl geeigneter Methoden und die Adaption bekannter Vorgehensweisen. Bei der Vorauswahl der für die entsprechende Anwendung in Frage kommenden Methoden ist die vorherige Festlegung der Kriterien hilfreich, die diese Methoden erfüllen sollen. Diese Kriterien leiten sich aus dem Vergleich der beiden unterschiedlichen Typen von Produktionssystemen ab.

Die auszuwählenden Methoden müssen mindestens einen der Lean-Gestaltungsansätze fördern: Konzentration auf die Wertschöpfung, bedarfssynchrone Fertigung und 100%ige Prozessstabilität (vgl. hierzu die Ausführungen im Abschnitt 2.1).

Die hohe Variantenvielfalt ist eine der herausragenden Eigenschaften der mehrstufigen TF. Bei den auszuwählenden Methoden sollen daher keine Einschränkung hinsichtlich einer hohen Teilevielfalt oder eines umfangreichen Teilemixes (häufige Abwechslung verschiedener Teile nacheinander in der Fertigung) bestehen. Schließlich wird durch die hohe Variantenvielfalt und durch eine typische ABC-Verteilung der Teilmengen eine große Streuung der Losgrößen erreicht. Selbst bei einer drastischen Verkürzung der Rüstzeiten und der damit verbundenen Reduzierung der Losgrößen ist zu erwarten, dass im gesamten Teilespektrum eine gewisse Streuung der Losgrößen erhalten bleibt. Dieses Merkmal darf für die auszuwählenden Methoden keine Hürde sein.

Tabelle 19: Prüfen der Methoden einstufiger Systeme auf die Kriterien der mehrstufigen TF
x: erfüllt; o: nicht erfüllt

Merkmal \ Methode	Lean-Gestaltungsansätze	hohe Variantenvielfalt	technologische Unabhängigkeit	weite Losgrößenstreuung	keine Vorgabe bestimmter Softwarelösungen
SMED	x	x	x	x	x
kontinuierlicher Fluss / U-Linie	x	x	x	x	x
TPM	x	x	x	x	x
Kanban	x	o	x	x	x
Pull	x	x	x	x	x
Standardisierung	x	x	x	x	x
JIT/JIS	x	x	x	x	x
Heijunka / Nivellieren	x	o	x	o	x
5S	x	x	x	x	x
Arbeiten im Takt	x	o	x	x	x

Die in der TF eingesetzten Bearbeitungstechnologien sind umfangreich und vielfältig. Die auszuwählenden Methoden müssen daher prozessunabhängig einsetzbar sein.

Weiterhin kommen in der Praxis häufig technische Lösungen wie ein Leitstand zum Einsatz. Der Lösungsraum soll möglichst uneingeschränkt bleiben. Daher sollen Methoden, die eine Anwendung bestimmter Softwarelösungen vorschreiben, nicht berücksichtigt werden.

Die Ergebnisse der Prüfung der auszuwählenden Methoden für den Einsatz bei gerichteten Systemen gemäß den ausgewählten Kriterien sind in der Tabelle 19 zusammengestellt. Es zeigt sich, dass ein Großteil der Methoden für gerichtete Systeme die Kriterien für die TF erfüllt. Die Methode Kanban ist für eine hohe Variantenvielfalt, die einen unsteten Bedarf an einem Großteil des Teilespektrums impliziert, nicht geeignet. Würde man trotzdem Kanban einsetzen, wären die erforderlichen Kanban-Mengen zur Deckelung der Unsicherheiten in der Prognose der Bedarfe vorzuhalten. Die Einführung von Kanban ist nur bei Teilen mit regelmäßigen und vorzugsweise hohen Bedarfen sinnvoll. Eine Alternative bietet die übergeordnete Pull-Methode und die in ihr enthaltene Vorgehensweise des Conwip (vgl. hierzu den Abschnitt 2.1.3.3).

Die Methode Heijunka lässt sich bei einer weiten Streuung der Losgrößen nicht oder nur eingeschränkt einsetzen. Die Methode erfordert eine gleichmäßige Einteilung der Fertigungsmengen. Das setzt gleiche Losgrößen voraus. Weiterhin geht es um die tägliche Produktion aller Teile. Auch diese Forderung ist bei einer hohen Variantenvielfalt mit der ermittelten Aufteilung des Teilespektrums gemäß der ABC-Analyse nicht zu erfüllen. Gerade die C-Teile werden auftragsbezogen gefertigt.

Schließlich lässt sich bei einer sehr hohen Teilevielfalt das Arbeiten im Takt kaum realisieren. Die Teile haben unterschiedliche Bearbeitungszeiten und durchlaufen dieselben Bearbeitungsmaschinen. In der Kombination mit einer hohen Teilevielfalt ist eine Abtaktung mit unendlich vielen Kombinationsmöglichkeiten nur schwer möglich.

Für die Methode Heijunka und für das Arbeiten im Takt sind Adaptionen bzw. alternative Vorgehensweisen erforderlich. Letzten Endes orientiert sich die Auswahl der Methoden an den ermittelten Anforderungen der mehrstufigen TF.

5.2.2 Methodenauswahl

Der Vergleich der Anforderungen gerichteter Systeme mit denen der mehrstufigen TF zeigt deutlich, welche Methoden gleichermaßen verwendbar sind. Für die mehrstufige TF gelten jedoch Rahmenbedingungen, die für die Methodenauswahl spezielle Kriterien vorgeben. Die vorangegangenen Ausführungen zeigen, dass einige Lean-Methoden, die sehr gut für gerichtete Systeme eingesetzt werden können, auch für die mehrstufige TF genutzt werden können. Andere Methoden können aus der Literatur übernommen werden. Für die Methoden „Arbeiten im Takt“ und Heijunka sind Adaptionen zu entwickeln.

Die Tabelle 20 gibt einen Überblick über die eingesetzten Methoden für gerichtete Systeme und über die daraus abgeleitete Methodenauswahl für mehrstufige TF. Die Methode „kontinuierlicher Fluss“ ist in der TF besonders wichtig, weil in der funktionsorientierten Strukturierung der Werkstätten eine der Hauptursachen für lange Durchlaufzeiten und Terminverzögerungen liegt. Die Ausführungen von [Hyer 2002], [Li 2005], [Black 2007] und [Danford 2010] zeigen, dass sich diese Methode erfolgreich für die Verkürzung der Durchlaufzeiten einsetzen lässt. Die spezielle Anwendungsweise dieser Methode variiert von einer Veröffentlichung zur anderen. Die vorliegende Arbeit geht von Fertigungszellen aus, in denen einerseits ganze Aufträge weitergegeben werden und andererseits Rückverzweigungen - je nach technologischer Reihenfolge - möglich sind. Die Segmentierung der Bearbeitungsmaschinen und Teile erfolgt nach technologischen Kriterien, um umfangreiche Investitionen in zusätzliche Bearbeitungsmaschinen zu vermeiden. Innerhalb einer Fertigungszelle werden die Maschinenbediener nach dem Prinzip der Mehrmaschinenbedienung eingesetzt.

Tabelle 20: Ableitung der geeigneten Methodenauswahl für mehrstufige TF

Methoden gerichtete Systeme	Eignung mehrstufige TF	Methodeneinsatz mehrstufige TF gemäß der Literatur ²²	ausgewählte Lean-Methoden für mehrstufige TF
SMED	✓	SMED	SMED
kontinuierlicher Fluss / U-Linie	✓	Fertigungszelle	Fertigungszelle
TPM	✓	TPM	TPM
Pull	✓	Conwip	Conwip
Standardisierung	✓	Standardisierung	Standardisierung
JIT/JIS	✓		JIT/JIS
Heijunka	*	Heijunka, Nivellierung Umlaufbestand	Glätten nach Teileklassen, Priorisierung der Aufträge
5S	✓	5S	5S
Arbeiten im Takt	*	feste Taktung in der Produktion	Harmonisierung der Losdauer, Planzeiten aktualisieren

Das Pull-Prinzip wird bei den gerichteten Systemen mit Hilfe der Methode Kanban realisiert. Diese wurde allerdings als ungeeignet für den Einsatz bei mehrstufigen TF bewertet. Dagegen weisen die Veröffentlichungen zu alternativen Methoden einen gemeinsamen Nenner auf: die Begrenzung des in Umlauf gebrachten Bestandes. Die Lösungen variieren hinsichtlich ihrer Umsetzung im Detail. Conwip eignet sich als eine Methode, die über mehrere Bearbeitungsstufen hinweg eingesetzt werden kann, im Gegensatz zu der Lösung Polca. Die Umsetzung ist sehr einfach mit Karten möglich. In Kombination mit der Methode Fertigungszelle wird die Umsetzung dann sogar noch erleichtert, denn es ist wesentlich einfacher, den Überblick über eine Zelle statt über die gesamte TF zu behalten.

Die Methode JIT/JIS findet in den Veröffentlichungen zur mehrstufigen TF keine Erwähnung. Dabei geht es in erster Linie um die Sicherstellung der Materialverfügbarkeit und um eine sinnvolle Trennung zwischen der Wertschöpfung und der Logistik. Die Anforderungen der TF hinsichtlich der Methodenkriterien sind erfüllt. Ihrem Einsatz spricht nichts entgegen. Die in den Praxisfällen erkannten Anforderungen zeigen, dass diese Methode relevant ist.

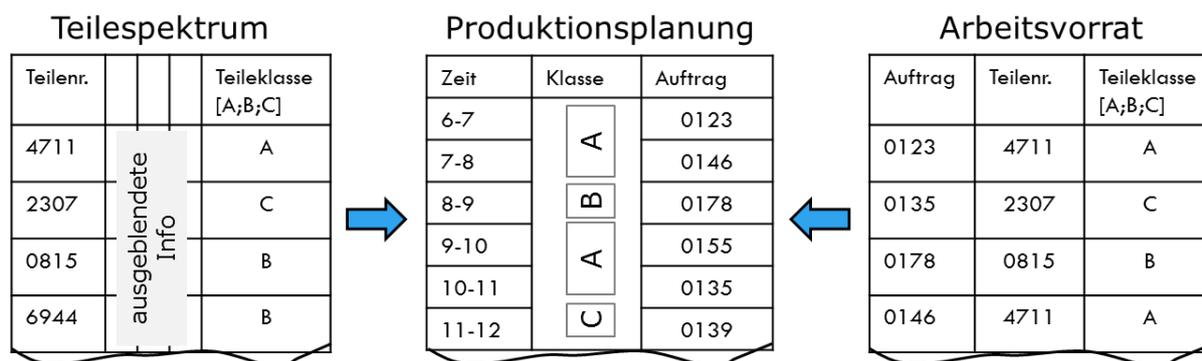


Abbildung 34: Prinzipdarstellung Glätten nach Teileklassen

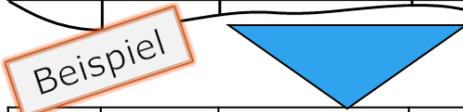
Die Methode Heijunka, die für gerichtete Systeme geeignet ist, kann nicht direkt auf die mehrstufige TF übertragen werden (siehe hierzu die Ausführungen im Abschnitt 5.2.1). Eine gleichmäßige Verteilung der zu produzierenden Mengen - im Sinne von Glätten oder Nivellieren - hat sich jedoch bei den gerichteten Systemen als hilfreich erwiesen. Schließlich hat die Glättung der Teilmengen und Teile, die produziert werden, zu weiteren

²² vgl. hierzu die Ausführungen im Abschnitt 2.3

Bestandsreduzierungen geführt und den gesamten Ablauf des Systems verstetigt. Eine Glättung auf Teileebene ist jedoch für eine mehrstufige TF mit einer hohen Teilevielfalt nicht zielführend. Daher wird diese Methode für die TF weiterentwickelt: statt auf Teileebene zu glätten, wird auf der Ebene der Teileklassen geglättet. In der Abbildung 34 ist das Grundprinzip dieser Methode dargestellt. Die Grundbedingung für die Methode Heijunka ist, dass jedes Teil bzw. jeder Auftrag gleich wichtig ist. Gerade Teile, die bei der ABC-Analyse der C-Klasse zugerechnet werden, haben gegenüber den A-Teilen, die in großen Mengen in regelmäßigen Abständen produziert werden, einen Nachteil. Das Glätten auf der Ebene der Teileklassen sollte also dazu führen, dass die Produktion bzw. die Bearbeitung von Teilen - egal aus welcher Klasse - nur eine bestimmte Maximalzeit warten muss, um gestartet zu werden. Somit wird jeden Tag auf jeder Maschine jede Teileklasse mindestens einmal gefertigt. Ist der Zustand erreicht, sollte geprüft werden, ob eine Weiterentwicklung möglich ist, sodass jede Teileklasse mehrmals pro Tag gefertigt werden kann. Ein Priorisieren von Aufträgen, um deren Durchlauf in der TF zu beschleunigen, darf dann nicht mehr erfolgen.

Allerdings ist das Arbeiten im Takt mit einer hohen Variantenvielfalt und sehr unterschiedlichen Bearbeitungszeiten schwierig zu realisieren. Gerade die A-Teile haben im Vergleich zu den B- und C-Teilen sehr umfangreiche Bedarfe. Diese belegen entsprechend lange die Bearbeitungsmaschinen. An eine Taktung ist dann nicht mehr zu denken. Dafür müssen die B- und C-Teile relativ lange warten, bis ihre Bearbeitung starten kann. Die Harmonisierung der Dauer der Aufträge sorgt für eine Taktung der Arbeiten in der TF (vgl. hierzu die Abbildung 35). Sind höhere Bedarfe bei A-Teilen vorhanden, können diese gefertigt werden, jedoch kann nach Ablauf einer Einheit jederzeit ein B- oder C-Teil gefertigt werden, bevor es mit den A-Teilen weitergeht. Diese Harmonisierung unterstützt zusätzlich das Glätten nach Teileklassen. Jedoch besteht eine Grundbedingung für eine gut funktionierende Harmonisierung der Losdauer sowie für ein Glätten nach Teileklassen darin, dass die Planzeiten im System aktuell sind.

Teilenr.	Losgröße [Stck.]	Bearbeitungszeit [s/Stck.]	Auftragszeit [min.]	Teileklasse [A;B;C]
4711	500	20	166,6	A
2307	50	35	29,2	C
0815	130	24	52	B
6944	180	19	57	B



Teilenr.	Losgröße [Stck.]	Bearbeitungszeit [s/Stck.]	Auftragszeit [min.]	Teileklasse [A;B;C]
4711	100	20	33,3	A
2307	50	35	29,2	C
0815	75	24	30	B
6944	90	19	28,5	B

Abbildung 35: Prinzipdarstellung Harmonisierung der Losdauer

5.2.3 Zielstellung für die Modellierung

Das Hauptanliegen dieses Kapitels ist die Modellierung der Anforderungen an eine TF sowie der Einsatz von Lean-Methoden in einer solchen Umgebung. Die Ziele für das Modell einer mehrstufigen TF sind:

- Beschreibung der Zusammenhänge in einer TF mit den vorliegenden Wirkungsketten und typischen Problemstellungen;
- Aufzeigen der Wirkungsweisen von ausgewählten Lean-Methoden in einer mehrstufigen TF;
- Darstellung der Unterschiede zwischen gerichteten Systemen und denen der mehrstufigen TF.

Eine wichtige Rahmenbedingung der vorliegenden Arbeit besteht darin, die Vergleichbarkeit zwischen den Modellen der gerichteten Systeme und denen der mehrstufigen TF zu sichern. Aufgrund der großen Überschneidung bei den Problemen und Anforderungen sowie bei der Einordnung in die Elementartypen der Produktion können sicherlich Elemente des Modells für gerichtete Systeme übernommen werden.

5.3 Modellierung der Methodenwirkung in der mehrstufigen Teilefertigung

5.3.1 Beschreibung der Anforderungen durch Wirkungsketten

In Analogie zum Vorgehen bei den gerichteten Systemen werden für die Modellierung der Ausgangssituation Variablen definiert. Anschließend werden die Wirkungsketten in der TF modelliert. Dies erfolgt auf der Grundlage der Fallbeispiele und der ermittelten Anforderungen.

Für die Definition der nun erforderlichen Variablen wird der Variablensatz der gerichteten Systeme an die Erfordernisse der TF angepasst. Wenn die bisherigen Definitionen noch geeignet sind, werden sie übernommen bzw. angepasst. Einige Variablen werden nicht mehr benötigt, andere kommen hinzu. Außerdem wurden jene Faktoren eliminiert, die für die mehrstufige TF nicht relevant sind. Es gibt jedoch Kriterien der nicht mehr benötigten Variablen, die für dieses Modell weiterhin erforderlich sind. Deshalb ist eine Neuordnung erforderlich. Die Darstellung des kompletten Variablensatzes ist der Tabelle 21 (vgl. S. 97) zu entnehmen. An dieser Stelle wird deutlich, welche Kriterien welche Faktoren hauptsächlich beeinflussen. Es wird weiterhin mit denselben Variablenklassen gearbeitet: Es gibt Faktoren und Kriterien. Die Kriterien dienen der Entwicklung bzw. Integration von Faktoren.

Die Wirkungszusammenhänge in der TF sind in der Tabelle 22 (vgl. S. 100) dargestellt. Die Wirkungszusammenhänge werden im Interesse der Übersichtlichkeit nur einmal ausführlich beschrieben. Wenn sie bei anderen Wirkungsketten erneut auftreten, werden nur noch die Variablennummern angegeben.

Tabelle 21: Definition der Modell-Variablen für die mehrstufige TF

Nummer	Name	Funktion im Modell	Definition
1	Mitarbeiterproduktivität	Faktor	Die Mitarbeiterproduktivität bezieht sich auf alle Mitarbeiter, die - direkt oder indirekt - am Produktionsprozess beteiligt sind. Diese Variable ist ein Abbild der Fähigkeit des betrachteten Systems, optimierte Abläufe in der Produktion zu erzeugen und diese Abläufe einzuhalten, damit die Ausbringungsmenge je Zeiteinheit entsprechend hoch ist. Nicht-wertschöpfende Tätigkeiten verringern die Produktivität.
1-2	Varianz bei der Ausführung der Aufgaben	Kriterium zur Integration von Faktoren	Eine hohe Varianz bei der Ausführung von Aufgaben bedeutet, dass die Durchführung gleicher Tätigkeiten sehr unterschiedliche Zeitaufwände beansprucht. Eine hohe Varianz ist ein Indikator für Kriterien, die die Mitarbeiterproduktivität mindern.
1-3	Bewusstsein und Aktivität für Standardisierung	Kriterium zur Entwicklung von Faktoren	Standardisierung von Tätigkeiten oder Prozessen bedeutet, einen festgelegten Ablauf für die gleiche Durchführung zu haben. Das Arbeiten mit Standards setzt innerhalb der Organisation ein Bewusstsein für diese Methode voraus.
1-6	Grad der Mehrmaschinenbedienung	Kriterium zur Entwicklung von Faktoren	Mehrmaschinenbedienung bedeutet, dass ein Mitarbeiter je Arbeitszyklus mehrere Maschinen betreut z.B. durch Einlegen und Herausnehmen von Teilen. Dieser Ansatz wirkt sich deutlich positiv auf die Produktivität der Mitarbeiter aus. Durch Verzögerungen oder ungünstige Zykluszeiten auf einzelnen Maschinen kann die Anlagenproduktivität einzelner Maschinen beeinträchtigt werden. Dieser Ansatz ist Teil des Themas Segmentierung und Schaffung von Fertigungszellen.
3	Flächenproduktivität	Faktor	Die Flächenproduktivität ermittelt, wie gut die vorhandene Fläche genutzt wird, um Wertschöpfung zu betreiben. Diese Größe wird zum einen von der Qualität des Bestandsniveaus und zum anderen vom allgemeinen Ordnungs- und Sauberkeitsgrad der Fertigung maßgeblich beeinflusst.
4	Planbarkeit der Aufträge – Zuverlässigkeit	Faktor	Die Planbarkeit der Aufträge in der Produktion zeigt an, ob nach Ablauf der vorgegebenen Zeit, die für einen Auftrag eingeplant wurde, dieser fertiggestellt ist. Werden Pläne verändert, weil sich Prioritäten geändert haben, ist kein Verlass mehr auf die Produktionsplanung. Es kann dem Kunden keine zuverlässige Aussage gemacht werden.
5	Liefertreue	Faktor	Die Liefertreue gibt an, ob ein anfangs bestätigter Liefertermin eingehalten wird. Werden Terminverschiebungen später vorgenommen, sollen diese nicht für den Faktor Liefertreue berücksichtigt werden.

Num-mer	Name	Funktion im Modell	Definition
6-2	Qualität Rüstablauf	Kriterium zur Entwicklung von Faktoren	Die Qualität des Rüstablaufs zeigt den Optimierungsgrad des Rüstprozesses an. Das reicht von der Vorbereitung der Rüstaktivitäten über den eigentlichen Maschinenstillstand bis zur Nachbereitung der Rüstaktivitäten.
6-3	Qualität der Wartungsaktivitäten	Kriterium zur Entwicklung von Faktoren	Die Qualität der Wartungsaktivitäten misst sich an unvorhersehbaren Stillständen von Anlagen bzw. an der Wartungsdauer. Vorausschauende Instandhaltung vermeidet Ersteres. Standardisierte Wartungstätigkeiten stellen die Planbarkeit von Stillständen sicher.
7	Produktionsflexibilität	Faktor	Eine hohe Produktionsflexibilität liegt vor, wenn die Anlagen möglichst flexibel eingesetzt werden können, da beispielsweise eine hohe Produktivität vorliegt. Die Produktionsflexibilität richtet sich aber auch in Richtung Mengenflexibilität, um möglichst nahe am sich verändernden Kundenbedarf orientiert zu produzieren.
8	5-S-Niveau der Fertigung	Faktor	Das 5-S-Niveau einer Fertigung wird gemessen an der Ordnung und Sauberkeit in der Fertigung. Dies wird deutlich, wenn Transparenz hinsichtlich des aktuellen Zustands herrscht.
8-2	Bewusstsein + Aktivität für 5S	Kriterium zur Entwicklung von Faktoren	Bei der Methode 5S geht es um die Verfügbarkeit des Wissens und das entsprechende Agieren. Das Bewusstsein für die Methode ist nicht ausreichend, es sind auch Aktivitäten erforderlich, um Ergebnisse zu erzielen.
9	Umlaufbestand	Faktor	Der Umlaufbestand bezieht sich auf alle Teile, die keine Rohware und noch keine gefertigten Teilen der TF sind.
2-2	Umfang eingesetzter Pull-Methoden	Kriterium zur Entwicklung von Faktoren	Der Umfang der eingesetzten Pull-Methoden bezieht sich auf die Durchgängigkeit der Pull-Methoden in der gesamten Produktion. Ist eine hohe Durchdringung in der Produktion beim Einsatz der Pull-Methoden erreicht, dann zeigt sich die wahre Wirkung der Methoden umfänglich.
10	Qualität des Fertigungsflusses	Kriterium zur Entwicklung von Faktoren	Die Qualität des Fertigungsflusses gibt an, wie gut der Fertigungsfluss aufgebaut ist, ob es möglichst wenige Unterbrechungen durch Puffer oder ähnliches gibt. Häufige Unterbrechungen im Fertigungsfluss führen zu Liegezeiten vor den Maschinen. Unterbrechungen sind auf einen Maschinen- oder sogar einen Werkstattwechsel zurückzuführen.
11	Durchlaufzeit	Faktor	Die Durchlaufzeit ist ein Ergebnis der Bestände einer Fertigung. Hohe Bestände führen zu hohen Durchlaufzeiten.

Num-mer	Name	Funktion im Modell	Definition
12-2	Niveau Trennung von Wertschöpfung und Logistik	Kriterium zur Entwicklung von Faktoren	Die Trennung von Wertschöpfung und Logistik gibt an, wie gut die Prozesse in der Fertigung organisiert und Verantwortlichkeiten zugewiesen sind.
13	Qualität beim Glätten der Teileklassen	Faktor	Die Qualität beim Glätten der Teileklassen (nach ABC-Klassifizierung) gibt an, wie flexibel und regelmäßig die Produktion die Teileklassen fertigt. Es geht nicht darum, von allen Teilen der TF die Tagesmengen zu produzieren, sondern um eine regelmäßige Produktion in kleinen Losgrößen aller Teileklassen.
13-2	Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters	Kriterium zur Entwicklung von Faktoren	Die Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters gibt an, wie häufig die Teileklassen (A, B und C) gewechselt werden.
13-3	Harmonisierung der Losdauer	Kriterium zur Entwicklung von Faktoren	Stark unterschiedliche Losgrößen für A-, B- oder C-Teile führen zu stark unterschiedlichen Auftragslaufzeiten auf den Anlagen einer TF. Die Liegezeiten der wartenden Aufträge schwanken stark. Dieser Ansatz führt zum Nivellieren der Fertigung und zur Verstärkung der Logistikaktivitäten in der Fertigung.
14	Grad der Priorisierung für Aufträge	Kriterium zur Entwicklung von Faktoren	Diese Variable gibt an, wie stark die manuellen Eingriffe in die ursprüngliche Produktionsplanung sind. Die manuellen Eingriffe gehen zu Lasten anderer Aufträge, deren Liegezeiten sich verlängern bzw. deutlicher schwanken. Außerdem stört das die Qualität des Produktionsmusters.
15	Planungsqualität der Aufträge (gefühlte Sicherheit)	Faktor	Liegt ein stabiles und funktionierendes Fertigungssystem vor, dann können sich Planer auf das Fertigstellen benötigter Aufträge verlassen. Steigt die Unsicherheit, dann wird mit mehr Sicherheit geplant (siehe die Erklärungen zum Durchlaufzeit-Syndrom S. 83). Diese Variable bildet die von den Planern wahrgenommene Unsicherheit ab.
15-1	Qualität der Planzeiten	Kriterium zur Entwicklung von Faktoren	Vorgabezeiten sind die Planungsgrundlage in einer TF. Stimmen diese nicht mit den Realzeiten überein, dann ist die Qualität der Fertigungsplanung gemindert.
16	Variabilität der Liegezeit	Faktoren	Stark unterschiedliche Losgrößen führen zu stark unterschiedlichen Belegungszeiten auf der Anlage. Priorisierung der Aufträge führt zu Nachteilen bei anderen Aufträgen. Diese genannten Punkte führen zu stark schwankenden Liegezeiten vor den Anlagen. Liegezeiten sind die Wartezeiten eines Auftrags auf die nächste geplante Bearbeitungsstufe. Die Variabilität führt zu Unplanmäßigkeiten.

Tabelle 22: Wirkungszusammenhänge in einer mehrstufigen TF

Anforderungen Fallbeispiele	Betroffene Variablen	Wirkungszusammenhänge
„Die starke funktionsorientierte Werkstattgestaltung in der Fertigung führt zu regelmäßigen Unterbrechungen im Fertigungsfluss der Teile.“	3, 4, 5, 7, 9, 10, 11, 12, 15, 16	<p>Die Teile werden nicht in einer Werkstatt oder auf einer Maschine fertiggestellt. Die Teile erfahren häufige Maschinen- oder sogar Werkstattwechsel. Damit wird der Fertigungsfluss unterbrochen. Da die TF eine hohe Teilevielfalt besitzt, werden auf allen Maschinen stark unterschiedliche Teile gefertigt. Wechselt ein Teil innerhalb einer Werkstatt zwischen den Maschinen, dann sind die Liegezeiten in der Regel kurz. Der verantwortliche Planer der Werkstatt kennt den Auftrag und berücksichtigt dies in seinen Planungen. Wird jedoch die Werkstatt gewechselt, dann ist für den Planer der neuen Werkstatt häufig nicht klar, wann mit dem Auftrag zu rechnen ist. Also fängt die Planung erst beim Eintreffen an. Die Liegezeiten verlängern sich in diesen Fällen beträchtlich. So entstehen für die einzelnen Aufträge stark schwankende Liegezeiten. Die Durchlaufzeit erhöht sich. Die Planbarkeit bzw. Zuverlässigkeit der Auftragsfertigstellung nimmt ab. Auch die Liefertreue wird geringer. Die Planungsqualität bzw. die wahrgenommene Sicherheit der Planer sinkt. Das hat zur Folge, dass der Umlaufbestand mit dem verfrühten Einplanen von Aufträgen bzw. erhöhten Auftragsmengen steigt. Diese Erhöhung reduziert wiederum die Flächenproduktivität. Die erhöhte Einlastung von Aufträgen reduziert die Produktionsflexibilität der TF.</p> <p>Der Mangel an Fluss in der Fertigung führt ebenfalls zu einer reduzierten Flexibilität in der Fertigung. Außerdem beeinträchtigt dies das Leistungsniveau der Logistik. Sämtliche Aufträge müssen gemäß der festgelegten Arbeitsfolge zu den nächsten Anlagen gebracht werden. Eine Segmentierung der TF mit der Schaffung von Fertigungszellen verstetigt und vereinfacht die Aufgaben der Logistik stark. Schließlich beeinflusst der Fluss in der TF die Variabilität der Liegezeiten.</p>
„dass vereinzelte Anlagen stark ausgelastet oder sogar überplant sind“	4, 9, 15, 15-1	Die Ursache für die starke Auslastung einzelner Anlagen bzw. die kapazitive Überplanung liegt in der mangelnden Qualität der Planzeiten. Stimmen die Vorgabezeiten des planenden Systems der TF nicht mit den Realzeiten überein, dann führt das zu einem Absinken der Planungsqualität der Aufträge. Im nächsten Schritt sinkt die Planbarkeit der Aufträge. Der Umlaufbestand steigt an.
„ein Maschinenbediener lediglich für eine Maschine zuständig ist“	1, 3, 6, 7, 8, 9, 11, 16	Bedient ein Maschinenbediener lediglich eine Maschine, dann reduziert das zwar die Mitarbeiterproduktivität, hält aber die Anlagenproduktivität hoch. Eine geringe Mitarbeiterproduktivität erhöht den Umlaufbestand einer Fertigung.

Anforderungen Fallbeispiele	Betroffene Variablen	Wirkungszusammenhänge
„Es fehlt ein präventives Instandhalten der Anlagen.“	1, 1-2, 1-3, 3, 4, 5, 6, 6-3, 7, 8, 9, 11, 12, 15, 16	Ein Mangel an adäquater Instandhaltung führt zu unkalkulierbaren Anlagenausfällen. Die Anlagenproduktivität sinkt.
„Die Maschinenbediener sind neben der unmittelbaren Anlagenbedienun für viele andere Aufgaben zuständig.“	1, 1-2, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 12, 12-2	Werden verschiedene Tätigkeiten von den Mitarbeitern in der Fertigung übernommen, so liegt ein geringes Niveau bei der Trennung von Wertschöpfung und Logistik vor. Das reduziert deutlich das eigentliche Leistungsniveau der Logistik. Da die Logistik das eigene Leistungsportfolio nicht voll anbieten und nutzen kann, verlängert sich die Durchlaufzeit für Aufträge. Werden Logistikaufgaben von der Fertigung übernommen, steigert dies auch die Varianz bei der Ausführung von Aufgaben in der Fertigung. Das wiederum senkt die Anlagenproduktivität der Fertigung, da der Mitarbeiter mit anderen Aufgaben befasst ist und sich nicht um den weiteren Betrieb der Anlage kümmern kann.
„bei einer manuellen Priorisierung von Aufträgen auch sehr unterschiedliche Durchlaufzeiten auftreten“	4, 6, 7, 9, 13, 14, 15, 16	Ein häufiges Priorisieren von Aufträgen reduziert die Planbarkeit bzw. Zuverlässigkeit für andere Aufträge. Die Planungsqualität (gefühlte Sicherheit) nimmt ab. Außerdem wird das etablierte Produktionsmuster nicht mehr eingehalten. Das hat wiederum zu Folge, dass die Anlagenproduktivität sinkt. Produktionsmuster bedeuten Planungssicherheit und Rüstreihenfolgen, die bereits optimiert sind. Die Produktionsflexibilität wird ebenfalls reduziert, da mit der Priorisierung klar vorgegeben ist, welche Aufträge zwingend als nächste zu bearbeiten sind. Schließlich erhöht sich noch die Variabilität der Liegezeiten.
„dass Vorgabezeiten des Planungssystems mit den tatsächlichen Zeiten in der Fertigung nicht übereinstimmen“	4, 9, 15, 15-1	Sind im Planungssystem andere Zeiten hinterlegt als in der Realität vorliegen, dann nimmt im ersten Schritt die Planungsqualität ab. Dies fördert einen Anstieg im Umlaufbestand. Weiterhin wird die Planbarkeit der Aufträge reduziert.
„Da es für den Werkstattbestand bzw. für die gestarteten Aufträge keine Begrenzung gibt [...]“	2-2, 3, 6, 8, 9, 11, 16	Pull-Methoden begrenzen die Menge an Aufträgen in einem System durch unterschiedliche Hilfsmittel. Können unbegrenzt viele Aufträge eingelastet werden, dann erhöht das die Menge des Umlaufbestands deutlich. Dies reduziert die Flächenproduktivität und das 5S-Niveau in der Fertigung. Anlagenproduktivität, Durchlaufzeit und Variabilität der Liegezeit werden gesteigert.

Anforderungen Fallbeispiele	Betroffene Variablen	Wirkungszusammenhänge
„In der Fertigung werden nacheinander sehr unterschiedliche Losgrößen durchgeschleust.“	1-2, 6, 7, 11, 12, 13, 13-3, 16	Eine weite Streuung der Losgrößen hat zur Folge, dass die Variabilität der Liegezeiten hoch ist. Die Aufträge müssen sehr unterschiedlich lang vor den Anlagen warten. Weiterhin ist die Logistik schwer planbar. Da zu unterschiedlichen Zeiten sehr unterschiedlich große Mengen zustande kommen. Eine regelmäßige und gleich hohe Auslastung in der Logistik lässt sich kaum erreichen. Das Leistungsniveau der Logistik ist gering. Dieser Punkt führt zu einer hohen Variabilität in der Ausführung der Logistikaufgaben und senkt damit auch die Mitarbeiterproduktivität. Diese Schwächen in der Logistik können zur Erhöhung der Durchlaufzeit der Aufträge führen.

5.3.2 Modellierung der Ausgangssituation

Das qualitative Modell zur Darstellung der Wirkungszusammenhänge in einer mehrstufigen TF besteht aus 26 Variablen. Diese Variablen haben unterschiedliche Funktionen. Die Vorgehensweise bei der Modellierung orientiert sich am Vorgehen im vorangegangenen Kapitel (vgl. Abschnitt 4.4.2) bei der Modellierung der gerichteten Systeme. Soweit es möglich war, wurden Variablen und Modellausschnitte übernommen, um einerseits die Vergleichbarkeit zu sichern und andererseits den Modellierungsaufwand zu minimieren.

Die Abbildung 36 stellt das Modell der mehrstufigen TF im Überblick dar. Sie zeigt, dass sich die beiden Modelle trotz der Übernahme von Modellteilen der gerichteten Systeme und trotz vieler gleicher bzw. vergleichbarer Variablen doch sehr voneinander unterscheiden. Es sind zwei Variablen hinzugekommen, die im Wesentlichen die Kriterien zur Entwicklung von Faktoren betreffen. Statt bisher 9 gibt es nun 12 Variablen, die im Modell eine Veränderung der Wirkungsweisen ermöglichen. Außerdem gibt es aufgrund weiterer Zusammenhänge und Wirkungsketten nun 15 statt bisher 13 Submodelle. Auf eine zusätzliche Gliederung in weitere Ebenen wird auch in diesem Modell verzichtet.

Bei der Analyse der Modelldetails zeigen sich weitere Unterschiede. Am Beispiel des Submodells „Mitarbeiterproduktivität“ (vgl. die Abbildung 37 mit der Abbildung 28, S. 69) wird ersichtlich, dass in einer mehrstufigen TF ganz andere Wirkungsweisen bestehen. Die Hauptvariablen sind bis auf die Variable 10 „Qualität des Fertigungsflusses“ gleich. Der Fertigungsfluss hat in einem gerichteten System einen sehr großen Einfluss auf die Mitarbeiterproduktivität. In einer mehrstufigen TF hat der einzelne Mitarbeiter einen anders gearteten Einfluss auf die Produktivität des Systems. In diesem Fall findet hauptsächlich eine Maschinenbedienung statt. Der Effekt des Fertigungsflusses auf die Produktivität des einzelnen Mitarbeiters ist hier anders zu bewerten.

Ein weiterer Aspekt ist die Abtaktung. Auf Grund der Vielzahl kleiner Tätigkeiten in einer Montagelinie ist eine gute Abtaktung erforderlich, um Produktivitätsverluste zu minimieren. Die Zykluszeiten der Maschinen einer TF liegen um ein Vielfaches über den kurzzyklischen Einzeltätigkeiten der Montage. Damit verliert im Umfeld einer TF die Abtaktung deutlich an Relevanz. Ein anderer Aspekt betrifft die Mehrmaschinenbedienung. Diese gewinnt an Bedeutung, da ein Mitarbeiter mit der Bedienung nur einer Maschine häufig nicht ausgelastet ist. Das Einlegen und Entnehmen von Teilen und bei Bedarf das Durchführen von Teileprüfungen oder kleineren Nacharbeiten deckt sich nicht mit den Zykluszeiten der Maschinen.

So gibt es im Vergleich beider Modelle zwar einige Parallelen, doch auch viele Unterschiede, die auf die unterschiedlichen Rahmenbedingungen, Ausgangsvoraussetzungen und

Anforderungen zurückzuführen sind. Eine Übersicht über alle Wirkungszusammenhänge im Modell der mehrstufigen TF zeigt die Tabelle 23 (siehe S. 105).

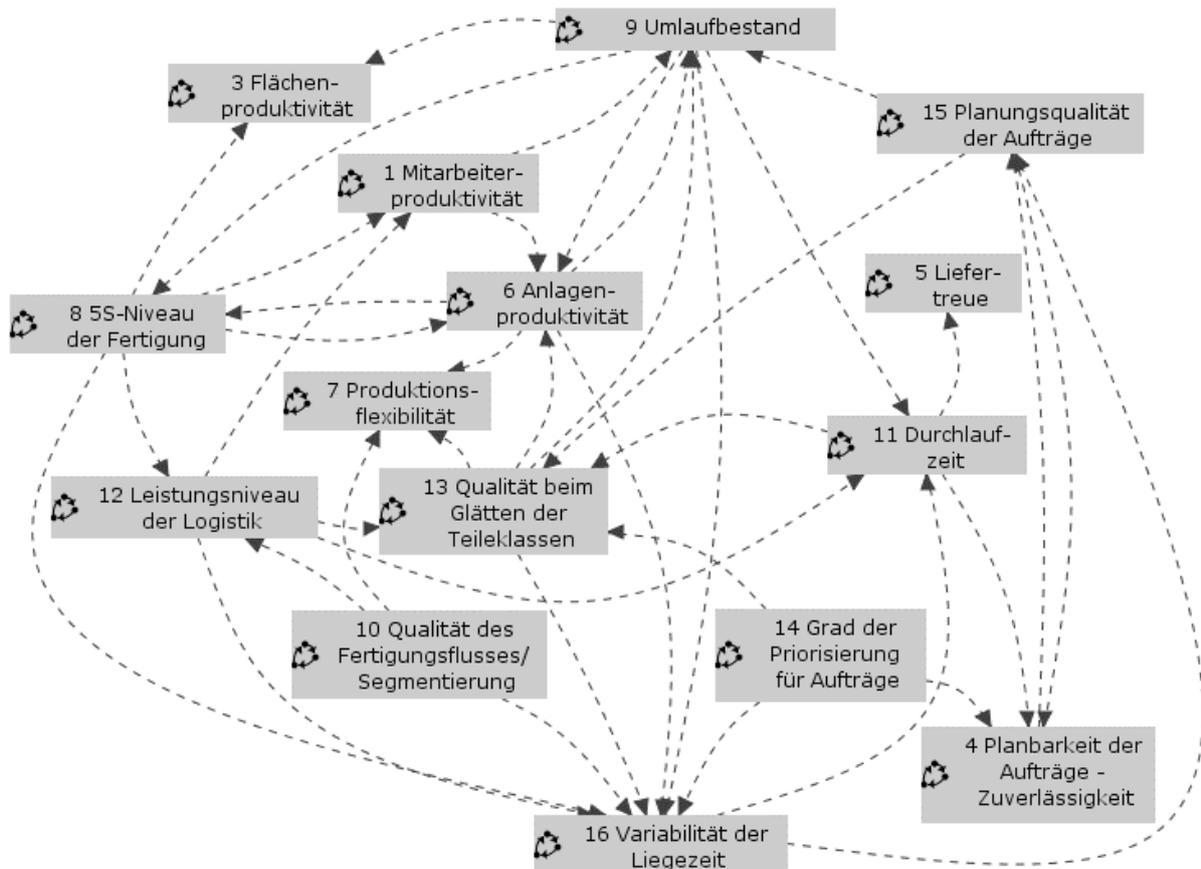


Abbildung 36: Modellübersicht mehrstufige Teilefertigung

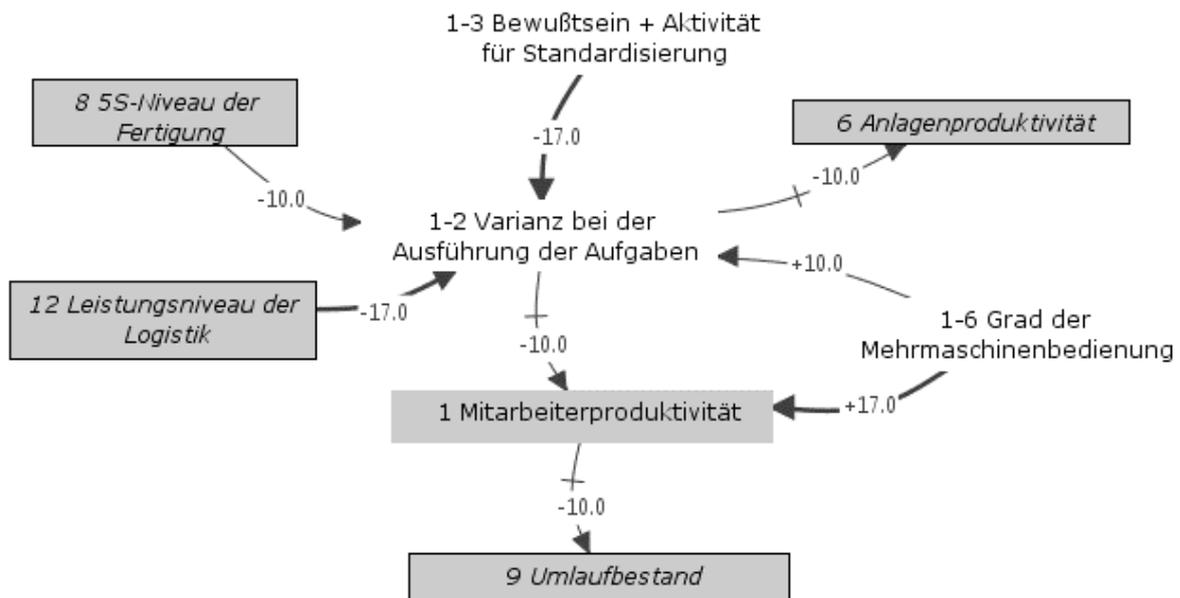


Abbildung 37: Wirkungszusammenhänge im Submodell „Mitarbeiterproduktivität“ der mehrstufigen Teilefertigung

Die Berechnung der Aktiv- und Passivwerte der Variablen gibt einen deutlichen Aufschluss über die Zusammenhänge im Modell. Die höchsten Aktivwerte verzeichnet die Variable 9 „Umlaufbestand“ mit dem Wert 7 sowie die Variable 13 „Qualität beim Glätten der

Teileklassen“ mit dem Wert 6. Damit wird klar, dass der Umlaufbestand in den Wirkungszusammenhängen einer TF eine zentrale Größe ist. Der Umlaufbestand ist auch bei den gerichteten Systemen eine zentrale Größe. Allerdings ist bei den gerichteten Systemen die aktivste Variable die Variable 10 „Qualität des Fertigungsflusses“.

Die Ermittlung der Passivwerte zeigt, dass hier die Variablen 16 „Variabilität der Liegezeit“ mit einem Wert von 11 und die Variable 6 „Anlagenproduktivität“ mit einem Wert von 8 an der Spitze liegen. Im Gegensatz zu den gerichteten Systemen ist hier auch die Anlagenproduktivität eine stark beeinflusste Variable. Gerade in der TF erlangt diese Größe eine zentrale Bedeutung.

Das Diagramm in der Abbildung 38 (siehe S. 106) zeigt die 13 Variablen des Modells in der Ausgangssituation. Dabei ist vor allem die Ausgangssituation, die im Bereich der Zeitleiste bei der Zeiteinheit 19 darstellt ist, relevant. Die Änderungen der Variablen in den davor liegenden Zeiträumen sind für das Erreichen des Systemgleichgewichts in der Ausgangssituation erforderlich. Die Angaben in der Legende in Klammern sind die Werte der jeweiligen Variablen in der Zeiteinheit 19. Alle Ergebnisse der Simulation sind detailliert im Anhang (vgl. Anhang 9.7, Tabelle 73, S. 192) angegeben.

Die Unterschiede zwischen den beiden Modellen werden durch den Vergleich der Aktiv- und Passivwerte deutlich. Die gerichteten Systeme haben als aktivste Variable die Nummer 9 „Umlaufbestand“ und die Nummer 10 „Qualität des Fertigungsflusses“. Im Modell der mehrstufigen TF ist es zwar ebenfalls die Nummer 9 „Umlaufbestand“, aber auch die Nummer 13 „Qualität beim Glätten der Teileklassen“. Es zeigt sich also, dass die Variable „Umlaufbestand“ systemunabhängig von zentraler Bedeutung ist. Dies deckt sich mit den Veröffentlichungen zum Thema Lean-Methoden bzw. Schlanke Produktion. Der Bestand ist eine zentrale Größe. Die einzelnen vorgeschlagenen Veränderungen bzw. Methoden wirken in letzter Konsequenz zumeist auf eine Reduzierung des Umlaufbestands hin (vgl. hierzu u.a. [Rother 2003]; [Takeda 1995]; [Erlach 2007]; [Liker 2007]).

Tabelle 23: Einflussmatrix mehrstufige Teilefertigung

Nr.	Variablenname	Variable																									
		1	1-2	1-3	1-6	3	4	5	6	6-2	6-3	7	8	8-2	9	2-2	10	11	12	12-2	13	13-2	13-3	14	15	15-1	16
1	Mitarbeiterproduktivität																										
1-2	Varianz bei der Ausführung der Aufgaben	-1/2																									
1-3	Bewußtsein+Aktivität für Standardisierung		-2/1																								
1-6	Grad der Mehrmaschinenbedienung	2/1	1/1																								
3	Flächenproduktivität																										
4	Planbarkeit der Aufträge - Zuverlässigkeit																								2/1		
5	Liefertreue																										
6	Anlagenproduktivität																										
6-2	Qualität Rüstablauf							2/1			1/1																-1/2
6-3	Qualität der Wartungsaktivitäten							2/2			1/1																
7	Produktionsflexibilität																										
8	5S-Niveau der Fertigung						1/2												1/1								-1/2
8-2	Bewußtsein+Aktivität für 5S						-2/1				2/1							2/2									
9	Umlaufbestand																										
2-2	Umfang eingesetzter Pull-Methoden																										
10	Qualität des Fertigungsflusses/Segmentierung																										
11	Durchlaufzeit										1/2								2/1								-2/2
12	Leistungsniveau der Logistik																										
12-2	Niveau Trennung von Wertschöpfung und Logistik																										
13	Qualität beim Glätten der Teileklassen										2/1								2/2								-1/1
13-2	Wiederholbarkeit des Produktionsmusters																										
13-3	Harmonisierung der Losdauer																										
14	Grad der Priorisierung für Aufträge																										
15	Planungsqualität der Aufträge (gefühlte Sicherheit)																										
15-1	Qualität der Planzeiten (Vorgabez. = Realz.)																										
16	Vanabilität der Liegezeit																										

Anmerkungen: Lesrichtung von links nach rechts; erster Wert der Zelle ist die Wirkungsstärke und zweiter Wert die Wirkungsverzögerung; zum ersten Wert: ein positiver Wert bedeutet eine verstärkende, ein negativer Wert eine mindernde Wirkung auf die andere Variable; 1 bedeutet unterdurchschnittliche Wirkung, 2 steht für eine eher durchschnittliche Wirkung und die 3 bedeutet eine überdurchschnittliche Wirkung; der zweite Wert der Zelle ist die zeitliche Verzögerung der Wirkung; 1 bedeutet kurzfristige Wirkung, 2 steht für eine mittelfristige Wirkung und 3 signalisiert eine langfristige Wirkung

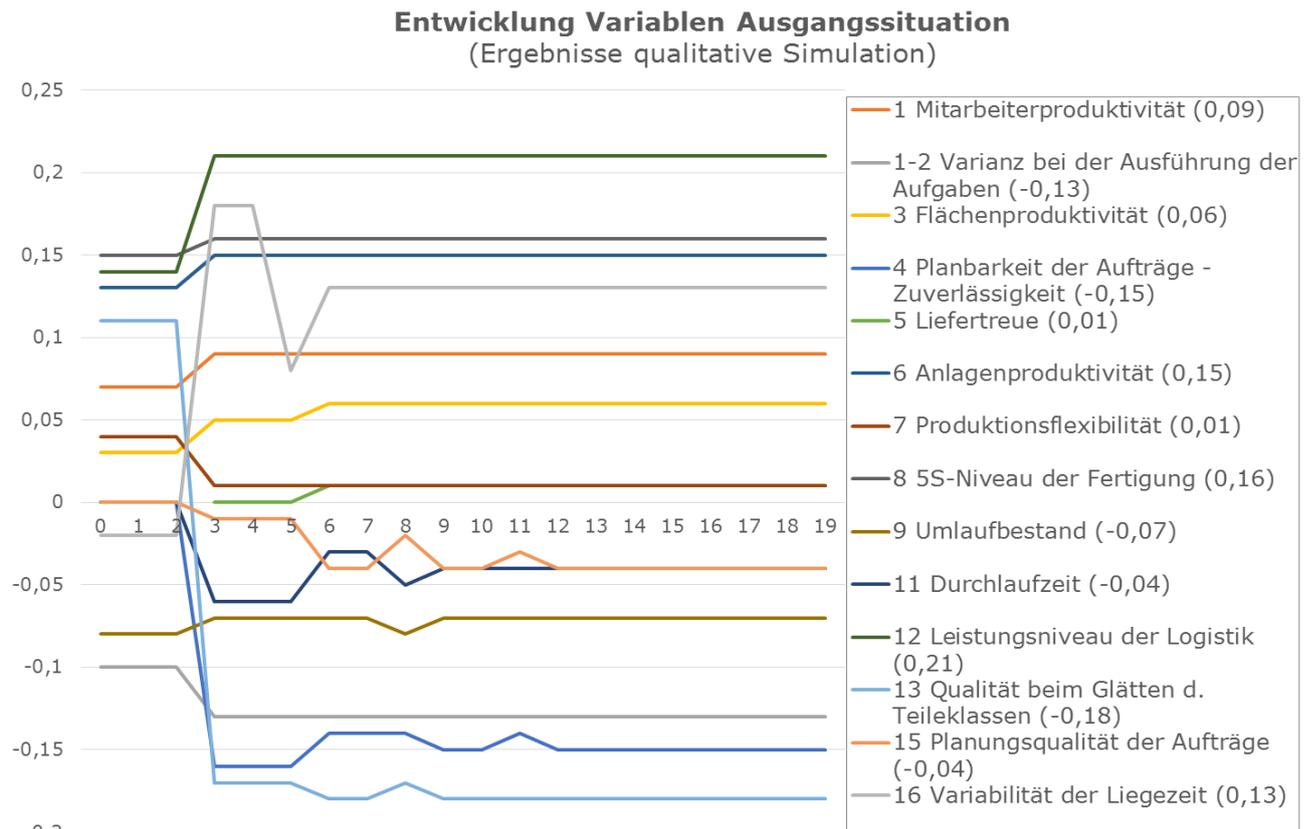


Abbildung 38: Datenverläufe in der Ausgangssituation für mehrstufige TF

Der Vergleich der Passivwerte zeigt, dass bei beiden Modellen die Variable 6 „Anlagenproduktivität“ eine stark beeinflusste Größe ist und dass sie damit auch von zentraler Bedeutung ist. Allerdings ist bei den gerichteten Systemen die Variable 13 „Qualität beim Glätten der Teileklassen“ von Bedeutung, während bei der mehrstufigen TF die Variable 16 „Variabilität der Liegezeit“ eine stark beeinflusste Größe ist.

Der Vergleich der Ausgangswerte des Modells für gerichtete Systeme mit denen der mehrstufigen TF zeigt, dass im Ausgangszustand bei gleichen Variablen vergleichbare Werte vorliegen. Die Vergleichbarkeit der Ausgangssituationen ist darauf zurückzuführen, dass beide Modelle nach demselben Prinzip entwickelt wurden. Außerdem beruhen beide Modelle auf ähnlichen Wirkungsketten bzw. gleichen Wirkungsabschnitten. Da es sich hierbei nur um eine qualitative Simulation handelt, wird sich erst bei der Einführung der Methoden zeigen, wie stark die Veränderungen tatsächlich auf die Variablen einwirken. Mit der Simulation der Ausgangssituation wurde lediglich der Punkt des eingeschwungenen Systemzustands bestimmt.

5.3.3 Modellierung des Methodeneinsatzes in der mehrstufigen Teilefertigung

Die Beeinflussung der modellierten Ausgangssituation einer mehrstufigen TF erfolgt mit Hilfe jener Kriterien, die den Einsatz von Lean-Methoden repräsentieren. Die Veränderung der Parameter dieser Kriterien führt im Modell zu einer veränderten Wirkung und damit zu neuen Werten der Faktoren. Die Berücksichtigung der Lean-Methoden für die mehrstufige TF erfolgt entsprechend den beschriebenen Methoden in der Tabelle 20 (vgl. S. 94). Dabei ist die jeweilige Methode nicht immer unmittelbar im Modell zu finden. Beispielsweise wird für die Realisierung des Pull-Prinzips als methodischer Ansatz das Conwip verwendet, das sich als Kriterium 2-2 „Umfang eingesetzter Pull-Methoden“ im Modell wiederfindet. Somit ist der detaillierte Methodenansatz des Conwip im Modell nicht direkt abgebildet, sondern dessen Wirkungsweise. Eine Übersicht über die Lean-Methoden sowie über deren

Umsetzung im Modell zeigt die Tabelle 24. Für die Methoden „Arbeiten im Takt“, JIT/JIS und „Nivellieren und Glätten“ werden jeweils zwei Kriterien eingesetzt und damit Methoden oder Maßnahmen im Modell der mehrstufigen TF abgebildet. Dies ergibt sich sowohl aus den Beobachtungen der Praxisbeispiele als auch aus der Einordnung in die Elementartypen der Produktion.

Tabelle 24: Abbilden der Lean-Methoden im Modell der mehrstufigen TF

Lean-Methode	Variable im Modell	Wirkungsweise
SMED	6-2 Qualität im Rüstablauf	positiv
TPM	6-3 Qualität der Wartungsaktivitäten	positiv
Standardisierung	1-3 Bewusstsein und Aktivität für Standardisierung	positiv
Arbeiten im Takt	13-3 Harmonisierung der Losdauer 15-1 Qualität der Planzeiten	positiv
JIT/JIS	12-2 Niveau Trennung von Wert-schöpfung und Logistik	positiv
kontinuierlicher Fluss / U-Linie	1-6 Grad der Mehrmaschinenbedie-nung 10 Qualität des Fertigungsflusses	positiv
5S	8-2 Bewusstsein und Aktivität für 5S	positiv
Kanban	2-2 Umfang eingesetzter Pull-Metho-den	positiv
Pull		
Heijunka / Nivellieren und Glätten	13-2 Wiederholhäufigkeit des Produk-tionsmusters 14 Grad der Priorisierung der Auf-träge	positiv
VSM/VSD	Nicht im Modell enthalten	/

Die Methode „Arbeiten im Takt“ ist in der TF nur dann möglich, wenn die Bearbeitungszeiten der unterschiedlichen Lose einander angeglichen sind. Die Taktung setzt aber voraus, dass die Planzeiten den Realzeiten entsprechen. In den Praxisfällen (vgl. Abschnitt 5.1.1) ist zu beobachten, dass bedeutende Abweichungen vorliegen.

Die Methode „kontinuierlicher Fluss“ lässt sich in der TF durch eine gute Segmentierung der Fertigung realisieren. Dies wird durch die Variable 10 „Qualität des Fertigungsflusses“ dargestellt. Der Grad der Mehrmaschinenbedienung stellt dann im nächsten Schritt indirekt die Entwicklung hin zu einer Fertigungszelle dar.

Die Methoden zum Nivellieren und Glätten betreffen die Einstellung der Produktionsmuster. Dies wird im Modell durch das Kriterium 13-2 „Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters“ dargestellt. Im gesamten Modell erfolgt keine Abbildung von Teileklassen, um nicht dadurch die Übersichtlichkeit zu gefährden. Weiterhin haben die Praxisbeispiele gezeigt, dass in der Fertigung Aufträge bei Bedarf vorgezogen bzw. priorisiert werden. Dies führt im System immer zu Unruhe und zerstört die Einhaltung jeglicher Produktionsmuster.

Der Vergleich mit dem Methodeneinsatz gerichteter Systeme zeigt, dass es auch hier viele Gemeinsamkeiten gibt. Soweit dies möglich ist, sind dieselben Methoden im Einsatz. Das betrifft insbesondere die Methoden SMED, TPM, Standardisierung, 5S und JIT.

In Tabelle 25 sind die Wirkungsstärken der Lean-Methoden auf die Variablen im Modell dargestellt. Dabei handelt es sich um eine relative Darstellung der Wirkungsstärken zueinander. Die tatsächliche Wirkungsstärke ist von Ausgangssituation und Intensitätsgrad der gewählten Lean-Methoden abhängig. Die dargestellten Wirkungsstärken berücksichtigen bis zu fünf Stufen im Modell. Weiterführende Analysen, die darüber hinaus reichen, erbringen keine weiteren Veränderungen oder Erkenntnisse.

Tabelle 25: Wirkungsstärken der Lean-Methoden im Modell

Variablenname	170	1.600	2	12	12	20	29	29	57	-	3	7	11	13-2 Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters	13-3 Harmonisierung der Losdauer	14 Grad der Priorisierung für Aufträge	15-1 Qualität der Planzeiten (Vorgabez. = Realz.)
1 Mitarbeiterproduktivität	2	306	2	152	15	9	34	29	3	3	3	4	7	13-2 Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters	13-3 Harmonisierung der Losdauer	14 Grad der Priorisierung für Aufträge	15-1 Qualität der Planzeiten (Vorgabez. = Realz.)
3 Flächenproduktivität	2	26	306	152	15	9	34	29	3	3	3	4	7	13-2 Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters	13-3 Harmonisierung der Losdauer	14 Grad der Priorisierung für Aufträge	15-1 Qualität der Planzeiten (Vorgabez. = Realz.)
4 Planbarkeit der Aufträge - Zuverlässigkeit	5	5	49	15	9	9	58	29	3	3	3	4	7	13-2 Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters	13-3 Harmonisierung der Losdauer	14 Grad der Priorisierung für Aufträge	15-1 Qualität der Planzeiten (Vorgabez. = Realz.)
5 Liefertreue	3	3	31	9	9	7	34	29	3	3	3	4	7	13-2 Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters	13-3 Harmonisierung der Losdauer	14 Grad der Priorisierung für Aufträge	15-1 Qualität der Planzeiten (Vorgabez. = Realz.)
6 Anlagenproduktivität	165	- 114	- 163	1.683	1.683	1.003	33	32	138	81	138	32	11	13-2 Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters	13-3 Harmonisierung der Losdauer	14 Grad der Priorisierung für Aufträge	15-1 Qualität der Planzeiten (Vorgabez. = Realz.)
7 Produktionsflexibilität	17	- 12	- 9	171	171	102	1.013	8	303	178	303	8	7	13-2 Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters	13-3 Harmonisierung der Losdauer	14 Grad der Priorisierung für Aufträge	15-1 Qualität der Planzeiten (Vorgabez. = Realz.)
8 SS-Niveau der Fertigung	5	14	170	29	29	1.717	2	2	32	-	-	2	7	13-2 Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters	13-3 Harmonisierung der Losdauer	14 Grad der Priorisierung für Aufträge	15-1 Qualität der Planzeiten (Vorgabez. = Realz.)
9 Umlaufbestand	- 46	- 140	- 1.681	- 294	- 294	- 176	- 52	- 13	- 315	- 185	- 185	- 13	7	13-2 Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters	13-3 Harmonisierung der Losdauer	14 Grad der Priorisierung für Aufträge	15-1 Qualität der Planzeiten (Vorgabez. = Realz.)
11 Durchlaufzeit	- 10	- 25	- 308	- 89	- 89	- 75	- 343	- 170	- 76	- 39	- 39	- 170	7	13-2 Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters	13-3 Harmonisierung der Losdauer	14 Grad der Priorisierung für Aufträge	15-1 Qualität der Planzeiten (Vorgabez. = Realz.)
12 Leistungsniveau der Logistik		2	- 17	103	103	172	1.700	1.700	3	2	2	1.700	7	13-2 Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters	13-3 Harmonisierung der Losdauer	14 Grad der Priorisierung für Aufträge	15-1 Qualität der Planzeiten (Vorgabez. = Realz.)
13 Qualität beim Glätten der Teileklassen		5	52	15	15	12	58	29	1.711	1.007	1.007	29	7	13-2 Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters	13-3 Harmonisierung der Losdauer	14 Grad der Priorisierung für Aufträge	15-1 Qualität der Planzeiten (Vorgabez. = Realz.)
15 Planungsqualität der Aufträge (gefühlte Sicherheit)	2	1	25	30	30	29	180	5	22	1.028	1.028	5	22	13-2 Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters	13-3 Harmonisierung der Losdauer	14 Grad der Priorisierung für Aufträge	15-1 Qualität der Planzeiten (Vorgabez. = Realz.)
16 Variabilität der Liegezeit	- 22	- 4	- 175	- 303	- 303	- 290	- 1.710	- 6	- 219	- 129	- 129	- 6	- 219	13-2 Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters	13-3 Harmonisierung der Losdauer	14 Grad der Priorisierung für Aufträge	15-1 Qualität der Planzeiten (Vorgabez. = Realz.)

Im Modell für die mehrstufige TF werden - ebenso wie bei den gerichteten Systemen - die Parameter der Kriterien für die Entwicklung der Faktoren um den Faktor 5 von 0,2 auf 1,0 bzw. von 1,0 auf 0,2 verändert. Im Simulationslauf wird diese Veränderung bei der Zeiteinheit 20 eingeführt. Bis zur Zeiteinheit 19 wurde nachweislich ein eingeschwungener Zustand der Ausgangssituation erreicht, die Faktoren sind dann stabil und bleiben unverändert. Der Simulationslauf wird bis zur Zeiteinheit 50 fortgeführt. Erst nach der Zeiteinheit 38 gelangen die Faktoren wieder in einen eingeschwungenen Zustand, nachdem alle Kriterien in der Zeiteinheit 20 verändert wurden. Die Veränderungen ab der Zeiteinheit 20 sind in der Abbildung 39 zu sehen. Alle Ergebnisse des Simulationslaufs mit der Einführung der Lean-Methoden sind detailliert im Anhang 9.7 (Tabelle 74, S. 193) angegeben.

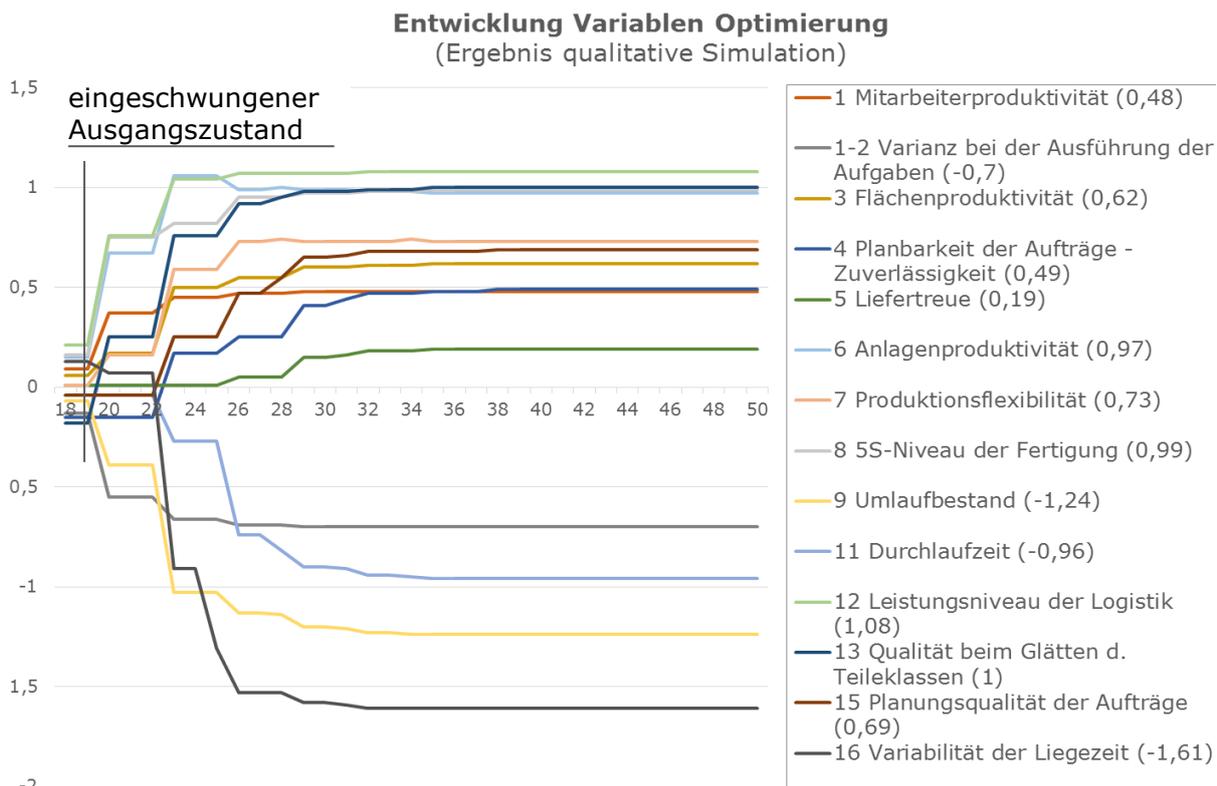


Abbildung 39: Datenverläufe Ausgangssituation und Optimierung für mehrstufige TF

Insgesamt sind es vier Faktoren, die sich tendenziell verringern: 1-2 „Varianz bei der Ausführung der Aufgaben“, 9 „Umlaufbestand“, 11 „Durchlaufzeit“ und 16 „Variabilität der Liegezeit“. Diese Entwicklungen haben in der Simulation zwar Werte mit negativem Vorzeichen, aber mit positiver Wirkung. Zum Beispiel ist eine Verringerung des Umlaufbestands erwünscht und ein Signal für eine geringere Kapitalbindung, eine geringe Durchlaufzeit u.v.a.m.

Die Faktoren mit einem positiven Anstieg gegenüber der Ausgangssituation zeigen ebenfalls erwünschte Entwicklungen auf. Beispielsweise steigt die Variable 6 „Anlagenproduktivität“ vom Anfangswert 0,15 auf 0,97. Da es sich um eine qualitative Simulation handelt, ist lediglich die Tatsache eines Anstiegs und der Grad der Veränderung von Bedeutung, nicht aber der absolute Wert. Weiterhin muss bei der Interpretation der Ergebnisse stets beachtet werden, dass in der Simulation alle Methoden zur gleichen Zeit eingeführt werden - und das auch noch auf einem gleich hohen Niveau. In der Realität würden diese Veränderungen sukzessive vorgenommen werden. Die Methoden befänden sich während des Veränderungsprozesses stets in unterschiedlichen Reifegraden. Somit würde eine Veränderung des Systems der mehrstufigen TF anders ausfallen.

Im Abschnitt 5.1.1 wurden im Detail drei Praxisbeispiele einschließlich der Ziele der Unternehmensleitung beschrieben. Zusammengefasst sind dies die folgenden Ziele: Reduzierung der Bestände, Verkürzung der Durchlaufzeit und Verbesserung der Liefertreue. Die Einführung der ausgewählten Lean-Methoden verbessert alle drei Aspekte im Modell deutlich. Die Umlaufbestände werden von -0,07 auf -1,24 reduziert, die Durchlaufzeit wird von -0,04 auf den Wert -0,96 verkürzt und die Liefertreue verbessert sich von 0,01 auf 0,19.

Das Ziel dieses Modells - das Abbilden der Wirkungszusammenhänge einer mehrstufigen TF - wurde bereits mit dem Abschnitt 5.3.2 erreicht. Die Wirkungen der Lean-Methoden wurden detailliert in diesem Abschnitt aufgezeigt. Nun sind - aufgrund des prinzipiell gleichen Modellaufbaus und der überwiegend gleichen verwendeten Variablen - die Modelle sehr gut miteinander vergleichbar. Es zeigen sich viele Gemeinsamkeiten. Es wird aber auch deutlich, dass gerichtete Systeme andere Anforderungen und damit auch andere Wirkungsweisen haben, die sich in der Modellierung entsprechend niederschlagen.

Tabelle 26: Vergleich der Simulationsergebnisse der Modelle

Variable	gerichtete Systeme			mehrstufige TF		
	Ausgangssituation	Optimierung	Delta	Ausgangssituation	Optimierung	Delta
1	0,11	0,55	0,44	0,09	0,48	0,39
1-2	-0,22	-1,09	0,87	-0,13	-0,70	0,57
1-5	0,18	0,91	0,73			
2	0,15	0,77	0,62			
2-3	0,20	1,02	0,82			
3	0,19	0,97	0,78	0,06	0,62	0,56
4	0,03	0,14	0,11	-0,15	0,49	0,64
5	0,03	0,14	0,11	0,01	0,19	0,18
6	0,14	0,70	0,56	0,15	0,97	0,82
7	0,12	0,61	0,49	0,01	0,73	0,72
8	0,21	1,03	0,82	0,16	0,99	0,83
9	-0,29	-1,47	1,18	-0,07	-1,24	1,17
11	-0,14	-0,72	0,58	-0,04	-0,96	0,92
12	0,22	1,09	0,87	0,21	1,08	0,87
13	0,16	0,79	0,63	-0,18	1,00	1,18
15				-0,04	0,69	0,73
16				0,13	-1,61	1,74

Die in der Tabelle 26 wiedergegebene Gegenüberstellung der Simulationsergebnisse zeigt die Unterschiede zwischen den beiden Modellen. Zunächst ist zu sehen, dass die beiden Modelle 12 gleiche Faktoren haben. Lediglich fünf Faktoren liegen nicht in der Schnittmenge beider Modelle. Der Vergleich der Simulationsergebnisse für die jeweiligen Ausgangssituationen zeigt jedoch, dass dieselben Faktoren im eingeschwungenen Zustand unterschiedliche Werte annehmen. Das ist auf die verschiedenen Wirkungsketten und Wirkungszusammenhänge zwischen den Variablen zurückzuführen. Dementsprechend sind auch die Werte nach der Optimierung deutlich verschieden. Der Vergleich der Delta-Werte in der Tabelle zeigt, welche Schwerpunkte die beiden Systeme haben. Bei den gerichteten Systemen sind dies: „Umlaufbestand“, „Varianz bei der Ausführung der Aufgaben“ und „Leistungsniveau der Logistik“. Bei der mehrstufigen TF ist dies zunächst die Methode „Nivellieren und Glätten“, dann „Umlaufbestand“ und schließlich „Durchlaufzeit“.

Die Methode „Nivellieren und Glätten“ als Schwerpunkt in der TF wirkt auf den ersten Blick überraschend. Bei einer genaueren Analyse zeigt sich jedoch, dass diese Methode von allen anderen beeinflusst wird. „Nivellieren und Glätten“ setzt den Einsatz aller ausgewählten Lean-Methoden voraus. Die Wirkung der anderen Methoden verstärkt sich letztlich in der

Methode des Glättens. Die Durchlaufzeit wirkt auf diese Größe und ist schließlich mit dem Bestand und mit der Liefertreue eng verbunden (die drei Ziele aus den Praxisbeispielen).

5.3.4 Die ideale mehrstufige Teilefertigung nach Lean-Prinzipien

Die im Unternehmen vorgefundene Ausgangssituation - nämlich die Situation, dass noch nahezu keine Lean-Methode eingeführt worden ist - wurde im Modell für alle Methoden entsprechend dargestellt. Von diesem Ausgangspunkt ist es ein langer Weg, bis ein idealer Zustand erreicht werden kann. Die Zwischenetappen sind vielfältiger Natur und hängen davon ab, in welcher Reihenfolge die Lean-Methoden eingeführt werden. Es ist von Vorteil, ein Zielbild bzw. eine Vision des Zustands zu formulieren, der am Ende in der jeweiligen mehrstufigen TF erreicht werden soll. Die ausgewählten Lean-Methoden betreffen unterschiedliche Bereiche eines Fertigungssystems; sie beeinflussen und ergänzen sich gegenseitig. Dieser Abschnitt beschreibt - unter Berücksichtigung der ausgewählten Lean-Methoden - den angestrebten Idealzustand einer mehrstufigen TF, die nach Lean-Kriterien gestaltet ist. Im Interesse einer besseren Verständlichkeit werden die Lean-Methoden noch einmal in Klammern angegeben.

Die Bearbeitungsmaschinen werden schnell gerüstet. Die Rüstzeit liegt im einstelligen Minutenbereich (SMED). Es können kleinste Losgrößen für die Aufträge eingestellt werden, sodass die Auftragsbelegungszeiten kurz sind (Arbeiten im Takt durch Harmonisierung der Losdauer). Dadurch wird es möglich, auf einer Anlage in regelmäßigen Abständen, z.B. jede volle Stunde, einen Auftrag fertigzustellen und danach die Anlage für den nächsten Auftrag zu rüsten. So kommt es zu einem regelmäßigen Takt in der gesamten Fertigung. Diese Arbeitsweise setzt ein entsprechend gutes Wartungskonzept für die Bearbeitungsmaschinen voraus. Es ist erforderlich, eine hohe Verfügbarkeit der Produktionsanlagen sicherzustellen. Die Anlagen müssen sich also in einem sehr guten technischen Zustand befinden und kurze (maximal ein bis zwei Stunden) planbare Wartungsintervalle haben (TPM).

An den Bearbeitungsmaschinen sorgt eine regelmäßig (z.B. alle halbe Stunde) agierende Logistik für die erforderliche Materialversorgung. Ohne die Maschinenbediener in ihrem Produktionsfluss zu unterbrechen, werden die benötigten Teile, Rohteile, Waren etc. zur Verfügung gestellt. Die fertiggestellten Teile werden - wenn erforderlich - zum nächsten Bearbeitungsbereich transportiert. Dadurch werden im Bereich der Anlagen nur kleine Pufferflächen benötigt, die das Material für maximal eine Stunde bereithalten (JIT/JIS durch Trennung von Wertschöpfung und Logistik).

Der Logistikbereich erfährt von einer Fertigungsplantafel, welche Teile oder Aufträge als nächste bearbeitet werden. Hier werden die Informationen für die nächsten ca. 8 Stunden angegeben. Es wird deutlich, dass A-Teile (hoher und regelmäßiger Bedarf) regelmäßig gefertigt werden. Die B- und C-Teile (geringer und unregelmäßiger Bedarf) werden - über den Tag verteilt - immer wieder zwischen den A-Teilen gefertigt. Dadurch wird verhindert, dass seltene Teilebedarfe lange liegen bleiben und somit dieselben Durchlaufzeiten haben wie die häufig produzierten Teile (Heijunka durch Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters). Dieser Plan wird auch eingehalten, da nun Chefaufträge mit besonderen Prioritäten oder Vergleichbares der Vergangenheit angehören (Heijunka durch Priorisierung der Aufträge). Der Besucher dieser Fertigung kann eine ruhige, gleichmäßige Produktion ohne Störungen und Unterbrechungen beobachten.

Die Fertigungsaufträge einzelner Teilenummern werden möglichst in einem Fertigungsbereich komplett fertiggestellt. Dafür wird die Fertigung segmentiert. Die Teile erfahren im Fertigungsfluss keine Unterbrechungen mehr, und die Wartezeiten und Durchlaufzeiten stabilisieren sich auf einem niedrigen Niveau. Idealerweise werden die Maschinen in einem Bereich nicht nur einfach zusammengestellt, sondern außerdem in der Fertigungsreihenfolge des Bereichs in einem U-Layout angeordnet. Dann durchlaufen die Aufträge bzw. Teile den Fertigungsbereich immer in derselben Reihenfolge bzw.

überspringen ggf. eine Bearbeitungsmaschine („kontinuierlicher Fluss“ / U-Linie durch Qualität des Fertigungsflusses).

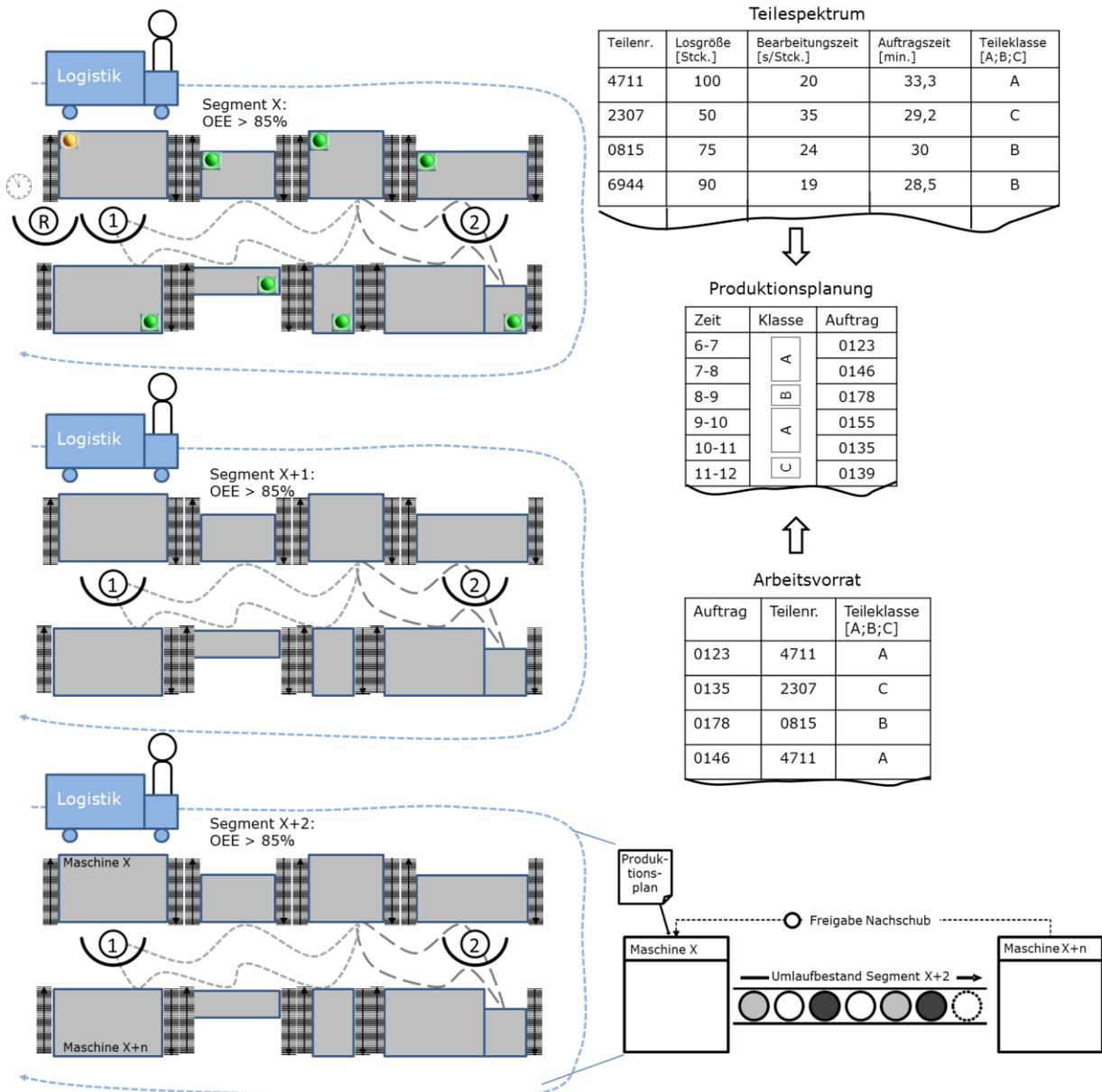


Abbildung 40: Vereinfachte Abbildung der mehrstufigen TF nach Lean-Prinzipien

Um die Aufträge in diesem Fluss möglichst effizient zu bearbeiten, wird die Mehrmaschinenbedienung eingeführt („kontinuierlicher Fluss“ / U-Linie durch Grad der Mehrmaschinenbedienung). Der Maschinenbediener legt in einem festen Zyklus an mehreren Maschinen Teile ein und entnimmt gefertigte Teile, um sie zu verpacken bzw. um sie zur nächsten Anlage und damit zum nächsten Bearbeitungsschritt zu transportieren. Dadurch werden die Teile im Ideal im Einstückfluss durch den Fertigungsbereich geschleust und sind am Ende fertig bearbeitet, ohne zwischendurch verpackt zu werden.

Um sicherzustellen, dass die Fertigungsbereiche nicht unnötig viele Aufträge zur gleichen Zeit starten, wird die Methode Conwip eingeführt (Pull-Prinzip). Ein neuer Auftrag wird immer dann gestartet, wenn ein anderer Auftrag im Fertigungsbereich fertiggestellt wurde. Dabei zählen die Fertigungsstunden, die der Auftrag in dem jeweiligen Fertigungsbereich verursacht hat. Der Umlaufbestand wird somit konstant gehalten und damit auch die Durchlaufzeit. Die Fertigstellung eines Auftrags gibt das Signal, dass ein neuer Auftrag gestartet werden kann. Die Auftragsplanungstafel gibt vor, welcher Auftrag als nächster gestartet werden soll.

Die Voraussetzung für eine solche Fertigung sind zuverlässige, aktuelle Planzeiten (Arbeiten im Takt durch Qualität der Planzeiten). Weiterhin ist die Methode Standardisierung für alle Aktivitäten wichtig, die innerhalb der TF durchgeführt werden, um zu sichern, dass die Prozesse aufeinander abgestimmt sind. Standards erfüllen daher die Funktion der Festlegung und Kontrolle. Schließlich bietet ein hohes 5S-Niveau die Möglichkeit, die Qualität der Logistikaktivitäten einzuhalten, Rüstzeiten kurz zu halten und die Wartungsaktivitäten planbar zu machen. Die Abbildung 40 zeigt in grafischer Form die ideale mehrstufige TF. Allerdings ließen sich die Standards, 5S und die Qualität der Planzeiten nicht darstellen. Innerhalb der Fertigungszellen arbeiten Mitarbeiter, die mehrere Maschinen bedienen. Das symbolisieren die Kreise mit den Zahlen. Der Mitarbeiter mit dem Buchstaben „R“ leistet beim Rüsten der Anlage Unterstützung, da sonst der Mitarbeiter seinen Takt nicht einhalten kann.

Aus der Beschreibung der idealen mehrstufigen TF nach Lean-Kriterien lässt sich eine Methodenreihenfolge für ihre Einführung von Lean-Methoden ableiten, das nach dem Bottom-up-Ansatz funktioniert. Man beginnt auf der Maschinenebene. Es folgen Themen, die die Auftragssteuerung betreffen, an die sich schließlich die Methoden zur Sicherstellung des Zusammenspiels der Maschinen anschließen. Demnach wäre eine Methodenreihenfolge zur Einführung: SMED, „Arbeiten im Takt“, TPM, JIT/JIS, Heijunka, „kontinuierlicher Fluss“ / U-Linie und Pull-Prinzip. Die Methoden „Qualität der Planzeiten“ („Arbeiten im Takt“), Standardisierung und 5S sind Methoden, die jederzeit eingeführt werden können. Schließlich ist zu bedenken, dass die Aktualisierung der Planzeiten langwierig ist und deshalb gleich an den Anfang der Aktivitäten gesetzt werden sollte.

5.4 Methodenreihenfolge für die mehrstufige Teilefertigung

Das Modell ist vollständig und die Methoden wurden bestimmt. Es ist nun zu klären, in welcher Reihenfolge die Methoden eingeführt werden sollen. Dafür wird analog zum Abschnitt 4.5 über Simulationsläufe eine Methodenreihenfolge ermittelt. Die Festlegung der Vorgehensweise richtet sich nach den Zielen, die ein Unternehmen mit der Einführung der Schlanken Produktion verfolgt. So lässt sich ermitteln, durch welche Methoden diese Ziele am besten erreicht werden können. Es wird dann empfohlen, diese Methoden als erste einzuführen.

Die Ziele für die gerichteten Systeme lassen sich durch Umfragen in Klein- und Mittelständischen Unternehmungen in Deutschland ermitteln (vgl. [Jödicke 2012]). Die Schwerpunkte sind: Produktivitätssteigerung, Durchlaufzeitverkürzung und Kostenreduzierung. Die Kostenreduzierung wird bei der Entwicklung der Methodenreihenfolge für gerichtete Systeme in Form der Bestandsreduzierung berücksichtigt. Die in den Praxisbeispielen für eine mehrstufige TF (vgl. hierzu den Abschnitt 5.1.1) angegebenen Schwerpunkte sind jedoch: Steigerung der Liefertreue, Verkürzung der Durchlaufzeit und Reduzierung des Bestands. Der Unterschied betrifft hauptsächlich die Aspekte der Produktivitätssteigerung (Mitarbeiter und Anlagen).

Für die Ermittlung eines geeigneten Vorgehens zur Einführung der Schlanken Produktion in einer mehrstufigen TF werden - basierend auf den beiden unterschiedlichen Zielen - zwei Methodenreihenfolgen entwickelt. Die Reihenfolge 1 basiert auf den Zielen, die in der Umfrage von [Jödicke 2012] ermittelt wurden. Die Gewichtung der Werte wird entsprechend der Priorisierung aus dem Abschnitt 4.5.1 vorgenommen. Die Anlagenproduktivität und die Mitarbeiterproduktivität gehen mit ihrer Faktorentwicklung multipliziert mit dem Wert 1,019 ein. Die Liefertreue wird mit dem Faktor 1,008 gewichtet. Der Bestand - in Form der Variablen „Umlaufbestand“ - vertritt die Kostenreduzierung und geht in die Berechnung mit dem Faktor 1 ein.

In der Tabelle 27 ist die Methodenreihenfolge 1 dargestellt. Bei genauerer Betrachtung fällt auf, dass die Methodeneinführung iterative Schleifen erfordert. Die Qualität der Planzeiten ist für die Optimierungsstufe 11 angegeben. Jedoch beziehen sich die Maßnahmen aus der Variablen 13-3 „Harmonisierung der Losdauer“ auf die Planzeiten. Werden diese angepasst,

ist sicherlich eine erneute Prüfung der Losdauer erforderlich. Ebenso basieren die Planungen zur Mehrmaschinenbedienung und zum Einstellen eines Produktionsmusters auf den systemseitig hinterlegten Planzeiten. Es empfiehlt sich daher, als erstes die Maßnahme zur Qualitätssteigerung der Planzeiten zu aktivieren, bevor die anderen Methoden zur Anwendung kommen (vgl. hierzu die Tabelle 28). Die detaillierten Ergebnisse der Simulationsläufe zur Ermittlung der Methodenreihenfolge 1 befinden sich im Anhang 9.8 (vgl. S. 194).

Tabelle 27: Methodenreihenfolge 1 für Einführung von Lean in der mehrstufigen TF

Optimierungsstufe	Variable	Übergeordnete Lean-Methode
1	2-2 Umfang eingesetzter Pull-Methoden	Kanban und Pull
2	6-2 Qualität Rüstablauf	SMED
3	1-6 Grad der Mehrmaschinenbedienung	kontinuierlicher Fluss / U-Linie
4	6-3 Qualität der Wartungsaktivitäten	TPM
5	13-3 Harmonisierung der Losdauer	Arbeiten im Takt
6	14 Grad der Priorisierung	Heijunka / Nivellieren und Glätten
7	8-2 Bewusstsein und Aktivität für 5S	5S
8	13-2 Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters	Heijunka / Nivellieren und Glätten
9	10 Qualität des Fertigungsflusses	kontinuierlicher Fluss / U-Linie
10	1-3 Bewusstsein und Aktivität für Standardisierung	Standardisierung
11	15-1 Qualität der Planzeiten	Arbeiten im Takt
12	12-2 Niveau Trennung von Wertschöpfung und Logistik	JIT/JIS

Tabelle 28: Empfohlenes Methodenreihenfolge 1 zur Einführung von Lean

Optimierungsstufe	Variable	Übergeordnete Lean-Methode
1	15-1 Qualität der Planzeiten	Arbeiten im Takt
2	2-2 Umfang eingesetzter Pull-Methoden	Kanban und Pull
3	6-2 Qualität Rüstablauf	SMED
4	1-6 Grad der Mehrmaschinenbedienung	kontinuierlicher Fluss / U-Linie
5	6-3 Qualität der Wartungsaktivitäten	TPM
6	13-3 Harmonisierung der Losdauer	Arbeiten im Takt
7	14 Grad der Priorisierung	Heijunka / Nivellieren und Glätten
8	8-2 Bewusstsein und Aktivität für 5S	5S
9	13-2 Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters	Heijunka / Nivellieren und Glätten
10	10 Qualität des Fertigungsflusses	kontinuierlicher Fluss / U-Linie
11	1-3 Bewusstsein und Aktivität für Standardisierung	Standardisierung
12	12-2 Niveau Trennung von Wertschöpfung und Logistik	JIT/JIS

Die Methodenreihenfolge 2 wird auf der Grundlage der aus den Praxisbeispielen ermittelten Ziele entwickelt. Diese Ziele sind Liefertreue, Durchlaufzeit und Bestand. Dabei ist keine Gewichtung der Ziele ersichtlich. Daher wird bei der Ermittlung der Reihenfolge mit gleichgewichteten Zielen gerechnet. Die betroffenen Variablen sind: 5 „Liefertreue“, 9 „Umlaufbestand“ und 11 „Durchlaufzeit“. Die ermittelte Reihenfolge ist in der Tabelle 29 dargestellt. Die detaillierten Simulationsergebnisse sind im Anhang 9.9 (siehe S. 205) wiedergegeben. Auch hier zeigt sich, dass die Anpassung der Planzeiten, auf die sich die anderen Aktivitäten stützen, erst später erfolgt, sodass sich ebenso eine empfohlene Methodenreihenfolge 2 ermitteln lässt (vgl. hierzu die Tabelle 30).

Tabelle 29: Methodenreihenfolge 2 zur Einführung von Lean in der mehrstufigen TF

Optimierungsstufe	Variable	Übergeordnete Lean-Methode
1	13-3 Harmonisierung der Losdauer	Arbeiten im Takt
2	2-2 Umfang eingesetzter Pull-Methoden	Kanban und Pull
3	14 Grad der Priorisierung	Heijunka / Nivellieren und Glätten
4	10 Qualität des Fertigungsflusses	kontinuierlicher Fluss / U-Linie
5	13-2 Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters	Heijunka / Nivellieren und Glätten
6	6-2 Qualität Rüstablauf	SMED
7	6-3 Qualität der Wartungsaktivitäten	TPM
8	15-1 Qualität der Planzeiten	Arbeiten im Takt
9	12-2 Niveau Trennung von Wertschöpfung und Logistik	JIT/JIS
10	8-2 Bewusstsein und Aktivität für 5S	5S
11	1-3 Bewusstsein und Aktivität für Standardisierung	Standardisierung
12	1-6 Grad der Mehrmaschinenbedienung	kontinuierlicher Fluss / U-Linie

Tabelle 30: Empfohlenes Methodenreihenfolge 2 zur Einführung von Lean

Optimierungsstufe	Variable	Übergeordnete Lean-Methode
1	15-1 Qualität der Planzeiten	Arbeiten im Takt
2	13-3 Harmonisierung der Losdauer	Arbeiten im Takt
3	2-2 Umfang eingesetzter Pull-Methoden	Kanban und Pull
4	14 Grad der Priorisierung	Heijunka / Nivellieren und Glätten
5	10 Qualität des Fertigungsflusses	kontinuierlicher Fluss / U-Linie
6	13-2 Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters	Heijunka / Nivellieren und Glätten
7	6-2 Qualität Rüstablauf	SMED
8	6-3 Qualität der Wartungsaktivitäten	TPM
9	12-2 Niveau Trennung von Wertschöpfung und Logistik	JIT/JIS
10	8-2 Bewusstsein und Aktivität für 5S	5S
11	1-3 Bewusstsein und Aktivität für Standardisierung	Standardisierung
12	1-6 Grad der Mehrmaschinenbedienung	kontinuierlicher Fluss / U-Linie

Welches der beiden Reihenfolgen die bessere ist, hängt von den Zielen des Unternehmens ab. Soll eine komplette Schlanke TF installiert werden, dann sind schließlich alle Methoden zur Anwendung zu bringen. Die Reihenfolge gibt eine Hilfestellung nur dann, wenn bestimmte Ergebnisse so früh wie möglich erreicht werden sollen. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass in der Ausgangssituation für die Simulationsläufe für alle Kriterien ein gleich hohes Niveau angenommen wird. Die Realität zeigt jedoch, dass die Ausprägung der einzelnen Merkmale sehr heterogen ist. Es empfiehlt sich also, mit Hilfe des Modells die tatsächliche Ausgangssituation zu beschreiben, die Parameter der betroffenen Kriterien entsprechend einzustellen und die beste Methodenreihenfolge entsprechend den eigenen Zielen zu ermitteln.

5.5 Zusammenfassung

Die Untersuchung des Stands der Wissenschaft (vgl. hierzu Abschnitt 2) hat gezeigt, dass es Lean-Methoden gibt, die für die gerichteten Systeme geeignet sind. Außerdem stellt sich heraus, dass auch für die mehrstufige TF schon Lean-Methoden entwickelt wurden. Es fehlen jedoch systematische Analysen der Anforderungen in einer solchen Umgebung. Weiterhin wurde bisher kein Verfahren zur Einführung einer Schlanke Fertigung bei einer mehrstufigen TF beschrieben.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, für den Anwendungsfall mehrstufige TF die Anforderungen in der Produktion zu bestimmen. Die Wirkungszusammenhänge sollen in einem Modell beschrieben werden. Weiterhin sollen Lean-Methoden adaptiert bzw. entwickelt werden, die für die Anwendung in der TF geeignet sind, um die erkannten Anforderungen zu berücksichtigen und eine Schlanke Produktion zu installieren. Schließlich soll die Wirkungsweise der eingeführten Lean-Methoden in der mehrstufigen TF nachgewiesen werden. Auf der Grundlage der betrachteten Praxisfälle wurden die wesentlichen Anforderungen in einer mehrstufigen TF beschrieben. Der Vergleich mit den gerichteten Systemen zeigt klare Parallelen, aber auch wesentliche Unterschiede auf. Insbesondere die Mehrstufigkeit des Produktionssystems verstärkt Probleme, die in dieser Brisanz bei gerichteten Systemen nicht in Erscheinung getreten sind.

Die beschriebenen Probleme sowie die bereits untersuchten Lean-Methoden der gerichteten Systeme haben es ermöglicht, die notwendigen und geeigneten Lean-Methoden für die mehrstufige TF abzuleiten. Damit wurde ein Methodenkatalog aufgebaut, der die Lean-Prinzipien erfüllt und für das betrachtete Anwendungsfeld geeignet ist. Bei diesem Methodenkatalog handelt es sich nicht um eine lineare Übertragung des Methodenkatalogs der gerichteten Systeme. Für einige Lean-Themen sind in der mehrstufigen TF mehrere Ansätze erforderlich. Sicherlich kann kritisiert werden, dass es sich hierbei zum Teil um sehr pragmatische Lösungsansätze - wie z.B. die Richtigstellung der Planzeiten - handelt. Dem kann jedoch entgegnet werden, dass auch in der Fachliteratur von sehr pragmatischen Ansätzen gesprochen wird, die zum Erfolg führen und die eigentlich keiner wissenschaftlichen Untersuchung bedürfen. Ein Beispiel dafür ist die Lean-Methode 5S als ein Ansatz, Ordnung und Sauberkeit in der Produktion zu schaffen.

Mit Hilfe der Know-why-Methode wird ein Modell entwickelt, das die Wirkungszusammenhänge im Produktionssystem darstellt und damit weitere Analysemöglichkeiten schafft. Die Anwendung des Lean-Methodenkatalogs wird im Modell überprüft. Die Wirkungsweise der Methoden und des gesamten Methodenkatalogs wird nachgewiesen. Die qualitative Simulation im Modell zeigt beeindruckende Ergebnisse zur Wirkungsweise der eingeführten Lean-Methoden.

Mit Hilfe des Modells werden zwei unterschiedliche Methodenreihenfolgen zur Einführung von Lean-Methoden in der mehrstufigen TF entwickelt. Es zeigt sich, dass sich bei unterschiedlichen Schwerpunkten verschiedene Reihenfolgen bei der Anwendung der Methoden ergeben. Somit bietet das Modell die Möglichkeit, bei einer individuellen Festlegung der Ziele ein angepasstes Vorgehen zur Einführung von Lean-Methoden sowohl bei gerichteten Systemen als auch bei einer mehrstufigen TF zu entwickeln. Außerdem

bietet das Modell die Möglichkeit, ein bestehendes System entsprechend der vorliegenden Ausgangssituation und der bereits realisierten Umsetzungsgrade der Lean-Methoden zu charakterisieren.

Letztendlich bleibt noch ein offener Aspekt für die mehrstufige TF: die Evaluierung, dass die Einführung der ausgewählten Lean-Methoden in der Praxis so erfolgversprechend ist, wie es die Simulationen im Modell versprechen. Zu diesem Zweck werden im Kapitel 6 Experten-Interviews durchgeführt.

6 Aufbau und Evaluierung des Verfahrens für eine mehrstufige Teilefertigung

6.1 Methodisches Vorgehen zur Evaluierung der Methodenreihenfolge

6.1.1 Konzept der Evaluierung

In den vorangegangenen Kapiteln wurden die Anforderungen an ein Produktionssystem der mehrstufigen TF beschrieben und klassifiziert. Die Lösungsansätze zur Einführung einer Schlanke Produktion mit Hilfe eines entwickelten Lean-Methodenkatalogs liegen vor. Die Wirkungszusammenhänge in der TF vor und nach der Einführung der Lean-Methoden wurden in einem Modell beschrieben. Das Ziel dieses Kapitels ist es nun zu prüfen, inwiefern die beschriebenen Methodenreihenfolgen zur Einführung in einer mehrstufigen TF praxistauglich sind und zu einem erfolgreichen Ergebnis führen. Wie bereits im Abschnitt 3.4 dargelegt wurde, wird als Evaluierungsmethode das Experten-Interview gewählt.

In einem ersten Schritt wird in diesem Abschnitt das Gesamtkonzept zur Evaluierung der Methodenreihenfolge mittels der Experten-Interviews erklärt. Das schließt den Aufbau und die Durchführung der Interviews sowie die Auswahl der Interviewpartner ein. Im nächsten Schritt werden dann die Ergebnisse dargelegt. Schließlich wird geprüft, welche Schlussfolgerungen aus den Interview-Ergebnissen für die vorliegende Arbeit zu ziehen sind.

DURCHFÜHRUNG DER EXPERTENINTERVIEWS

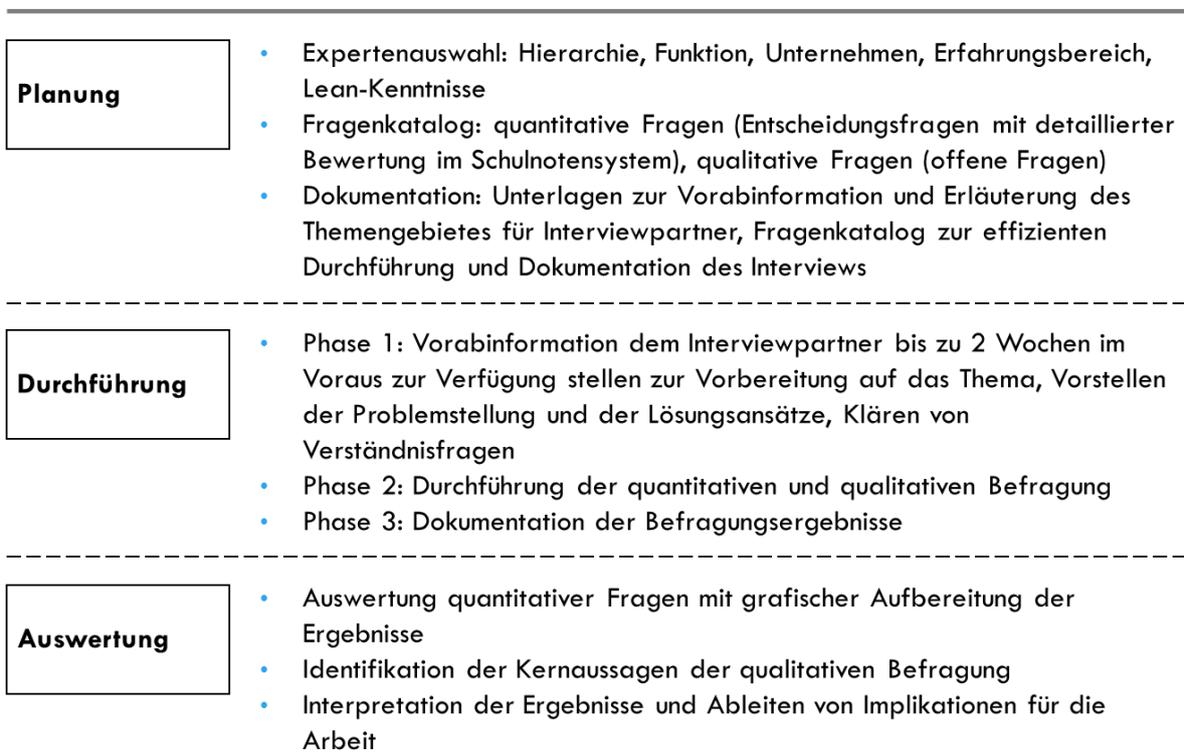


Abbildung 41: Verfahren zur Expertenbefragung

In der Abbildung 41 ist das Konzept zur Expertenbefragung dargestellt. Das Interview soll eine Dauer von zwei Stunden nicht überschreiten. Jeder Interviewpartner erhält vorab eine Unterlage mit einer Einführung in das Thema und mit dem Lösungsansatz. Die ersten 45 Minuten des Interviews sind für die Klärung von Verständnisfragen oder von inhaltlichen

Themen eingeplant, die sich aus der Vorbereitungsunterlage ergeben. Eine inhaltliche Diskussion mit dem Interviewpartner soll an dieser Stelle noch nicht geführt werden.

Die quantitative Befragung betrifft Fragen zur Einschätzung der Methodenauswahl, zu den Erfolgsaussichten und zur Praxisrelevanz. Der Interviewpartner bewertet die Themen jeweils entsprechend dem deutschen Schulnotensystem (1 für sehr gut und 5 für mangelhaft bzw. ungenügend). Die quantitative Befragung betrifft die Mehrheit der Fragen, da deren Auswertung verhältnismäßig schnell möglich ist. Für diesen Interviewabschnitt sind 15 Minuten vorgesehen.

Die qualitative Befragung betrifft nur sehr wenige Fragen, da deren Auswertung sehr aufwändig ist und die Vergleichbarkeit der Ergebnisse über verschiedene Interviewpartner hinweg sehr schwierig wird. Für diesen Interviewabschnitt sind 30 Minuten eingeplant. Damit bleiben 30 Minuten Puffer für unvorhergesehene Themen oder Diskussionen.

Die Auswertung der Interviewergebnisse soll einen Überblick über alle Antworten der Gesprächspartner geben. Weiterhin sollen durch eine Klassifizierung der Interviewpartner und ihrer Ergebnisse die Antworten in Beziehung zur jeweiligen Funktion bzw. Hierarchie-Ebene gesetzt werden. Einen Überblick über den Fragenkatalog gibt der Anhang 9.10 (siehe S. 215). Die Vorbereitungsunterlage für die Gesprächspartner ist im Anhang 9.11 (vgl. S. 218) wiedergegeben.

6.1.2 Aufbau des Experten-Interviews

Das Experten-Interview (siehe den detaillierten Fragenkatalog im Anhang 9.10, S. 215) ist in mehrere Abschnitte unterteilt, die unterschiedliche Ziele verfolgen. Die Abschnitte A und B beinhalten quantitative Fragen. Der qualitative Abschnitt C enthält offene Fragen.

Im Abschnitt A wird aufgrund von Fragen zur Person des Interviewpartners geprüft, ob er wirklich ein geeigneter Experte ist. Es werden Fragen gestellt, die zeigen, über welche Praxiserfahrungen zum Thema der mehrstufigen TF der Interviewpartner verfügt und in welcher Funktion bzw. auf welcher Hierarchieebenen er diese Erfahrungen sammeln konnte. Weiterhin wird ermittelt, inwiefern Erfahrungen und theoretisches Wissen zum Thema der Lean-Methoden und der Einführung einer Schlanken Fertigung vorliegen.

Durch weitere Fragen im Abschnitt A soll sichergestellt werden, dass die TF des Interviewpartners zu derselben Problemklasse gehört wie die in der vorliegenden Arbeit vorgenommene Einordnung zur mehrstufigen TF. Dafür werden die relevanten Merkmale der Elementartypen der Produktion verwendet (vgl. hierzu den Abschnitt 5.1.2). Außerdem wird abgefragt, welche Ziele in der jeweiligen TF vorliegen, um diese später mit den in der vorliegenden Arbeit angenommenen Zielen zu vergleichen, aus denen das zu entwickelnde Verfahren abgeleitet wird.

Im Abschnitt B wird die quantitative Befragung der Interviewpartner fortgesetzt. In diesem Abschnitt steht der eigentliche Lösungsansatz, bestehend aus dem entwickelten Lean-Methodensatz, im Fokus des Experten-Interviews. Ehe die Detailtiefe im weiteren Verlauf der Befragung zunimmt, werden mit den ersten Fragen allgemeine Fragen zur Verständlichkeit und zu den grundsätzlich bevorzugten Methoden gestellt. Im weiteren Verlauf des Interviews sind dann die Realisierbarkeit, die Erfolgsaussichten und die Umsetzungsdauer von Interesse. Im nächsten Schritt nimmt der Detaillierungsgrad zu: die Methoden werden einzeln bewertet. Da die Methoden zum Teil adaptiert und angepasst wurden, um in der mehrstufigen TF zur Anwendung zu kommen, ist zu klären, wie der Interviewpartner die Methoden im Einzelnen hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit bewertet. Schließlich werden die Methoden hinsichtlich ihrer Umsetzung bewertet. Wird eine Methode in der Praxis schon besonders häufig verwendet, dann sind ihr Verbreitungsgrad und ihre Praxisrelevanz hoch.

Der Abschnitt C ist der qualitative Interviewabschnitt mit offenen Fragen, die den Gesprächspartner dazu anregen sollen, Bedenken, mögliche Probleme oder Zweifel an der Lösung zu äußern. Damit sollen Schwachstellen erkannt werden.

6.1.3 Auswahl der Experten

Bei der Auswahl der Experten für die Interviews werden mehrere Ziele verfolgt. Zum einen sollen durch eine möglichst große Anzahl von Gesprächspartnern die Ergebnisse inhaltlich abgesichert werden. Zum anderen soll durch die Zusammenstellung einer heterogenen Gruppe, der Personen mit unterschiedlichen Funktionen und aus unterschiedlichen Hierarchie-Ebenen angehören, eine vielschichtige und vielseitige Betrachtung der Lösungsansätze erfolgen, um sicher zu sein, dass die unterschiedlichsten Interessen und Anforderungen berücksichtigt werden. Nur so ist die Realisierbarkeit des entwickelten Lösungsansatzes gewährleistet. Die Tabelle 31 zeigt die Zielgruppe für die Auswahl der Experten-Interviews.

Tabelle 31: Matrix zur Expertenauswahl

Hierarchie Funktion	Projekt- leitung	operativer Bereich	mittleres Management	höheres Management
Fertigung			x	x
Arbeitsvorbereitung		x	x	
Auftragsplanung		x	x	
Logistik		x	x	
Beratung	x			

Neben der Hierarchie-Ebene und der Funktion ist das theoretische Wissen zum Thema Lean ebenso relevant wie die praktische Erfahrung der Gesprächsteilnehmer. Wenn ein Interviewpartner weniger als 5 Jahre Erfahrung und theoretische Auseinandersetzung mit dem Thema Lean hat, kann nicht mehr von einem Experten gesprochen werden. Für den Idealfall sind sowohl die theoretische Aneignung und Auseinandersetzung als auch die praktische Erfahrung wünschenswert. Allerdings fällt die praktische Erfahrung deutlich mehr ins Gewicht, da nur in der praktischen Umsetzung die Evaluierung möglich ist. Eine weitere Voraussetzung für die Auswahl der Experten ist die Erfahrung der Interviewpartner mit einer TF in der eingegrenzten Problemklasse. Wenn ein Gesprächspartner diese Bedingungen nicht erfüllt, werden seine Antworten bei der Auswertung nicht berücksichtigt.

6.2 Ergebnisse der Experten-Interviews zur Methodenreihenfolge

6.2.1 Quantitative Befragungsergebnisse

Es wurden 27 Personen gebeten, sich für die Experten-Interviews zur Verfügung zu stellen; 23 Personen haben zugesagt. Das entspricht einer Beteiligungsquote von 85%. Bei der Durchführung der Interviews stellte sich heraus, dass die Antworten aus drei Interviews nicht verwendet werden konnten, weil bei den Befragten der theoretische bzw. praktische Erfahrungshorizont bzgl. des Themas Lean unter 5 Jahren lag. In einem Fall lagen gar keine unmittelbaren Erfahrungen in der TF vor. Somit beträgt letztlich die Quote zwischen angefragten und verwendbaren Interviews 74%.

Die Teilnehmer kommen aus 13 Unternehmen. Die vier Hierarchiestufen sowie die verschiedenen Funktionen der Teilnehmer bieten eine gute Grundlage, um unterschiedliche Sichtweisen zur vorgestellten Lösung zu erhalten (vgl. hierzu die Abbildung 42 und die Abbildung 43, S. 118). So ist sichergestellt, dass eine einseitige Sichtweise vermieden wird.

Die meisten Teilnehmer sind verantwortliche Führungskräfte einer TF. Das liegt zum einen daran, dass dieser Personenkreis die Struktur, die Prozesse und die Abläufe des eigenen Bereichs verantwortet und somit die Möglichkeit hat, diese zu gestalten und zu verändern. Ein weiterer Grund dafür ist, dass keine Gesprächspartner gefunden werden konnten, die dem operativen Bereich zuzuordnen sind und die über ausreichende Erfahrungen mit dem Thema Lean verfügen.

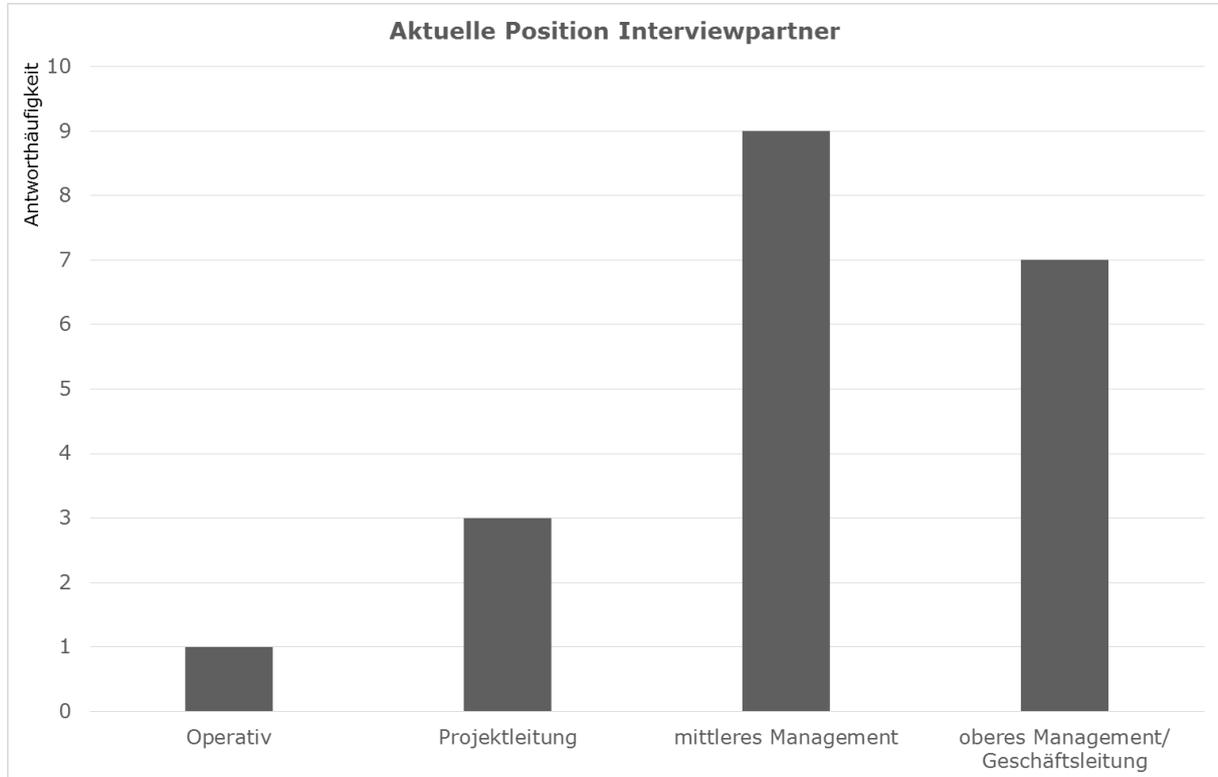


Abbildung 42: Auswertung der Experten-Interviews: Position der Interviewpartner

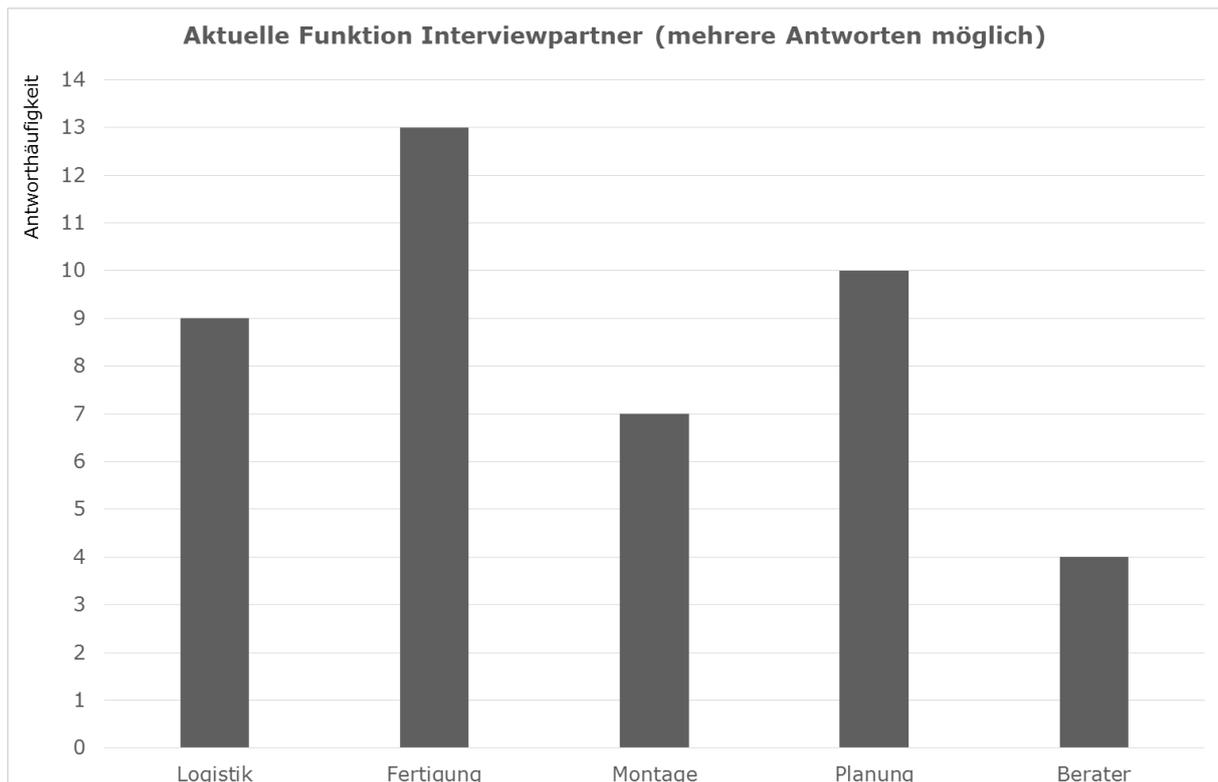


Abbildung 43: Auswertung der Experten-Interviews: Funktion der Interviewpartner in der TF

Die Mehrheit der Teilnehmer ist - gemäß der Definition in der vorliegenden Arbeit - für mittelständische Unternehmen tätig. Jedoch überrascht es, wie viele große Unternehmen mit der gleichen Ausgangssituation in ihrer TF konfrontiert sind und wie viele unterschiedliche Branchen davon betroffen sind (vgl. hierzu die Abbildung 44 und die Abbildung 45, S. 122).

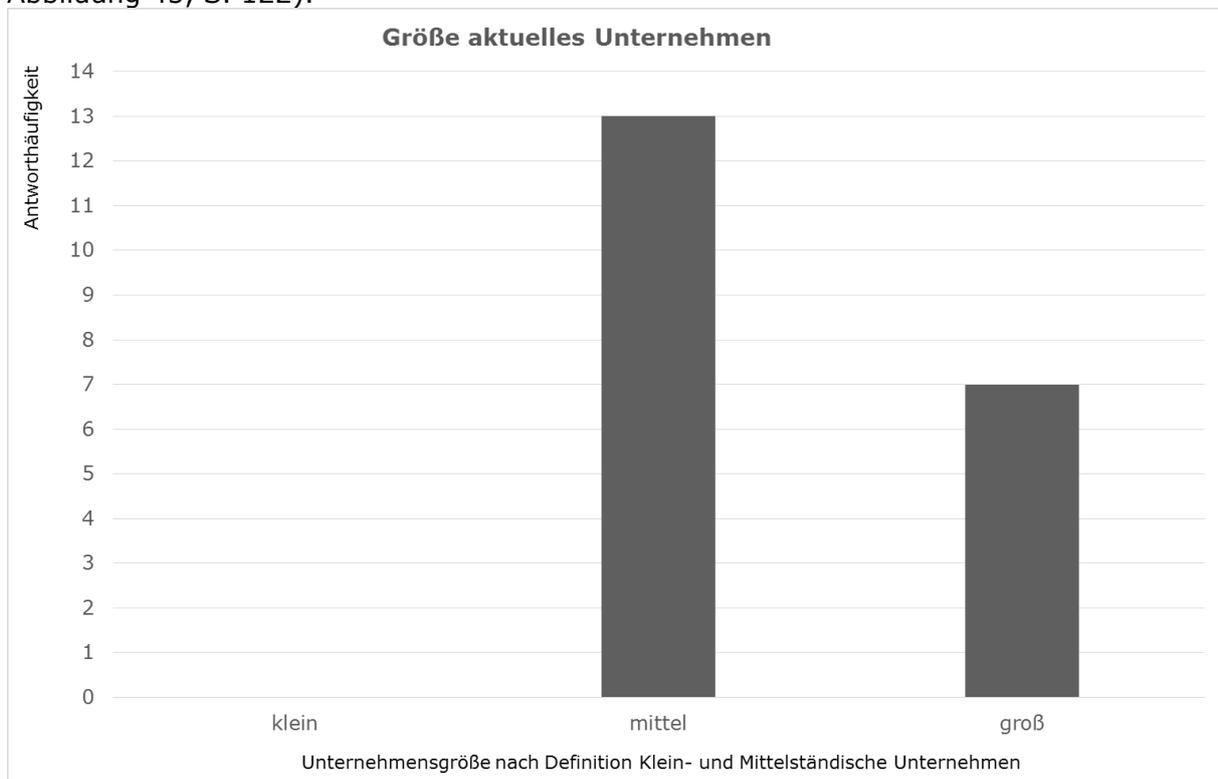


Abbildung 44: Auswertung der Experten-Interviews: Größe des Unternehmens

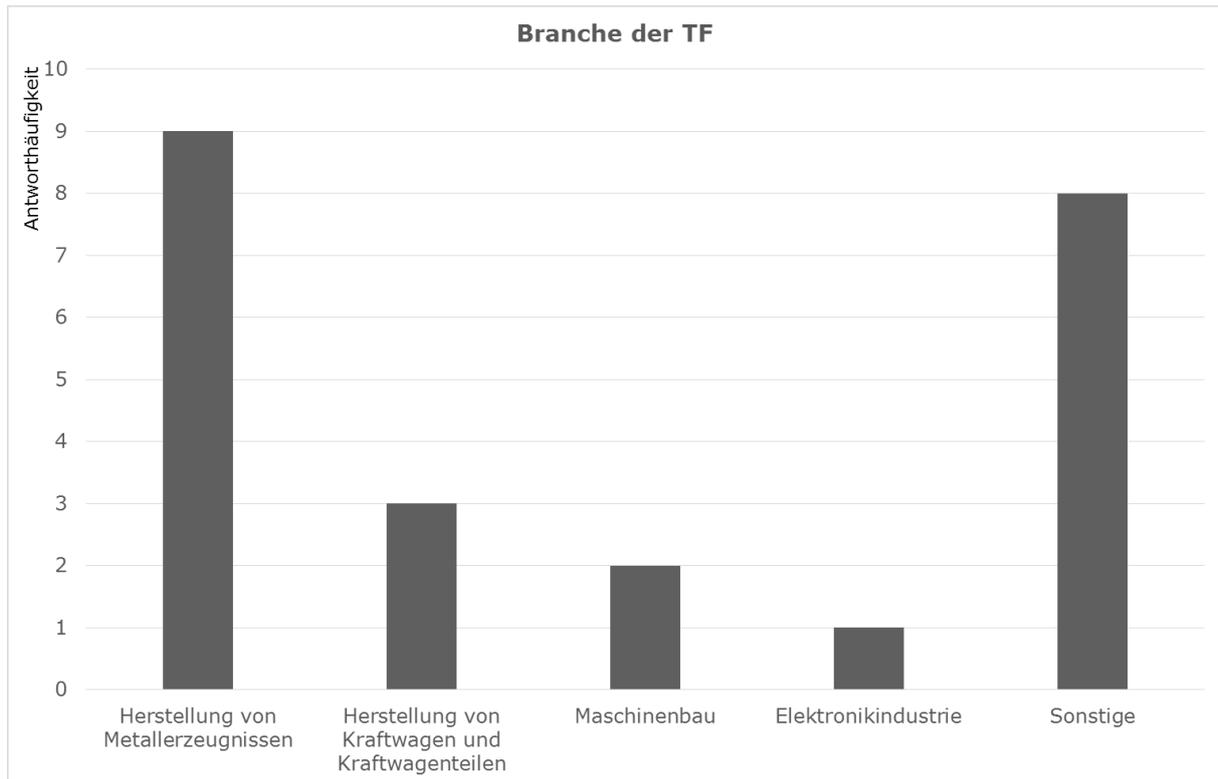


Abbildung 45: Auswertung der Experten-Interviews: Branche der Unternehmen

Die Befragung zeigt auch, dass das Thema Lean in der TF relevant ist. Alle befragten Unternehmen haben in irgendeiner Form bereits versucht, Lean einzuführen. Die Größe der TF - gemessen an der Anzahl der Mitarbeiter - korreliert nicht zwangsläufig mit der Größe des Unternehmens. Von den 6 großen Unternehmen haben lediglich 3 eine große TF (mehr als 201 Mitarbeiter) angegeben. Für mittelständische Unternehmen bedeutet das, dass die TF einen großen Anteil an der Gesamtproduktion und eine entsprechend große Bedeutung für das gesamte Unternehmen haben kann. Die Antworten der Interviewpartner zur Größe der TF sind in der Abbildung 46 dargestellt.

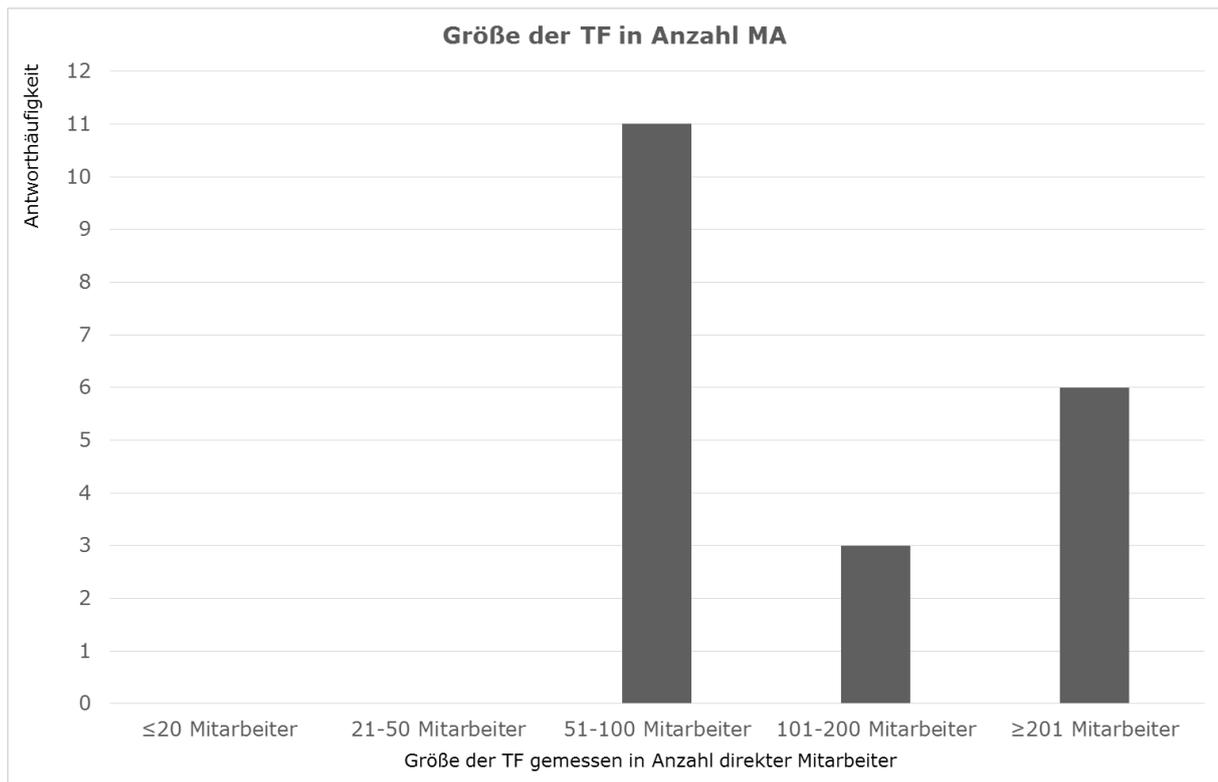


Abbildung 46: Auswertung der Experten-Interviews: Größe der TF

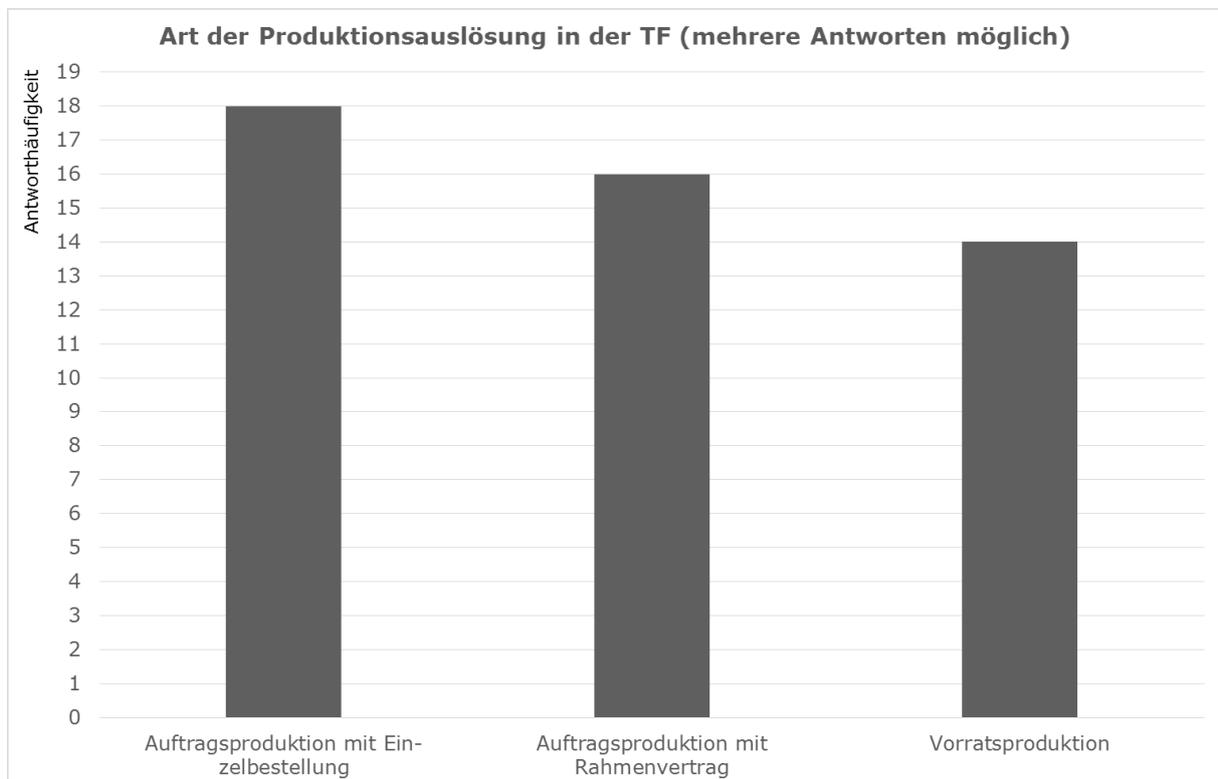


Abbildung 47: Auswertung der Experten-Interviews: Art der Produktionsauslösung

Ein genauerer Blick in die Struktur und Organisation der TF zeigt, dass die Fallbeispiele aus dem Abschnitt 5.1 (vgl. S. 82) etwas von den befragten Unternehmen der Experten-Interviews abweichen, jede Art liegt vor (vgl. hierzu die Abbildung 47). Es sind alle Formen der Produktionsauslösung vertreten, wobei die Einzelbestellung die häufigste Variante ist.

Bei der Auswertung der Art der Fertigungsauftragsgröße (siehe die Abbildung 48) überraschen die beiden Antworten zum Thema der Massenfertigung. Diese Form der Fertigung wird in einer mehrstufigen TF, wie sie in der vorliegenden Arbeit betrachtet wird, nicht erwartet. In beiden Fällen handelt es sich um Komponenten, die die Montage in nahezu jeder Baugruppe bzw. in nahezu jedem Produkt benötigt. Da es sich dabei aber lediglich um 15% der Unternehmen handelt, wird dieser Aspekt nicht weiter vertieft.

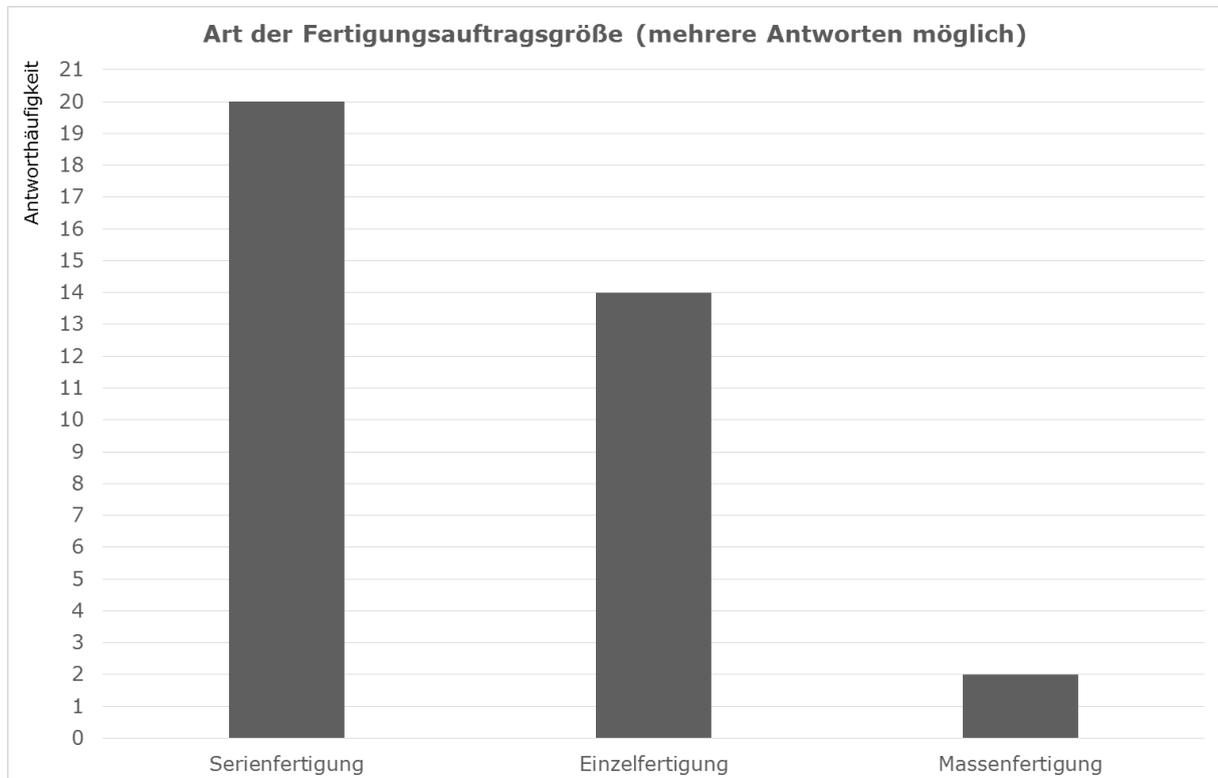


Abbildung 48: Auswertung der Experten-Interviews: Fertigungsauftragsgröße

Hinsichtlich der Organisationsform in der TF ergibt sich ein breiter Fächer verschiedener Formen, die sogar innerhalb derselben Fertigung angewendet werden. Die Abbildung 49 zeigt detailliert die Ergebnisse der Befragung. Es überrascht, dass einige Unternehmen die Reihenfertigung bereits eingeführt haben und dass so viele Unternehmen bereits die Gruppenfertigung anwenden. Das steht im Gegensatz zu den Fallbeispielen, die im Abschnitt 5.1 (S. 82) beschrieben wurden. Hier waren lediglich Werkstattfertigung und Einzelplatzfertigung im Mix im Einsatz. Interessant an der Auswertung der Experten-Interviews ist, dass Mitarbeiter aus demselben Unternehmen und vom selben Standort unterschiedliche Angaben zur Organisationsform der TF machen. Vermutlich hängt das mit einer unterschiedlichen Wahrnehmung der aktuellen Situation in der TF und des erreichten Umsetzungsgrads der beschlossenen Aktivitäten zusammen.

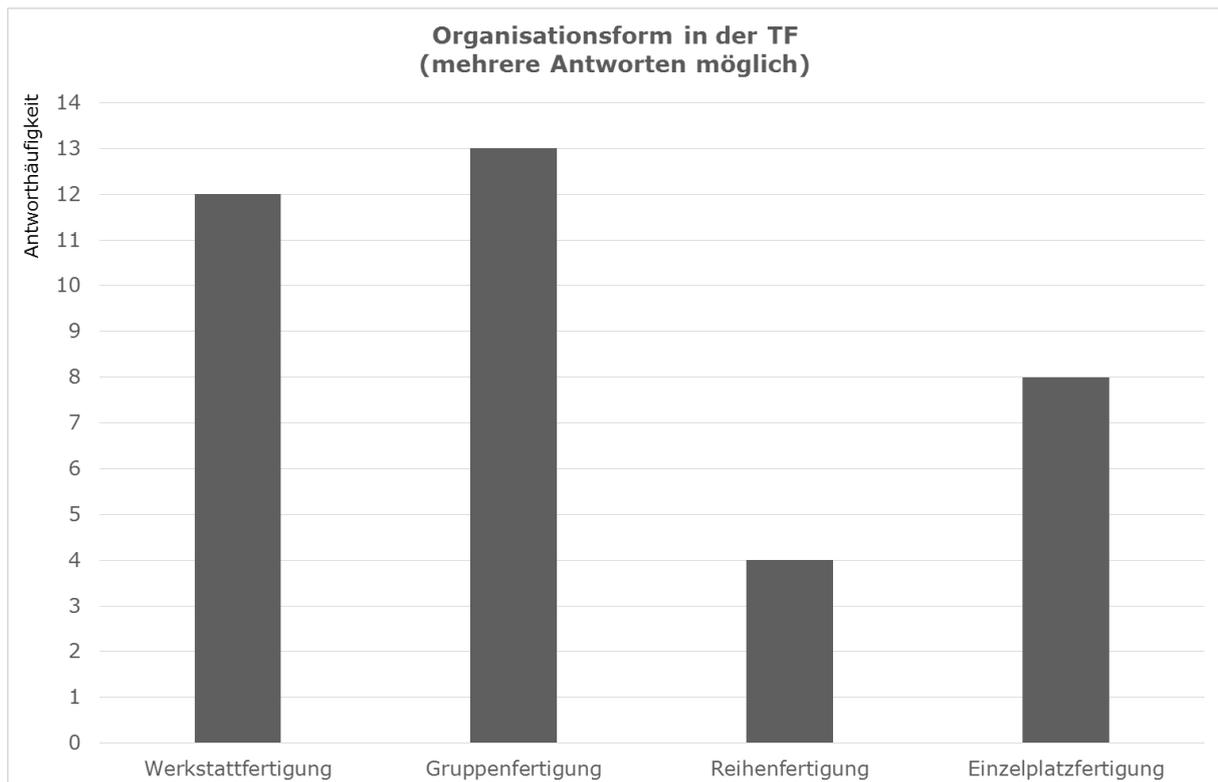


Abbildung 49: Auswertung der Experten-Interviews: Organisationsform

Die Priorisierung der Ziele ist eine wichtige Voraussetzung für die Festlegung der individuellen Methodenreihenfolge im Zuge des Verfahrens zur Einführung des Themas Lean in der TF. In Abschnitt 0 wurde eine Methodenreihenfolge - basierend auf den Ergebnissen der Umfrageergebnisse nach [Jödicke 2013] - aufgestellt. Jödicke hat in seiner Befragung verschiedene typische Ziele eines Unternehmens mit den Einstufungen „sehr hoch – mittel – sehr niedrig – weiß nicht“ gewichten lassen. Diese Frage wird auch im Experten-Interview gestellt, um zu prüfen, ob die gewählten Ziele bei der Ermittlung der Verfahren zur Einführung von Lean in der TF die richtigen sind. In der Abbildung 50 ist das Ergebnis der Befragung wiedergegeben. Das wichtigste Ziel in der TF ist die Liefertreue. Das zweitwichtigste Ziel ist die Verkürzung der Durchlaufzeit. Erst an dritter Stelle steht das Ziel der höheren Produktivität. Die Ziele sind inhaltlich mit [Jödicke 2013]²³ vergleichbar. Lediglich die Gewichtung ist eine andere.

Die Gewichtung der Ziele wird auf der Basis der Experten-Interviews nach dem mathematischen Verfahren ermittelt, das im Anhang 9.5 (vgl. S. 183) angegeben ist. Demnach hat das Ziel der Liefertreue den Gewichtungsfaktor 1,156; das Ziel der Verkürzung der Durchlaufzeit hat den Faktor 1,031 und das Ziel der höheren Produktivität den Faktor 1,0.

²³ Stufe 1: höhere Produktivität mit der Gewichtung 1,019; Stufe 2: Liefertreue mit der Gewichtung 1,008 und Stufe 3: Durchlaufzeit.

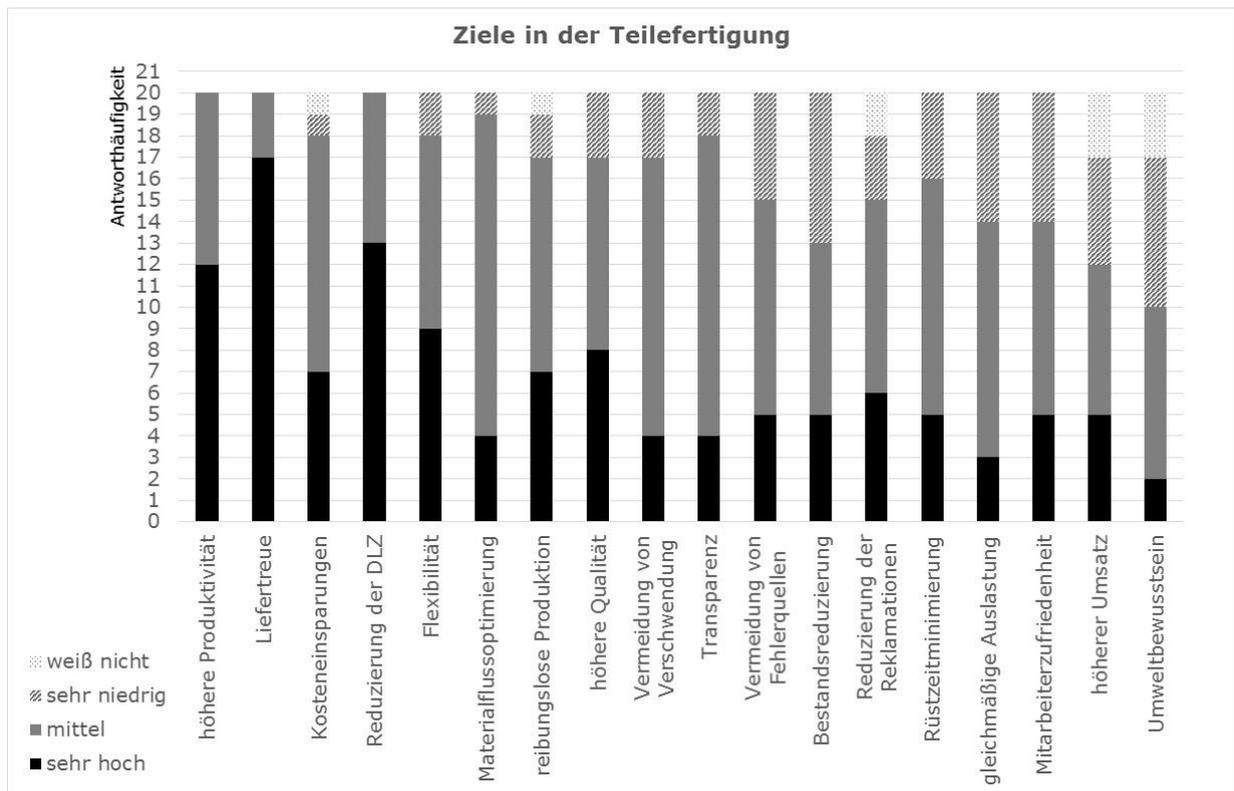


Abbildung 50: Auswertung der Experten-Interviews: Ziele in der TF

Im zweiten Teil der Befragung haben die Experten den Lösungsansatz, die Methodenreihenfolgen und die Lean-Methoden für die mehrstufige TF bewertet. Das Diagramm in der Abbildung 51 zeigt, dass die Verständlichkeit des Lösungsansatzes mit Lean-Kenntnissen von den Experten mit einer durchschnittlichen Note von 2,05 bewertet wurde. Hingegen schätzen die Experten, dass das Fehlen von Lean-Vorkenntnissen die Verständlichkeit des Lösungsansatzes deutlich mindert, und bewerten dieses Ziel mit einer durchschnittlichen Note von 3,9.

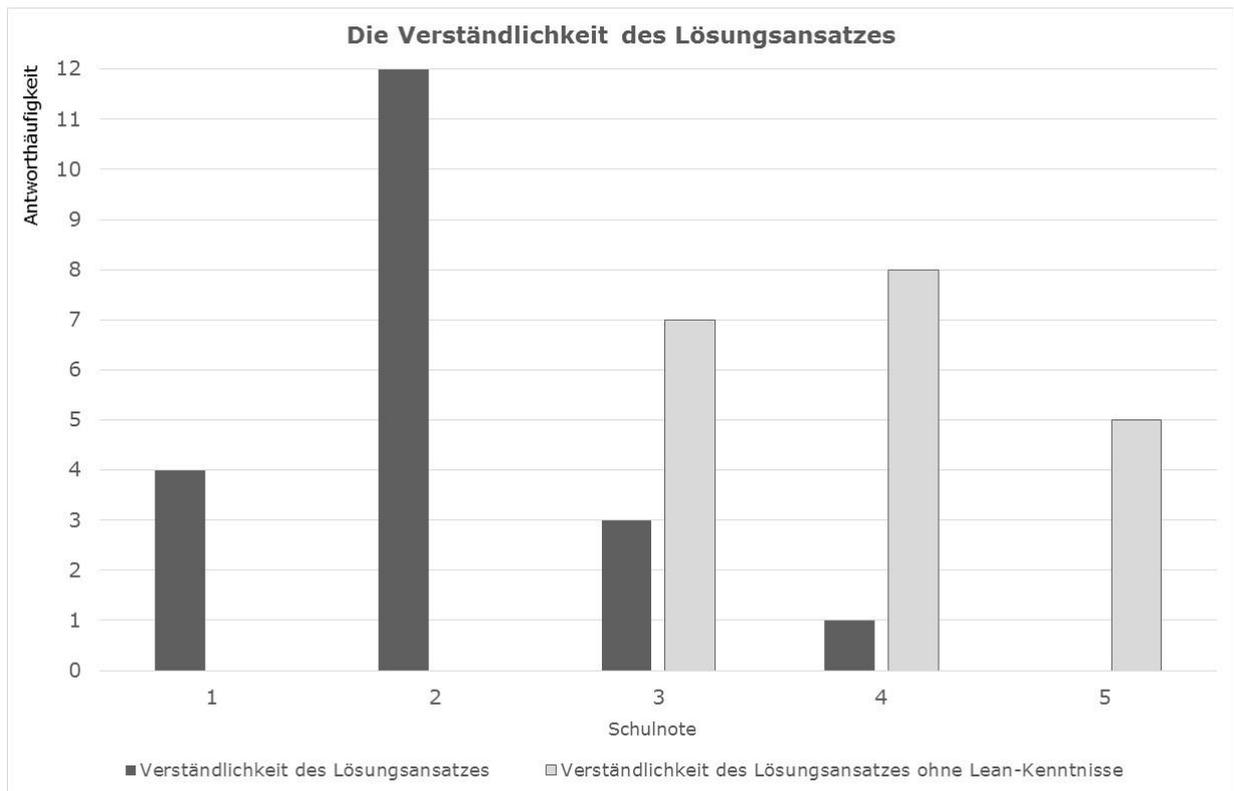


Abbildung 51: Auswertung der Experten-Interviews: Verständlichkeit des Lösungsansatzes

Bei der Wahl der Methodenreihenfolge für die eigene TF zeigt sich ein überraschendes Ergebnis. Die Experten wollten sich in der Mehrheit für keine der beiden vorgeschlagenen Reihenfolgen entscheiden. Die Abbildung 52 zeigt, dass sich 8 der 20 Befragten für keine der beiden Reihenfolgen entscheiden möchten. Im direkten Vergleich der beiden Reihenfolgen führt die erste Variante gegenüber der Zweiten mit zwei Stimmen Vorsprung.

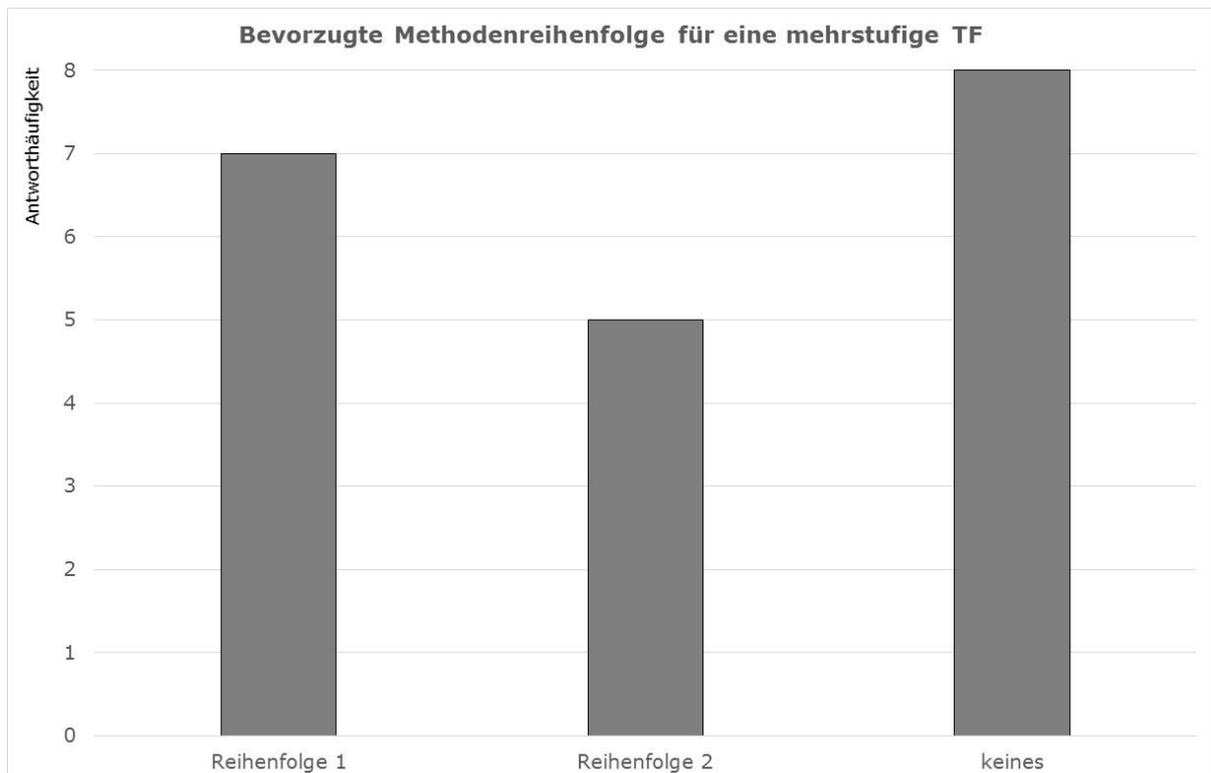


Abbildung 52: Auswertung der Experten-Interviews: Bevorzugte Methodenreihenfolge

Im weiteren Verlauf der Befragung werden die beiden in der Arbeit entwickelten Methodenreihenfolgen im Detail bewertet. Die Experten bewerten dabei die Realisierbarkeit sowie die Erfolgsaussichten eine schlanke TF zu entwickeln und die Umsetzungsdauer. Die Ergebnisse sind in den Abbildung 53 bis Abbildung 55 dargestellt. Auch hier zeigt sich deutlich, dass die Reihenfolge 1 bevorzugt wird. Die Experten, die sich für keine der beiden Reihenfolgen entscheiden konnten, haben in den Detailfragen häufig die erste Variante bevorzugt. Hinsichtlich der Realisierbarkeit wird die Reihenfolge 1 mit einer durchschnittlichen Schulnote von 2,35 bewertet. Die Reihenfolge 2 erhält hingegen eine durchschnittliche Note von 3,0. Das gleiche Bild zeigt sich bei der Bewertung der Erfolgsaussichten, mit den Methodenreihenfolgen eine Lean-TF zu entwickeln. Hier erhält die erste Variante eine durchschnittliche Note von 2,3. Die zweite Variante erhält in dieser Kategorie eine durchschnittliche Note von 2,75. Schließlich wird von den Experten wiederum bei der Methodenreihenfolge 1 durchschnittlich eine etwas kürzere Umsetzungsdauer erwartet.

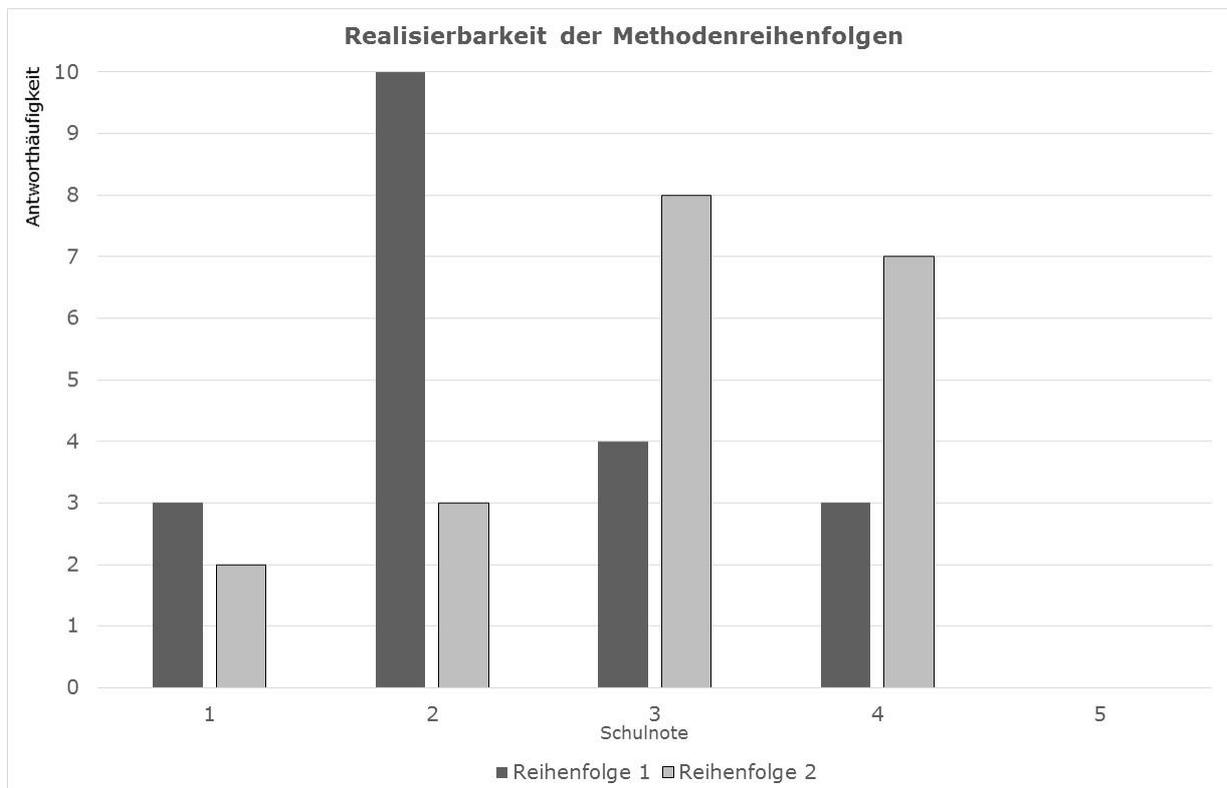


Abbildung 53: Auswertung der Experten-Interviews: Realisierbarkeit der Methodenreihenfolgen

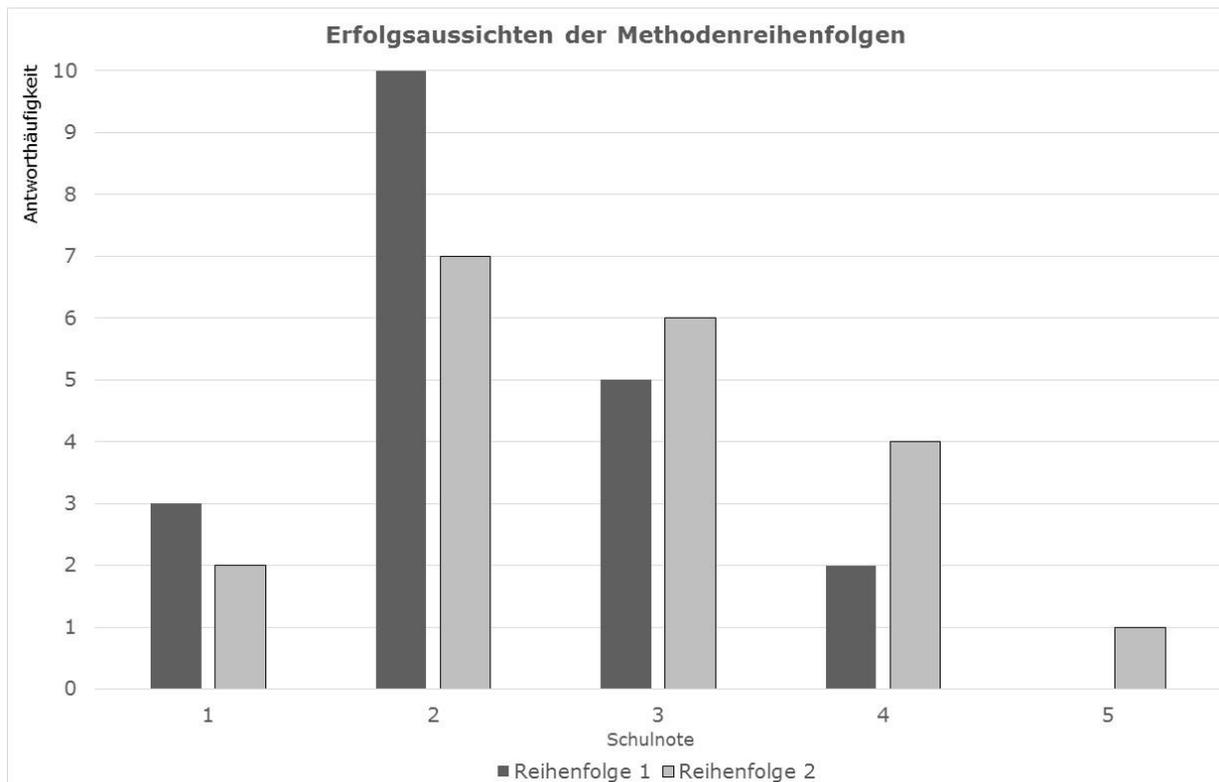


Abbildung 54: Auswertung der Experten-Interviews: Erfolgsaussichten der Methodenreihenfolgen

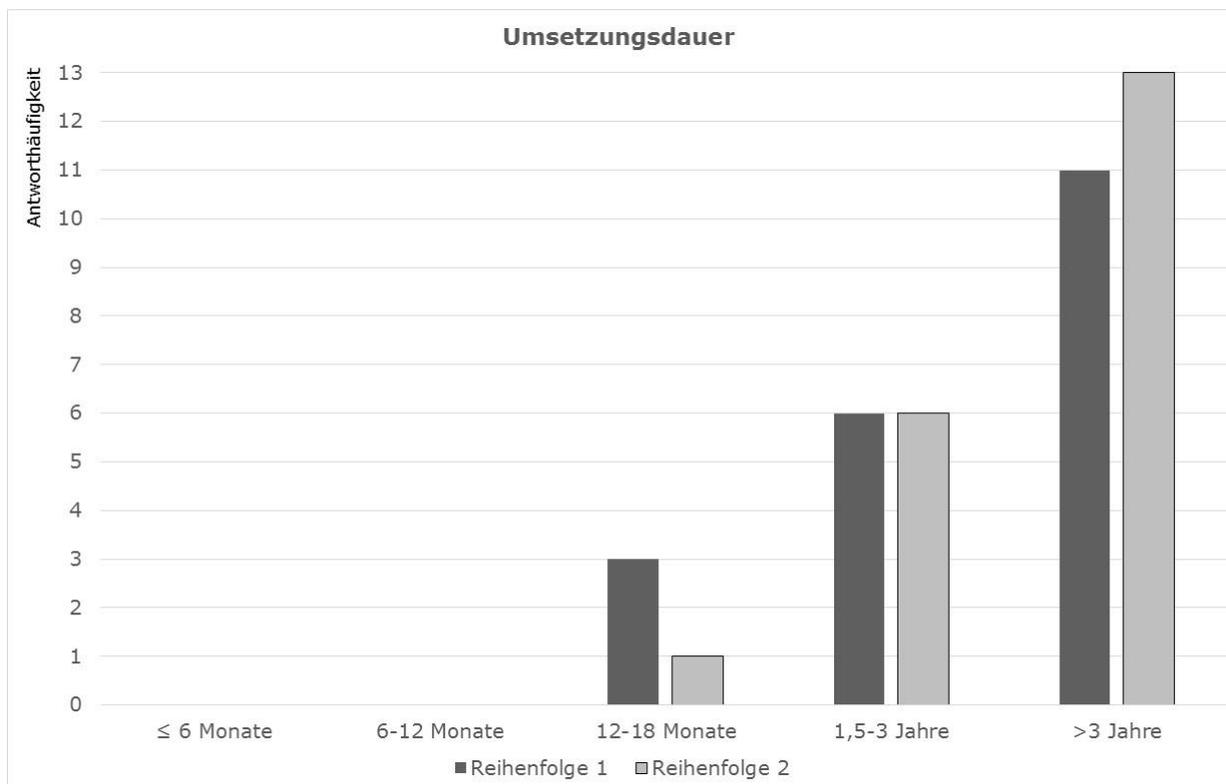


Abbildung 55: Auswertung der Experten-Interviews: Umsetzungsdauer

Schließlich liefert die Frage nach dem nächsten Umsetzungsschritt in der eigenen TF noch ein gutes Indiz dafür, ob doch einem der beiden Reihenfolgen der Vorzug zu geben ist. Diese Frage kann als eine Art Kontrollfrage gewertet werden. Jedoch zeigen die Ergebnisse, dass die Antworten sehr vielfältig ausfallen. In der Abbildung 56 sind die Antworten der

Experten wiedergegeben. Die meisten der genannten Umsetzungsschritte können keiner Methode aus den zwei vorgestellten Reihenfolgen zugeordnet werden.

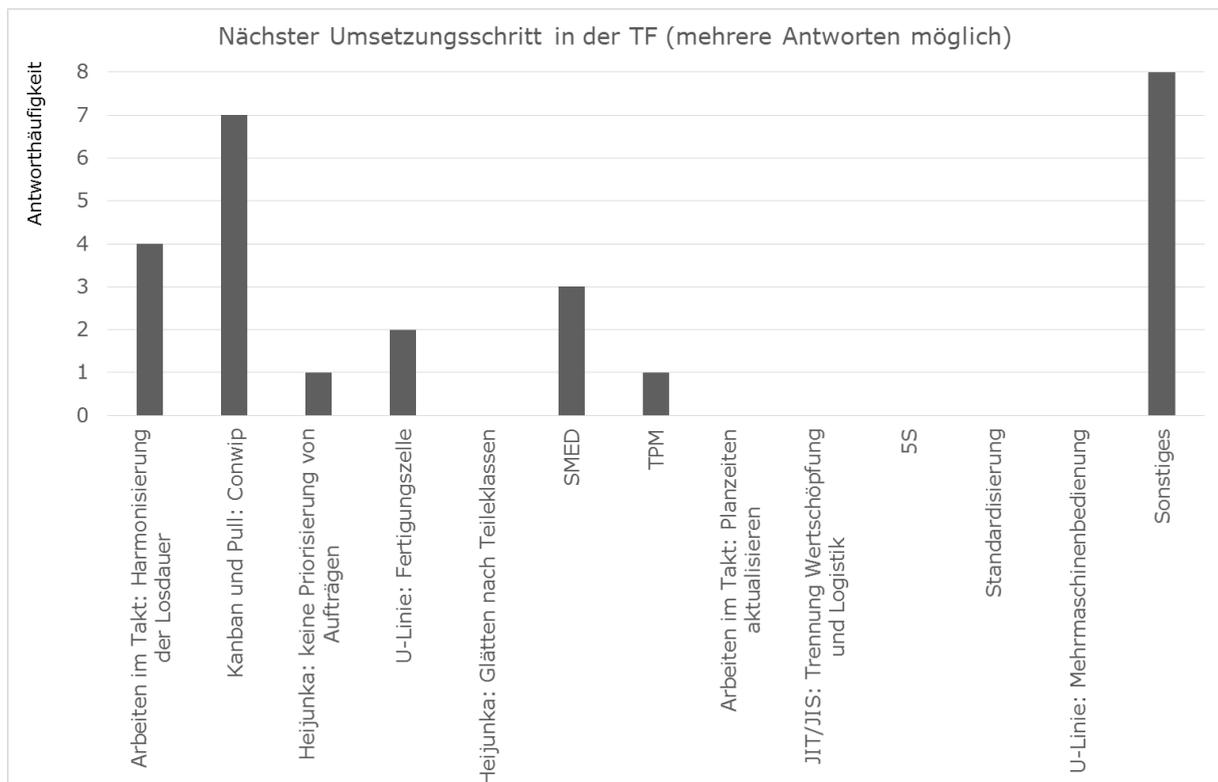


Abbildung 56: Auswertung der Experten-Interviews: nächster Umsetzungsschritt in der TF

Eine wichtige Frage betrifft die Anwendbarkeit der Methoden. Einige Methoden wurden direkt aus bestehenden Konzepten übernommen, andere wurden aufgrund der Anforderungen, die es in einer TF zu bewältigen gilt, entwickelt bzw. von bestehenden Lösungsansätzen adaptiert. Gerade bei den adaptierten und den neu entwickelten Methoden ist eine Rückmeldung hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit wichtig. Die Abbildung 57 zeigt die Einschätzung der Experten. Lediglich in 3 Fällen wird die Schulnote 5 vergeben. Sie betreffen die adaptierten und die neu entwickelten Methoden. Positiv ist die durchschnittliche Schulnote der jeweiligen Methode zu bewerten. Die schlechteste Bewertung erhält die Methode „Glätten nach Teileklassen“ mit 3,05. Das bedeutet, dass jede Methode als anwendbar in einer mehrstufigen TF bewertet wird.

In den Interviews gibt ein Gesprächspartner an, dass die Harmonisierung der Losdauer dann besonders herausfordernd ist, wenn es wenige A-Teile gibt, die in besonders großen Stückzahlen laufen und die restlichen B- und C-Teile in Relation dazu besonders geringe Stückzahlen und Regelmäßigkeiten aufweisen. Ein anderer Gesprächspartner gibt zu bedenken, dass Glätten nach Teileklassen nicht funktioniert, wenn eine stark mehrstufige TF vorliegt und die Teile regelmäßig Werkstättenwechsel vollziehen. Durchlaufen die Teile lediglich einen Fertigungsbereich zur Fertigstellung sollte das kein Problem darstellen. Schließlich wird von einem dritten Interviewpartner beim Thema Aktualität der Planzeiten darauf hingewiesen, dass es sich um eine ständige Aufgabe handelt, deren Erfüllung sehr anspruchsvoll ist, da sich die Produktion durch viele kleine Änderungen ständig weiter entwickelt. Die Abbildung der realen Zeiten im Planungssystem wird von diesem Gesprächspartner als schwierig eingestuft.

In der Abbildung 58 sind die Antworten zum Umsetzungsgrad der vorgeschlagenen Methoden in der eigenen TF wiedergegeben. Interessant ist, dass sich sogar die adaptierten und die für die vorliegende Arbeit neu entwickelten Methoden in der Praxis bereits in der

Umsetzung befinden. Bei der Anwendung der einzelnen Methoden zeigen sich jedoch sehr große Unterschiede. Die neu entwickelten und die adaptierten Ansätze wurden im Mittel weniger gut umgesetzt. Bereits bewährte Ansätze wie 5S, SMED oder TPM wurden bereits umfänglich umgesetzt.

Bei einem direkten Vergleich der Methodenanwendbarkeit und des Umsetzungsgrades fällt auf, dass jene Methoden, die eine durchschnittlich schlechtere Bewertung bei der Anwendbarkeit erzielt haben, auch einen geringeren Umsetzungsgrad aufweisen. Hier gilt es nun zu klären, inwiefern der Umsetzungsgrad im Zusammenhang mit einer geringeren Anwendbarkeit steht.

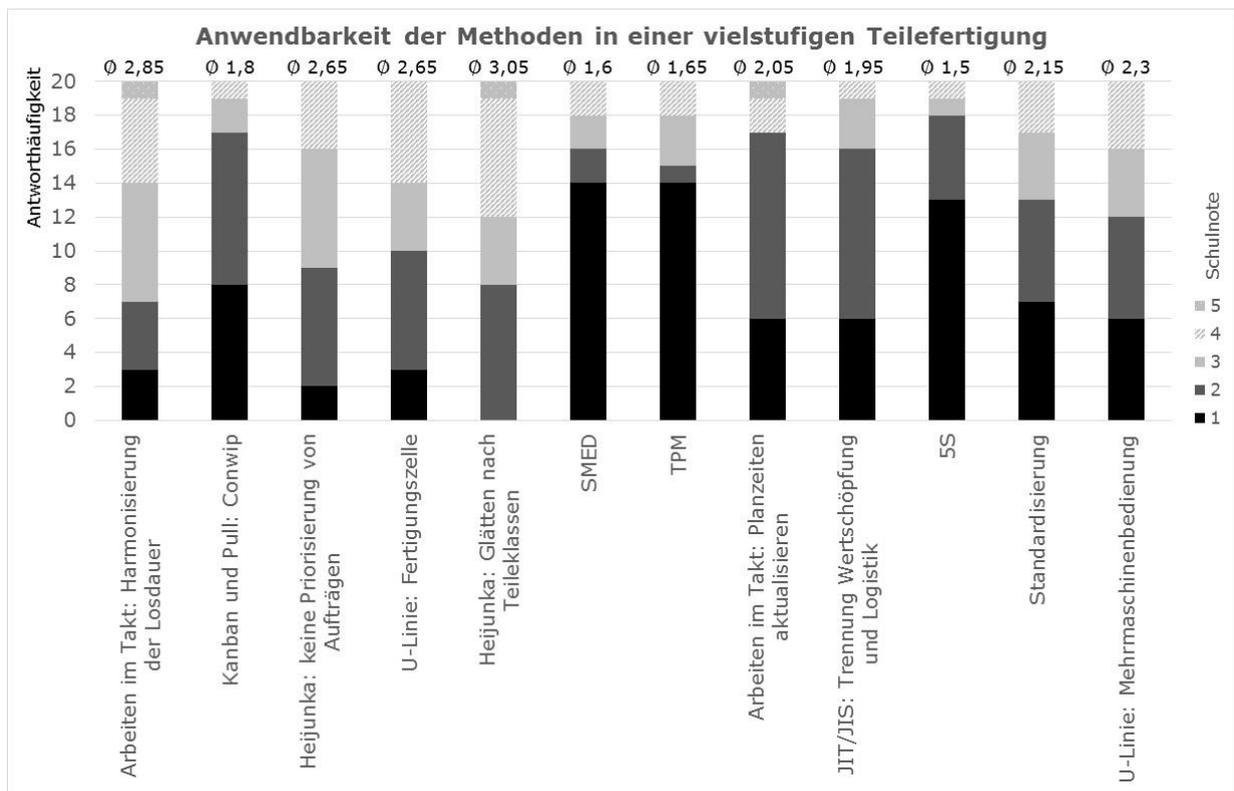


Abbildung 57: Auswertung der Experten-Interviews: Anwendbarkeit der Methoden

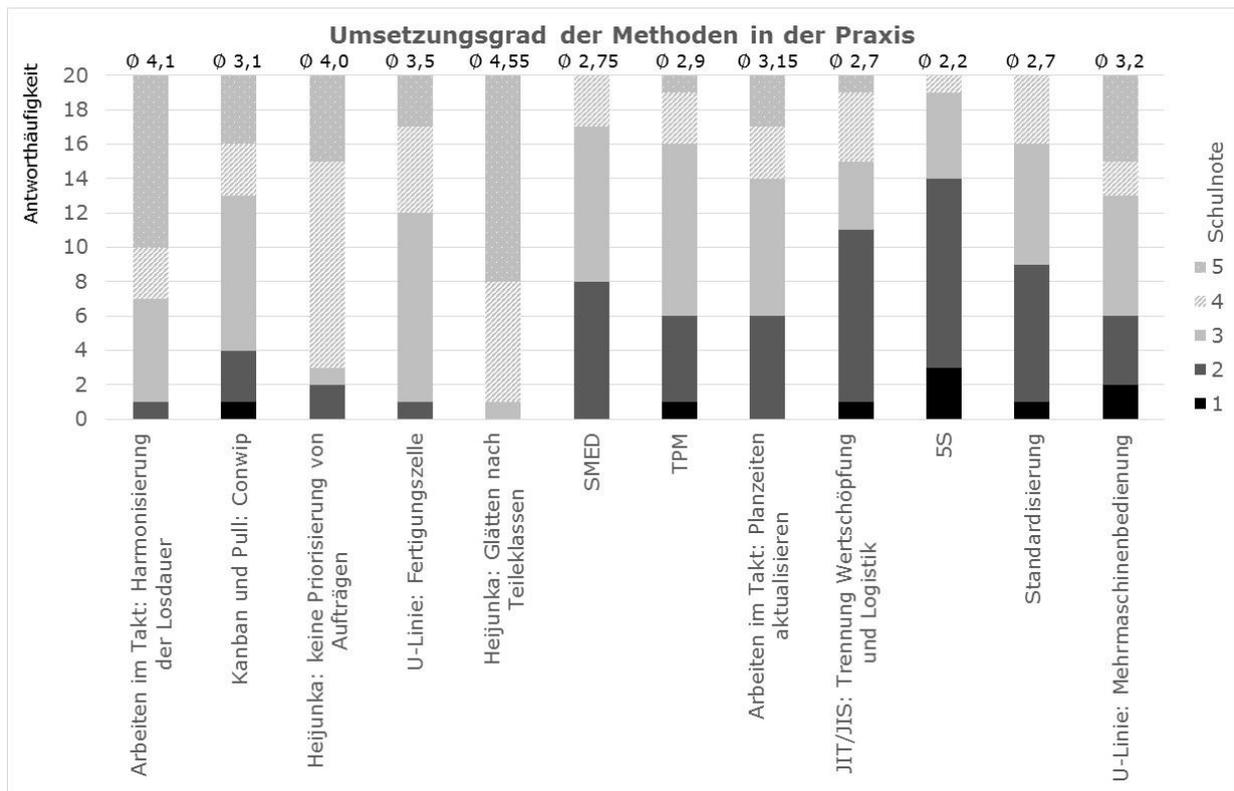


Abbildung 58: Auswertung der Experten-Interviews: Umsetzungsgrad der Methoden

Die Auswertungen der qualitativen Befragungsergebnisse geben deutlich bessere Hinweise auf die Beweggründe der Experten für ihre Antworten und lassen einige Hintergründe besser verstehen. Die Befragungsergebnisse sind in beiden Ebenen zu betrachten, um ein vollständiges Bild zu erhalten.

6.2.2 Qualitative Befragungsergebnisse

Die qualitativen Befragungsergebnisse ergänzen die quantitativen Ergebnisse und ermöglichen es, die Antworten der Experten in einen weiteren Kontext zu stellen. Sie erläutern die Antworten der Interviewpartner näher und ermöglichen es, während des Interviews nachzufragen und Antworten zu hinterfragen.

„Warum haben Sie sich für diese Methodenreihenfolge entschieden?“

Im quantitativen Interviewteil war überraschend, dass sich die meisten Befragten weder für Variante 1 noch für Variante 2 entschieden haben. Die meistgenannte Begründung dafür ist, dass keine der Reihenfolgen auf die aktuelle Situation der eigenen TF anwendbar ist. Im weiteren Verlauf der Gespräche werden von einigen Gesprächspartnern vorgefertigte Reihenfolgen grundsätzlich abgelehnt, da sie einen zu starren Rahmen vorgeben und in der Vorgehensweise wenige Freiräume zulassen. Weiterhin wird angegeben, dass einzelne Methoden in der eigenen TF schwer anwendbar sind. Bevorzugt wird daher ein offener Werkzeugkasten, aus dem man sich - je nach der Situation und den Zielen - bedienen kann bzw. ein auf die eigene aktuelle Situation zugeschnittene Vorgehensweise zusammenstellen kann.

Die Befragten, die sich für die Reihenfolge 1 entschieden haben, begründen das mit der übereinstimmenden Ausgangssituation und/oder mit den Zielen, die für die eigene TF dieselben sind. Außerdem wird von den Befragten angegeben, dass sie sich die Umsetzung dieser Methodenreihenfolge deutlich besser vorstellen können als die Umsetzung der Alternative. Die Schaffung einer Grundlage mit den gewählten Methoden auf den ersten Plätzen wird geschätzt. Damit würde der Grundstein für den Erfolg der später folgenden Methoden gelegt.

Die Interviewpartner, die die Variante 2 bevorzugen, begründen ihre Entscheidung mit den inhaltlichen Aspekten der Methoden, die gleich zu Anfang angewendet werden. Die Gesprächspartner bestätigen, dass die anfänglichen Bemühungen zur Steuerung der Aufträge und zur Einstellung der Losgrößen wichtig sind. Lediglich zwei Ansprechpartner geben an, dass dieser Lösungsansatz den eigenen Zielen am besten entspricht.

Die Entscheidung, welche Alternative gewählt wird, zeigt die Bedeutung der individuellen Ausgangssituation der TF und der vorgegebenen Ziele. Die Mehrheit der Befragten begründet die im Interview getroffene Entscheidung mit der eigenen Ausgangssituation und/oder den Zielen. Das bedeutet, dass das entwickelte Modell zur Bestimmung der Ausgangssituation in Kombination mit einer Priorisierung der Ziele dazu genutzt werden kann, eine individuelle Vorgehensweise für den jeweiligen Anwendungsfall zu entwickeln.

„Welche Probleme und Hürden sehen Sie bei der Umsetzung des Konzeptes?“

Die Frage nach den zu erwartenden Hürden oder Problemen im Umsetzungsprozess zeigen mögliche Lücken im Konzept auf, die aus der Sicht der Interviewpartner bestehen. Die wichtigste Anforderung wird von nahezu allen Interviewpartnern darin gesehen, möglichst alle Betroffenen im Unternehmen - seien es nun die Mitarbeiter in der Fertigung oder die Entscheidungsträger aus dem Management - von der Notwendigkeit der Maßnahmen zu überzeugen. Das Hauptproblem, das immer wieder genannt wird, besteht darin, dass sich die zu Überzeugenden die Situation des Zielzustands nicht genau vorstellen können. Für die Überwindung dieser Hürden sei ein möglichst tiefes Verständnis der Lean-Prinzipien hilfreich.

Die nächste Anforderung resultiert aus der Langfristigkeit eines solchen Vorhabens. Die Experten nennen Schlagworte wie Geduld, Energie, Ausdauer und Zeit. Sie geben an, dass ein solches Vorhaben nur mittel- bis langfristig umsetzbar ist. Während einer langen Zeitperiode gibt es jedoch auch Organisationsänderungen im Unternehmen, Wechsel in der Managementebene, die die Umsetzung verzögern können, weil die neuen Entscheidungsträger erst wieder zu überzeugen sind.

Weiterhin werden generelle Aspekte aus dem Bereich des Veränderungsmanagements genannt. Diese reichen von der richtigen Planung eines solchen Projekts, der Schulung der Mitarbeiter und Führungskräfte, der Einbindung der richtigen Personen und der Bereitstellung der benötigten Umsetzungskapazitäten über die Entwicklung und Formulierung eines Zielbildes, das die Gesamtsituation beschreibt, oder eine richtige Zielkaskadierung bis hin zum konsequenten Abschließen aller Themen und zum Abarbeiten der vielen kleinen, aber notwendigen Detailaufgaben.

Auch ein hoher Auslastungsgrad in der TF wird als Hürde angegeben. Wird die aktuelle Wirtschaftslage der Unternehmen durch deutliche Umsatzzuwächse geprägt - wie es bei einigen der befragten Unternehmen der Fall ist -, dann sind diese entsprechend auch in der TF abzubilden. Liegt dann eine hohe kapazitive Gesamtauslastung vor, bleibt wenig Spielraum für Veränderungen.

Es kann vorkommen, dass der Maschinenpark der TF für die Konzepte der Schlanken Produktion nicht geeignet ist, weil die Investitionsentscheidungen lange vor der inhaltlichen Auseinandersetzung gefallen sind. Zum Zeitpunkt der Entscheidung waren die Entscheidungskriterien andere als jene, die für die Konzepte der Schlanken Fertigung gelten. Zentrale Anlagen, die aufwändige Rüstprozesse erfordern, sind für eine flexible Fertigung, die mitunter auch mit der Losgröße 1 arbeitet, nicht ausgelegt. Dies kann für den Veränderungsprozess eine große Hürde bedeuten, vor allem dann, wenn die Investitionssumme sehr hoch war bzw. sein wird.

Eine detaillierte Auflistung, welche Methode wie in der TF wirkt und welche Veränderungen sie herbeiführt, muss klar und transparent sein, um möglichst gut die Folgen eines Veränderungsschrittes abschätzen zu können und um entscheiden zu können, welcher

Schritt der nächste ist, bzw. um eine Priorisierung der nächsten anstehenden Aufgaben vornehmen zu können. Das wird als eine Anforderung für die Führungskräfte einer TF gesehen.

Eine frühe Einführung der Methode Conwip in der gesamten Fertigung wird als kritisch bewertet. Die starke Vernetzung der Fertigungsstufen untereinander führt bei stark schwankenden Auftragssituationen voraussichtlich schnell zu großen Lieferschwierigkeiten. Ist der Umfang der einzelnen Fertigungsstufen sehr hoch, dann steigt auch die Komplexität bei der Realisierung eines solchen Projekts. Mit der schrittweisen Reduzierung von Fertigungsstufen wird es an vielen Stellen im Projekt auch inhaltlich leichter.

Insgesamt zeigt sich, dass die größten Hürden eher in der richtigen Führung und Realisierung eines derart umfangreichen Veränderungsprojekts gesehen werden. Nahezu alle Gesprächspartner geben an, dass die Überzeugungsarbeit und der Wissenstransfer hinsichtlich der anstehenden Maßnahmen als die wichtigste Anforderung wahrgenommen werden.

„Was wäre Ihr nächster Schritt in Ihrer Teilefertigung?“

Die Frage nach dem nächsten Schritt in der eigenen TF soll klären, ob eine Methodenreihenfolge der anderen vorgezogen wird – vielleicht im Widerspruch zu den Ergebnissen der explizit gestellten Frage. Die Ergebnisse der Befragung sind grafisch in der quantitativen Auswertung dargestellt (vgl. hierzu die Abbildung 56, S. 131). Eine widersprüchliche Aussage zu der gewählten Reihenfolge kann jedoch aus den Antworten nicht abgeleitet werden. Von besonderem Interesse ist jedoch, was in der Kategorie „Sonstiges“ im Detail genannt wird. Am häufigsten werden zwei Themen genannt: zum einen ist nach umfangreichen Änderungen in der davorliegenden Zeit die aktuelle Situation zu stabilisieren, zum anderen wird gesagt, dass Klarheit hinsichtlich der aktuellen Situation und der Ziele zu schaffen ist. Unterschiedlicher könnte die Situation in Unternehmen kaum sein. Eine dritte, häufig genannte Aufgabe besteht darin, Klarheit bezüglich des Prozesses der Auftragseinplanung und -steuerung zu schaffen, da hier Potential einerseits zur Verkürzung der Durchlaufzeit und andererseits zur Verbesserung der administrativen Prozesse gesehen wird. Die Themen Shopfloor-Management, Maschineninvestitionen und Kapazitätssteigerung werden mehrmals genannt. Weitere Aspekte sind eher singulär und individuell auf die spezielle Unternehmenssituation zugeschnitten. Die Themen reichen von der Aufgabe, Transportmittel zu vereinheitlichen, über das Ziel, neu investierte Maschinen möglichst schnell in das laufende Arbeitssystem einzubinden, bis hin zu detaillierten Plänen hinsichtlich des Vorgehens, in welcher Weise welche spezielle Teilenummer zukünftig gesteuert werden soll.

„Möchten Sie mir sonst noch etwas mitteilen?“

Die letzte Frage des Interviews zielt auf alle Themen, die dem Interviewpartner sonst noch wichtig sind. Dadurch soll verhindert werden, dass wichtige Aspekte unberücksichtigt bleiben. Bei den Antworten der Interviewpartner werden kritische Punkte erwartet, die sich auf die Methodenreihenfolgen bzw. auf die vorgeschlagenen Methoden im Einzelnen beziehen.

Die Interviewpartner geben an, dass es mehrere mögliche Reihenfolgen gibt, die am Ende alle zum Ziel führen. Die Wahl der Reihenfolge ist von der individuellen Ausgangssituation - vom bereits erreichten Reifegrad bei der Anwendung der Lean-Methoden - und von der Struktur der Fertigung abhängig. Jedoch herrscht bei den Experten Einigkeit darüber, dass es nicht die eine Standardreihenfolge gibt, die anzuwenden ist. Manche Gesprächspartner regen einen Tausch von Methoden an. Es wird beispielsweise vorgeschlagen, dass die Einführung der Fertigungszelle vor der Einführung der Pull-Methode Conwip erfolgen sollte. An anderer Stelle wird vorgeschlagen, dass nach der Trennung von Wertschöpfung und Logistik grundsätzlich erst Conwip eingeführt werden sollte. Die Beruhigung der Fertigung durch die Maßnahme „Harmonisierung der Losdauer“ - gefolgt von Conwip (Reihenfolge 2)

- wird befürwortet. Auf der anderen Seite wird der Start bei Variante 1 gelobt – bei einer späteren Einführung der Heijunka-Methoden. Die Aktualisierung der Planzeiten wird als eine Grundvoraussetzung für die erfolgreiche Einführung von „Glätten nach Teileklassen“ gesehen. Es wird betont, dass eine zu späte Einführung der Methoden SMED und Standardisierung für den Gesamterfolg hinderlich ist, weil das zentrale Lean-Thema die Bestandsreduzierung ist, die durch SMED erreicht werden kann. An anderer Stelle wird betont, dass SMED die Basis für die Methoden des Heijunka ist. Aufgrund der Literatur und eigener Erfahrungen wird die Methode 5S als typische Startmethode angesehen.

Es werden aber auch die Gründe ersichtlich, warum die Variante 2 abgelehnt wurde: Es wird nämlich abgelehnt, die Methode „Harmonisierung der Losdauer“ als erste Methode einzuführen.

Einige Methoden werden kritisch bewertet. Die Methoden „Einführen von Einstückfluss“ und „Reduzierung der Losgröße“ werden zum Teil als problematisch angesehen, weil die im Unternehmen verwendeten Technologien diese Methoden nicht unterstützen. Beispielsweise wird es bei zentralen Prozessen, die auf eine chargenweise Bearbeitung ausgelegt sind - wie Härten oder Lackieren - zu einer Anforderung, einen kontinuierlichen Fertigungsfluss oder kleine Losgrößen zu realisieren. Weiterhin wird betont, dass durch die Lean-Methoden viele ungelöste Probleme und Anforderungen der Fertigung transparent werden und entsprechend schnell gelöst werden müssen. Besonders deutlich wird das bei der Methode Conwip. Daher wird zum Teil empfohlen, diese Methode in der Reihenfolge weiter nach hinten zu verschieben.

Gute Erfahrungen werden dann gemacht, wenn es in der Fertigung einen festen Fertigungsplan gibt, der für alle Mitarbeiter verbindlich ist. Je geringer die Entscheidungsspielräume sind, desto besser werden die vorgegebenen Reihenfolgen eingehalten. Die Aktualisierung der Planzeiten wird als ein sehr langwieriges Vorhaben angesehen.

Schließlich wird erneut auf den hohen Aufwand für die eigentlichen Veränderungsmaßnahmen in der Fertigung hingewiesen. Als das wichtigste Glied wird mehrfach der Mitarbeiter genannt, den es zu schulen aber auch zu überzeugen gilt. Weiterhin wird betont, dass die Umsetzung der Methoden in vielen kleinen Schritten erfolgen sollte. Als ein Erfolgsfaktor für ein solches Vorhaben sind gründliche Lean-Kenntnisse wichtig. Außerdem wird darauf hingewiesen, dass der Umfang der Einführung der Methoden vom Reifegrad des Fertigungssystems abhängt. Es wird gesagt, dass letztlich alle Methoden zum Einsatz kommen müssen, da sie ineinander greifen und nur zusammen wirken.

Hinsichtlich der richtigen Reihenfolge der Methodeneinführung herrscht bei den Interviewpartnern Uneinigkeit. Was von den einen gelobt wird, wird von den anderen kritisiert. Eine klare Linie ist nicht zu erkennen.

6.2.3 Zusammenfassung

Die Ergebnisse der Experten-Interviews lassen erkennen, dass die beschriebenen Fallbeispiele einen repräsentativen Charakter für die Erstellung des Modells haben. In den wesentlichen Punkten stimmen die Fertigungsstrukturen der Fallbeispiele mit denen der Unternehmen aus der Befragung gut überein.

Die Methodenreihenfolge 1 wird durchgängig bevorzugt, auch von den Experten, die für die eigene TF keine der beiden Varianten wählen würden. Die Ziele, die bei der Befragung ermittelt wurden, stimmen mit den Zielen überein, die zur Variante 1 geführt haben. Die Gewichtung der Ziele ist jedoch unterschiedlich.

Ein weiteres Ergebnis der Befragung besteht darin, dass die unternehmensspezifische Ausgangssituation und die Ziele die nächsten notwendigen Schritte beeinflussen - und damit auch die zu wählende Reihenfolge für die Umstrukturierung einer mehrstufigen TF

hin zu einer Lean-TF. Eine klare Linie für die Gestaltung der Methodenreihenfolge lässt sich aus den Expertenbefragungen jedoch nicht ablesen. Allerdings wird deutlich, dass die Umsetzung aller Methoden zwingend erforderlich ist, um am Ende das Ziel einer Lean-TF zu erreichen. Die Methoden hängen nämlich zusammen wie die Räder in einem Getriebe und befördern einander. Dass es sich bei einem solchen Vorhaben um ein aufwändiges und langwieriges Projekt handelt, ist ebenfalls das Ergebnis der Befragung. Dies rechtfertigt den methodischen Ansatz, eine Expertenbefragung zu wählen, statt den direkten Beweis in der Praxis anzutreten.

Schließlich wird in den Befragungen als größte Hürde immer wieder genannt, dass die betroffenen Mitarbeiter von der Notwendigkeit der Maßnahmen überzeugt werden müssen. Diese Anforderung in Kombination mit der individuellen Unternehmenssituation lässt den Schluss zu, dass die wichtigste Aufgabe eher in der Schulung und Überzeugung der Mitarbeiter zu sehen ist als in der richtigen Auswahl der Methodenreihenfolge. Weitere Anforderungen betreffen die Auslastungssituation der TF, den vorhandenen Maschinenpark und gründliche Lean-Kenntnisse im Unternehmen.

Die ausgewählten Methoden werden als nützlich und einsetzbar angesehen, sodass auch die vorgestellten Methodenreihenfolgen insgesamt als einsetzbar betrachtet werden. Bei den Methoden, für die bereits eine breite eigene Erfahrungsbasis vorliegt, fällt die Bewertung deutlich positiver aus als bei jenen Methoden, die bisher noch gar nicht oder kaum umgesetzt wurden. Außerdem tritt klar zutage, dass die größte Umsetzungshürde die Mitarbeiter im eigenen Unternehmen sind - von der hohen Management-Ebene bis hinunter zur operativen Ebene. Damit wird klar, dass die Umsetzung der Lean-Methoden durch Handlungsempfehlungen sowie durch spezielle Hilfsmittel und Schulungen gefördert werden kann.

Im Modell ist zu prüfen, ob die geänderte Priorisierung der Ziele zu einer anderen Methodenreihenfolge führt. Außerdem lässt sich in Abhängigkeit vom jeweiligen Umsetzungsgrad der Lean-Methoden ein angepasstes Vorgehen ermitteln, das die individuelle Ausgangssituation besser berücksichtigt. Bisher wurde im Modell mit einer homogenen mäßig entwickelten Ausgangssituation gerechnet.

6.2.4 Reihenfolgeentwicklung auf der Grundlage der Befragungsergebnisse

Auf der Grundlage der Expertenbefragungen ergeben sich für die Ziele in einer mehrstufigen TF andere Prioritäten, als in der Methodenreihenfolge 1 angenommen wurde. Die Unterschiede in der Priorisierung sind in der Tabelle 32 angegeben.

Tabelle 32: Ziele-Priorisierungen für die Reihenfolgeermittlung im Modell

Ziele	Reihenfolge 1 (Prioritäten)	Experten (Prioritäten)
Höhere Produktivität	1,019	1,000
Reduzierung der DLZ	1,000	1,031
Liefertreue	1,008	1,156

Tabelle 33: Methodenreihenfolge 3 für die Einführung von Lean in der mehrstufigen TF (auf der Grundlage der Ergebnisse der Expertenbefragung zu Prioritäten)

Optimierungsstufe	Variable	Übergeordnete Lean-Methode
1	13-3 Harmonisierung der Losdauer	Arbeiten im Takt
2	1-6 Grad der Mehrmaschinenbedienung	kontinuierlicher Fluss / U-Linie
3	6-2 Qualität Rüstablauf	SMED
4	6-3 Qualität der Wartungsaktivitäten	TPM
5	10 Qualität des Fertigungsflusses	kontinuierlicher Fluss / U-Linie
6	14 Grad der Priorisierung	Heijunka / Nivellieren und Glätten
7	8-2 Bewusstsein und Aktivität für 5S	5S
8	12-2 Niveau Trennung von Wertschöpfung und Logistik	JIT/JIS
9	1-3 Bewusstsein und Aktivität für Standardisierung	Standardisierung
10	2-2 Umfang eingesetzter Pull-Methoden	Kanban und Pull
11	13-2 Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters	Heijunka / Nivellieren und Glätten
12	15-1 Qualität der Planzeiten	Arbeiten im Takt

Der Simulationslauf für die Priorisierung der Ziele auf der Grundlage der Ergebnisse der Expertenbefragung führt auf eine ganz andere Methodenreihenfolge, die im Weiteren als Reihenfolge 3 bezeichnet wird. Der einzige Unterschied zwischen der Reihenfolge 1 und 3 besteht in einer Verschiebung der Prioritäten der Ziele gemäß der Tabelle 32. Die veränderte Methodenreihenfolge ist in der Tabelle 33 dargestellt. Die detaillierten Ergebnisse der Simulationsläufe sind im Anhang 9.13 (S. 229) wiedergegeben.

Dieses Ergebnis kann sicherlich als eine Bestätigung der Expertenmeinungen gewertet werden: Eine Mehrheit der Experten hat ein spezielles Vorgehen entsprechend den eigenen Zielen und der individuellen Ausgangssituation gefordert. Das Ergebnis zeigt weiterhin, dass es offensichtlich sehr wichtig ist, Klarheit über die Priorisierung der Unternehmensziele zu gewinnen.

Im nächsten Schritt wird ein weiterer Simulationslauf einschließlich seiner Ergebnisse als Reihenfolge 4 dargestellt. Bei diesem Simulationslauf wird nicht nur die Priorisierung der Ziele aus den Experten-Interviews verwendet, sondern es wird zusätzlich die Ausgangssituation in Form des Umsetzungsgrades der Lean-Methoden im Modell abgebildet.

Tabelle 34: Methodenreihenfolge 4 für die Einführung von Lean in der mehrstufigen TF (auf der Grundlage der Ergebnisse der Expertenbefragung zur Priorität und zur Ausgangssituation)

Optimierungsstufe	Variable	Übergeordnete Lean-Methode
1	13-3 Harmonisierung der Losdauer	Arbeiten im Takt
2	1-6 Grad der Mehrmaschinenbedienung	kontinuierlicher Fluss / U-Linie
3	10 Qualität des Fertigungsflusses	kontinuierlicher Fluss / U-Linie
4	6-3 Qualität der Wartungsaktivitäten	TPM
5	13-2 Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters	Heijunka / Nivellieren und Glätten
6	14 Grad der Priorisierung	Heijunka / Nivellieren und Glätten
7	6-2 Qualität Rüstablauf	SMED
8	2-2 Umfang eingesetzter Pull-Methoden	Kanban und Pull
9	1-3 Bewusstsein und Aktivität für Standardisierung	Standardisierung
10	8-2 Bewusstsein und Aktivität für 5S	5S
11	12-2 Niveau Trennung von Wertschöpfung und Logistik	JIT/JIS
12	15-1 Qualität der Planzeiten	Arbeiten im Takt

Der Vergleich der Reihenfolge 3 mit der Variante 4 zeigt, dass die Ausgangssituation einer Produktion einen Einfluss auf die optimale Reihenfolge der Methoden hat. Das liegt daran, dass die Ermittlung der Methodenreihenfolge auf dem Prinzip beruht, jener Methode den Vorzug zu geben, die den höchsten Beitrag zum Erreichen der priorisierten Ziele leistet. Somit liegen nun vier unterschiedliche Reihenfolgen vor, die sich auf verschiedene Ziele bzw. Priorisierungen der Ziele und Ausgangssituationen stützen. Demnach ist dem Anwender einer mehrstufigen TF eine individuell entwickelte Vorgehensweise zu empfehlen.

6.3 Herleitung des Verfahrens und Evaluierung

6.3.1 Verfahrensaufbau Grundmuster

Die vorangegangenen Abschnitte zeigen deutlich, dass es für unterschiedliche Ausgangssituationen und Ziele eines Unternehmens entsprechend variable Methodenreihenfolgen gibt. Das bedeutet für die Verfahrensentwicklung, dass es nicht eine dedizierte Methodenreihenfolge geben wird. Vielmehr wird die Entwicklung der Methodenreihenfolge ein Verfahrensbestandteil sein.

Weitere Anforderungen an das Verfahren sind im Abschnitt 2.2.2 dargelegt. Die Analyse der Ausgangssituation des Unternehmens soll im Verfahren abgebildet werden. Weiterhin ist der Reifegrad der ausgewählten Lean-Methoden zu beurteilen. Die individuellen Schwerpunkte bzw. Ziele des Unternehmens sind innerhalb der Prozedur zu berücksichtigen. Es ist gefordert, dass das zu entwickelnde Verfahren für Produktionssysteme mit den folgenden Eigenschaften geeignet ist:

- Anlagenproduktion und/oder vorratsintensive Produktion,
- Material oder Arbeit als Haupteinsatzfaktor der Produktion,
- mehrstufige Produktionsschritte,
- Serienproduktion,
- Werkstatt-, Insel- oder Linienproduktion,
- manuelle, mechanische oder teilautomatisierte Produktionstechnologie,
- mehrteilige Produkte,
- standardisierte Produkte,
- Vorratsproduktion,
- Mehrprodukt-Produktion und
- mittlere Variantenzahl.

Aus den gegebenen Anforderungen heraus ergibt sich die Notwendigkeit, ein Grundmuster für die Prozedur zu entwickeln, das verschiedene Varianten für verschiedene Anforderungen zulässt (vgl. hierzu Tabelle 35).

Tabelle 35: Variantenbildung für das Verfahren

		Produktionssystem	
		gerichtete Systeme	mehrstufige TF
Verfahrens- umfang	ausführlich	I	II
	Kurzversion	III	IV

In der Tabelle 36 wird das Grundmuster für die entwickelte Prozedur eingeführt. Die Unterschiede zwischen den Varianten werden darin ebenfalls abgebildet. Die Relevanz der einzelnen Verfahrensvarianten wird in der Darstellung unterschieden mit „muss“ – durch ein „m“ abgekürzt – und „kann“ – durch ein „k“ dargestellt. Diese Unterscheidung ermöglicht eine ausführliche Prozedur und eine Kurzversion. Eine detaillierte Handlungsempfehlung, die auf die Unterschiede zwischen ausführlicher Variante und Kurzversion eingeht, zu den einzelnen Schritten, folgt in Abschnitt 6.3.2. Eine Visualisierung der einzelnen Verfahrensschritte ist im Anhang 9.17 (siehe S. 251) dargestellt.

Tabelle 36: Verfahrensschritte als Grundmuster

Lfd. Nummer	Verfahrensschritt: Ziel und Beschreibung	Relevanz für Variante				Handlungsempfehlung
		I	II	III	IV	
1	Vorliegenden Fall kategorisieren und prüfen, ob für Verfahren geeignet ist	m	m	m	m	1
2	Vorliegenden Fall unterscheiden nach gerichtetem System bzw. mehrstufiger TF	m	m	m	m	2
3	Feststellen des Methodeneinsatzes der Lean-Methoden	m	m	k	k	3
4A	Feststellen der Ausgangssituation des vorliegenden Falls mit Hilfe von Kennzahlen	m		m		4
4B	Feststellen der Ausgangssituation des vorliegenden Falls mit Hilfe von Kennzahlen		m		m	4
5	Feststellen der Ziele und Schwerpunkte für das Unternehmen	m	m	k	k	5
6A	Festlegen der Methodenreihenfolge für gerichtete Systeme	m	m	k	k	6
6B	Festlegen der Methodenreihenfolge für die mehrstufige TF	m	m	k	k	6
7	Umsetzung und Prüfung der Methodeneinführung	m	m	m	m	7

Abkürzungserklärung: m → muss und k → kann

Im ersten Schritt ist zu ermitteln, ob der vorliegende Fall durch das entwickelte Verfahren abgedeckt ist. Es wird überprüft, ob das vorliegende Produktionssystem ein sogenanntes gerichtetes System oder eine mehrstufige TF ist. Andere Produktionssysteme, die bspw. der stoffgewinnenden oder stoffumwandelnden Industrie zuzuordnen sind, sind durch diese Prozedur nicht abgedeckt. Entspricht das vorliegende System einer der in Abbildung 59 vereinfacht dargestellten Typen, so kann mit Handlungsschritt zwei fortgefahren werden. Trifft keiner der drei vorgestellten Typen zu, so ist dieses Verfahren nicht zur Anwendung geeignet. Ist die Prozedur nur auf ein Teilsystem eines Produktionssystems anzuwenden, dann ist zu prüfen, ob es sich hierbei um eine Vor-, Endmontage, Montage oder Fertigung (im Sinne einer Teilefertigung) handelt. Trifft einer der Fälle zu, so kann mit Verfahrensschritt zwei weitergearbeitet werden.

Das hier vorgestellte Verfahren richtet sich an vollständige Produktionssysteme. Sollte diese Prozedur für einen Ausschnitt eines vorhandenen Produktionssystems angewandt werden, so sind entsprechende Anpassungen bei den Verfahrensschritten eins, drei und vier durchzuführen, die auf das gesamte Produktionssystem zielen. Darüber hinaus ist zu prüfen, ob das entsprechende Modell zur Wirkungsweise der Lean-Methoden (Verfahrensschritt sechs) anzupassen ist.

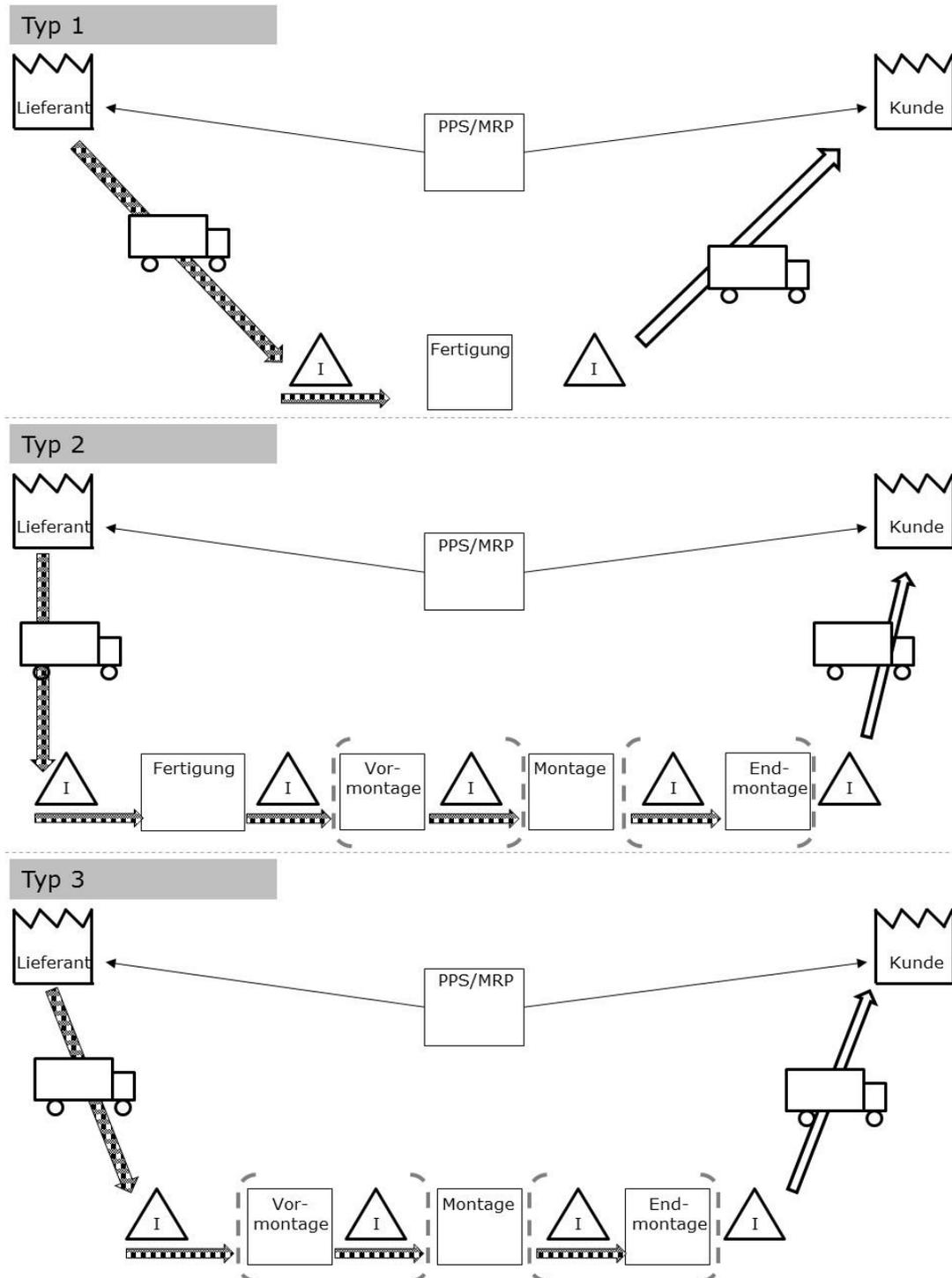


Abbildung 59: Geeignete Produktionstypen für das Verfahren

Im zweiten Verfahrensschritt ist es das Ziel die Unterscheidung nach gerichteten Systemen und mehrstufigen TF durchzuführen. Dafür sind drei Fragen zum vorliegenden Produktionssystem zu beantworten. Werden mindestens zwei von drei Fragen positiv bestätigt, so liegt eine mehrstufige TF vor. Nach Abschluss dieses Verfahrensschrittes teilt sich die weitere Vorgehensweise auf und unterscheidet nach gerichteten Systemen mit der Kennzeichnung A im Verfahrensschritt. Die Kennzeichnung B im Verfahrensschritt gibt an, dass die mehrstufige TF im Fokus steht. Der Fragenkatalog für diesen Verfahrensschritt ist in Tabelle 37 dargestellt.

Tabelle 37: Fragenkatalog zur einfachen Unterscheidung der Produktionssysteme nach gerichteten Systemen und mehrstufiger TF

Frage	Ja	Nein
Sind die verwendeten Einsatzfaktoren des vorliegenden Produktionssystems material- und betriebsmittelintensiv?		
Ist der Produktionsprozess ein mehrstufiger Prozess, der arbeitsteilig kompliziert ist?		
Liegen variierende technologische Bearbeitungsreihenfolgen der Teile einer Klasse vor?		
Auswertung: mind. 2 Mal JA weiter mit Schritt 3B, andernfalls weiter mit Schritt 3A		

Im Verfahrensschritt drei wird jeweils eine Bewertung der Umsetzungsqualität ausgewählter Lean-Methoden vorgenommen. Dieser Schritt dient im weiteren Verfahrensablauf der Einstellung einer realistischen Ausgangssituation im Modell. Dafür werden die jeweils ausgewählten Lean-Methoden nach einem einfachen Schulnotensystem bewertet. Die Bewertungskriterien sind in Tabelle 38 vorgestellt. Sollte sich in der Bewertung eine Tendenz zu einer anderen Schulnote ergeben, so kann das entsprechend in die Wahl der Ausgangsparameter einfließen, indem ein sinnvoller Wert zwischen den beiden Schulnoten eingesetzt wird.

Tabelle 38: Bewertung des Methodeneinsatzes in der Ausgangssituation

Schulnote	Bewertungskriterien	Ausgangsparameter für das Modell
5	Methode wird nicht angewandt, Methode ist unbekannt, Anwendung der Methode ist unklar	0,01
4	Erste Versuche in der Anwendung der Methode, ein Pilotbereich ist eingerichtet zum Testen der Methode, erste Anwendungsschritte sind vollzogen, und erste Effekte werden deutlich	0,25
3	Im Pilotbereich ist Anwendung der Methode erfolgreich abgeschlossen, erste Ausweitung auf einen anderen Bereich findet statt, erstes Erfahrungswissen zur Methodenanwendung liegt vor, deutliche Ergebnisse im Pilotbereich vorhanden	0,5
2	In allen Hauptbereichen der Produktion ist die Methode erfolgreich eingeführt worden, Effekte der Methode sind in den Hauptbereichen nachweisbar	0,75
1	Methode ist flächendeckend und umfassend eingeführt worden, Ergebnisse sind über die gesamte Wertschöpfungskette nachweisbar	1,0

Für den Verfahrensschritt 3 wird die Bewertung der eingesetzten Methoden anhand der Kriterien aus Tabelle 38 durchgeführt. Der zu untersuchende Methodensatz für die gerichteten Systeme basiert auf dem der Tabelle 15 aus Abschnitt 4.4.3 (S. 74). Die Dokumentation der Bewertungsergebnisse ist in Tabelle 39 beschrieben. Für die mehrstufige TF wird nun der entsprechende Methodensatz herangezogen (vgl. Tabelle 24 im Abschnitt 5.3.3, S. 107). Zur Dokumentation der Bewertungsergebnisse steht Tabelle 40 zur Verfügung.

Tabelle 39: Bewertung des Methodeneinsatzes für gerichtete Systeme in der Ausgangssituation

Lean-Methode	Variable im Modell	Schul-note [1-5]	Parameter im Modell [0,01; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0]
SMED	6-2 Qualität im Rüstablauf		
TPM	6-3 Qualität der Wartungsaktivitäten		
Standardisierung	1-3 Bewusstsein und Aktivität für Standardisierung		
Arbeiten im Takt	1-4 Qualität der Abtaktung		
JIT/JIS	12-2 Niveau Trennung von Wertschöpfung und Logistik		
kontinuierlicher Fluss / U-Linie	10 Qualität des Fertigungsflusses		
5S	8-2 Bewusstsein und Aktivität für 5S		
Kanban Pull	2-2 Umfang eingesetzter Pull-Methoden		
Heijunka / Nivellieren und Glätten	13-2 Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters		

Der vierte Verfahrensschritt wird ebenfalls unterschieden in Variante 4A und 4B. Es wird die Ausgangssituation des jeweiligen Falls mit Hilfe von Kennzahlen erfasst. Dieser Schritt dient der Vorbereitung der Umsetzungsaktivitäten im siebten Schritt der Prozedur. Es soll sichergestellt werden, dass in der Umsetzungsphase der Erfolg der eingeführten Lean-Methoden erfasst und nachvollzogen werden kann. So kann später in der Umsetzungsphase bei ausbleibendem Erfolg nach Einführung der Lean-Methoden eine klare Analyse der Situation vorgenommen werden, die mit messbaren Kennzahlen einfacher ist.

Je nach Produktionssystem sind unterschiedliche Kennzahlen erforderlich. Die Festlegung der Messgrößen orientiert sich am jeweiligen Modell und an den darin verwendeten Faktoren. Manche Größen wie die Produktionsflexibilität lassen sich nicht direkt erfassen. Es wäre hier eine Bewertung von Kriterien oder Indikatoren nötig. Da bereits für den Lean-Methoden-Einsatz diese Form der Bewertung vorgenommen wird, werden in diesem Verfahrensschritt ausschließlich Kenngrößen, die direkt ermittelbar sind, verwendet.

Die Kenngrößen für den Verfahrensschritt 4A werden in der Tabelle 41 in Form einer Arbeitstabelle dargestellt. Es werden Vorschläge unterbreitet, wie die entsprechende Kennzahl gemessen werden kann. Jedoch können bereits vorhandene, etablierte oder vergleichbare Größen aus dem laufenden Betrieb herangezogen werden. Die entsprechend vergleichbare Darstellung für Schritt 4B und die mehrstufige TF zeigt Tabelle 42.

In den Aufstellungen wird häufig Bezug auf die Fertigungsstunden des jeweiligen Produktionssystems genommen. In diesem Zusammenhang sind all jene Planzeiten gemeint, die in einem ERP-System hinterlegt sind und angeben, wie viele Maschinenstunden oder Mitarbeiterstunden unter normalen Bedingungen aufgebracht werden müssen, um ein Teil fertigzustellen. Die Summe aller gefertigten Teile je Zeiteinheit multipliziert mit den jeweiligen Planzeiten ergibt die Kennzahl Fertigungsstunden.

Tabelle 40: Bewertung des Methodeneinsatzes für mehrstufige TF in der Ausgangssituation

Lean-Methode	Variable im Modell	Schulnote [1-5]	Parameter im Modell [0,01; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0]
SMED	6-2 Qualität im Rüstablauf		
TPM	6-3 Qualität der Wartungsaktivitäten		
Standardisierung	1-3 Bewusstsein und Aktivität für Standardisierung		
Arbeiten im Takt	13-3 Harmonisierung der Losdauer		
	15-1 Qualität der Planzeiten		
JIT/JIS	12-2 Niveau Trennung von Wertschöpfung und Logistik		
kontinuierlicher Fluss / U-Linie	1-6 Grad der Mehrmaschinenbedienung		
	10 Qualität des Fertigungsflusses		
5S	8-2 Bewusstsein und Aktivität für 5S		
Kanban Pull	2-2 Umfang eingesetzter Pull-Methoden		
Heijunka / Nivellieren und Glätten	13-2 Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters		
	14 Grad der Priorisierung der Aufträge		

Tabelle 41: Erfassung von Kennzahlen für die Bestimmung der Ausgangssituation gerichteter Systeme

Variable im Modell		Vorschlag zur Erfassung	Entscheidung zur Erfassung	Ausgangswert
1	Mitarbeiterproduktivität	Tägliche Erfassung der geleisteten Fertigungsstunden im Verhältnis zu den Anwesenheitsstunden der direkten Mitarbeiter in der Produktion		
1-2	Varianz bei der Ausführung der Aufgaben	Streuung der Zykluszeiten je Fertigungs- bzw. Montagebereich und jeweilige Betriebssituation (Anzahl Mitarbeiter im Fertigungsbereich)		
2	Qualität des Bestandsniveaus	Bestand an Roh- und Fertigware gemessen in Reichweite in Tagen basierend auf den durchschnittlichen Verbräuchen am Tag für Roh- bzw. Fertigware		
2-3	Pull-Umsetzungsgrad	Prozentualer Anteil der Teilenummern die nach Pull-Logik gesteuert werden		
3	Flächenproduktivität	Durchschnittliche Fertigungsstunden je belegter Quadratmeter in der Produktion als monatliche Auswertung		
4	Planbarkeit der Aufträge - Zuverlässigkeit	Option 1: Anzahl der Planänderungen je Zeiteinheit (z.B. Tag, Woche) Option 2: prozentualer Anteil geänderter Aufträge gemessen an der Gesamtheit der Aufträge		
5	Liefertreue	Prozentualer Anteil unpünktlicher Aufträge gemessen an der Gesamtheit der Aufträge, gemessen gegen den ersten zugesicherten Termin		
6	Anlagenproduktivität	OEE (vgl. Abschnitt 2.1.3.3; S. 15)		

Variable im Modell	Vorschlag zur Erfassung	Entscheidung zur Erfassung	Ausgangswert
9 Umlaufbestand	Bestand an Ware in Arbeit erfassen (alle gestarteten und noch nicht fertig gestellten Aufträge) und ausweisen in Reichweite in Tagen auf Basis der durchschnittlichen Fertigungsstunden		
11 Durchlaufzeit	Durchschnittliche Zeit je Auftrag gemessen von Start des Auftrages (Freigabe in die Produktion) bis Ablieferung des Auftrages		
12 Leistungsniveau der Logistik	Gemessen in aufgewandte Mitarbeiterstunden pro Tag im Verhältnis zu erbrachten Fertigungsstunden		

Tabelle 42: Erfassung von Kennzahlen für die Bestimmung der Ausgangssituation in der mehrstufigen TF

Variable im Modell	Vorschlag zur Erfassung	Entscheidung zur Erfassung	Ausgangswert
1 Mitarbeiterproduktivität	Tägliche Erfassung der geleisteten Fertigungsstunden im Verhältnis zu den Anwesenheitsstunden der direkten Mitarbeiter in der Produktion		
1-2 Varianz bei der Ausführung der Aufgaben	Streuung der Zykluszeiten je Fertigungs- bzw. Montagebereich und jeweilige Betriebssituation (Anzahl Mitarbeiter im Fertigungsbereich)		
3 Flächenproduktivität	Durchschnittliche Fertigungsstunden je belegter Quadratmeter in der Produktion als monatliche Auswertung		
4 Planbarkeit der Aufträge - Zuverlässigkeit	Option 1: Anzahl der Planänderungen je Zeiteinheit (z.B. Tag, Woche) Option 2: prozentualer Anteil geänderter Aufträge gemessen an der Gesamtheit der Aufträge		
5 Liefertreue	Prozentualer Anteil unpunktlicher Aufträge gemessen an der Gesamtheit der Aufträge, gemessen gegen den ersten zugesicherten Termin		
6 Anlagenproduktivität	OEE (vgl. Abschnitt 2.1.3.3; S. 15)		

Variable im Modell	Vorschlag zur Erfassung	Entscheidung zur Erfassung	Ausgangswert
9 Umlaufbestand	Bestand an Ware in Arbeit erfassen (alle gestarteten und noch nicht fertig gestellten Aufträge) und ausweisen in Reichweite in Tagen auf Basis der durchschnittlichen Fertigungsstunden		
11 Durchlaufzeit	Durchschnittliche Zeit je Auftrag gemessen von Start des Auftrages (Freigabe in die Produktion) bis Ablieferung des Auftrages		
12 Leistungsniveau der Logistik	Gemessen in aufgewandte Mitarbeiterstunden pro Tag im Verhältnis zu erbrachten Fertigungsstunden		
15 Planungsqualität der Aufträge	Option 1: Anzahl der Planänderungen oder Priorisierungen einzelner Aufträge je Zeiteinheit (z.B. Tag, Woche) Option 2: prozentualer Anteil geänderter, priorisierter oder vorgezogener Aufträge gemessen an Gesamtheit der Aufträge		
16 Variabilität der Liegezeit	Durchschnittliche Streuung der Liegezeiten der Aufträge, gemessen mittels der Durchlaufzeiten abzüglich der Planfertigungszeiten aus dem ERP-System		

Mit dem Verfahrensschritt fünf werden die Ziele des Unternehmens festgestellt. Die Ergebnisse der Befragungen in Abschnitt 6.2.3 (vgl. S. 136) zeigen, dass die jeweilige Unternehmenssituation sehr unterschiedlich sein kann und die Auswahl der Methodenreihenfolge dementsprechend von den jeweiligen Schwerpunkten beeinflusst wird. Die Festlegung der Ziele wird wie bei den Experteninterviews durchgeführt. Orientiert an Jödicke's Zielkategorien (vgl. Abschnitt 4.5.1, S. 78) werden einfache Bewertungen der einzelnen Kategorien mit sehr hoch, mittel oder sehr niedrig durchgeführt. Kategorien, die durch das Modell nicht abgebildet werden, wie bspw. Umweltbewusstsein, finden keinen Eingang in die Ziel Priorisierung in diesem Verfahren. Eine entsprechende Dokumentation der Ergebnisse ist mit Hilfe von Tabelle 43 möglich. In dieser Darstellung wird beispielhaft eine Ziele Priorisierung ermittelt, die von drei Personen im Unternehmen unabhängig voneinander durchgeführt wurde. Selbstverständlich kann diese Priorisierung auch durch eine andere Anzahl Personen durchgeführt werden. Es handelt sich bei dieser Darstellung ausschließlich um ein Beispiel.

Tabelle 43: Beispiel für Ziel Priorisierung für das Produktionssystem (in Anlehnung an [Jödicke 2013], S. 126)

Ziel	Bedeutung des Ziels für das Produktionssystem				Gesamtbedeutung (falls mehrere Teilnehmer)
	Sehr hoch [5]	Mittel [3]	Sehr niedrig [1]	Weiß nicht [0]	
höhere Produktivität	2	1			13
Liefertreue	1	2			11
Kosteneinsparungen	3				15
Reduzierung der Durchlaufzeit		3			9
Flexibilität	1	1	1		9
Materialflussoptimierung		2	1		7
reibungslose Produktion		3			9
Höhere Qualität		2	1		7
Vermeidung von Verschwendung	1	2			11
Transparenz		1	2		5
Bestandsreduzierung	2	1			13
Rüstzeitminimierung		3			9

Im sechsten Verfahrensschritt wird nun die eigentliche Methodenreihenfolge festgelegt. Dafür waren die Verfahrensschritte drei und fünf eine wichtige Vorbereitung. Mit den Ergebnissen aus den vorangegangenen Aktivitäten dieser Prozedur ist es nun möglich, das Modell auf die jeweilige Unternehmenssituation anzupassen und damit eine individuelle Methodenreihenfolge zu bestimmen. Die Ergebnisse aus Verfahrensschritt drei werden als Ausgangswerte für die Kriterien zur Entwicklung der Faktoren im Modell eingestellt. In der Abbildung 60 ist gezeigt, wie die Einstellung im Modell direkt in den jeweiligen Eigenschaften der Variablen vorgenommen wird. Bei der Zeiteinheit 0 und 19.9 wird jeweils der Ausgangswert aus Tabelle 39 (Schritt 6A) bzw. Tabelle 40 (Schritt 6B) eingesetzt.

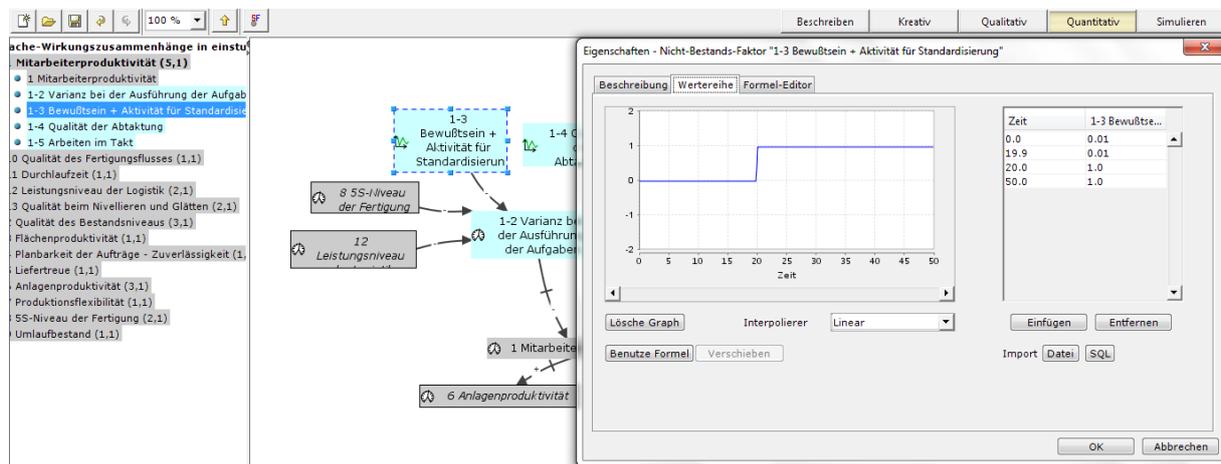


Abbildung 60: Einstellen der Ausgangs- und Endwerte für Kriterien zur Entwicklung von Faktoren im Modell

Bei der Zeiteinheit 20.0 und 50.0 wird der Zielwert eingesetzt. Der maximal mögliche Wert ist 1. Sollte das Verfahren eingesetzt werden, um eine Methodenreihenfolge für einen relativ kurzfristigen Umsetzungszeitraum von bspw. weniger als einem Jahr festzulegen, ist das Erreichen des Maximalwertes bei allen Kriterien zur Entwicklung der Faktoren als unrealistisch einzuschätzen. Das ist besonders dann der Fall, wenn die Ausgangswerte relativ gering (kleiner oder gleich 0,25) sind. Hier ist eine realistische Abschätzung der Zielwerte sinnvoll. Sollte jedoch eine umfassende Kampagne von langer Dauer geplant sein, so sind durchgehende Maximalwerte bei den Variablen realistisch. Zur Unterstützung

gibt es zwei Tabellen, die eine Dokumentation der Entscheidungen erlauben (vgl. Tabelle 44 für Schritt 6A und Tabelle 45 für Schritt 6B).

Tabelle 44: Festlegen der Ausgangs- und Zielwerte für die Kriterien zur Entwicklung von Faktoren im Modell der gerichteten Systeme

Lean-Methode	Variable im Modell	Ausgangswert im Modell [0,01; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0]	Zielwert im Modell [0,01; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0]
SMED	6-2 Qualität im Rüstablauf		
TPM	6-3 Qualität der Wartungsaktivitäten		
Standardisierung	1-3 Bewusstsein und Aktivität für Standardisierung		
Arbeiten im Takt	1-4 Qualität der Abtaktung		
JIT/JIS	12-2 Niveau Trennung von Wertschöpfung und Logistik		
kontinuierlicher Fluss / U-Linie	10 Qualität des Fertigungsflusses		
5S	8-2 Bewusstsein und Aktivität für 5S		
Kanban Pull	2-2 Umfang eingesetzter Pull-Methoden		
Heijunka / Nivellieren und Glätten	13-2 Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters		

Tabelle 45: Festlegen der Ausgangs- und Zielwerte für die Kriterien zur Entwicklung von Faktoren im Modell der mehrstufigen TF

Lean-Methode	Variable im Modell	Ausgangswert im Modell [0,01; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0]	Zielwert im Modell [0,01; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0]
SMED	6-2 Qualität im Rüstablauf		
TPM	6-3 Qualität der Wartungsaktivitäten		
Standardisierung	1-3 Bewusstsein und Aktivität für Standardisierung		
Arbeiten im Takt	13-3 Harmonisierung der Losdauer		
	15-1 Qualität der Planzeiten		
JIT/JIS	12-2 Niveau Trennung von Wertschöpfung und Logistik		
kontinuierlicher Fluss / U-Linie	1-6 Grad der Mehrmaschinenbedienung		
	10 Qualität des Fertigungsflusses		
5S	8-2 Bewusstsein und Aktivität für 5S		
Kanban Pull	2-2 Umfang eingesetzter Pull-Methoden		
Heijunka / Nivellieren und Glätten	13-2 Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters		
	14 Grad der Priorisierung der Aufträge		

Sind die Werte für die Kriterien zur Entwicklung der Faktoren im Modell gesetzt, kann die eigentliche Bestimmung der Methodenreihenfolge beginnen. Für die gerichteten Produktionssysteme ist das Modell aus dem digitalen Anhang (vgl. 2015-09-17-Modell-einfache-Systeme.cons) zu verwenden. Für die mehrstufige TF ist ebenso das entsprechende Modell im digitalen Anhang verfügbar (vgl. 2015-09-17-Modell-mehrstufige-TF.cons). In beiden Fällen ist die Anwendungsvoraussetzung eine installierte Version der Software Consideo Modeler. Der Auslieferungszustand der Modelle sieht vor, dass die Kriterien zur Entwicklung der Faktoren im Ausgangszustand mit 0.01 und im Zielzustand mit 1.0 definiert sind.

Mittels der Applikation Simulieren innerhalb der Software Consideo Modeler wird ein Simulationslauf über die gesamte Zeitdauer von 50 Zeiteinheiten initiiert. Die berechneten Zustandswerte der einzelnen Variablen des Modells werden am Ende des Simulationslaufs in Form einer Tabelle ausgegeben. Bis zum Zeitpunkt der Zeiteinheit 19 liegt ein eingeschwungener Ausgangszustand des zu betrachtenden Produktionssystems vor. Die Variablenwerte der Zeiteinheit 19 können daher als Ausgangszustand für Datenauswertungen verstanden werden. Die Werte der Zeiteinheit 50 sind dann die Ergebnisse nach Einführung der Lean-Methoden in einem ebenfalls eingeschwungenen Zustand. Die Differenz der Ausgangswerte zu Zeiteinheit 19 und der Ergebnisse von Zeiteinheit 50 zeigen auf, wie stark sich die Variablen auf Grund der eingeführten Lean-Methoden verändern.

Zur Bildung der Reihenfolge ist nun eine Bewertung der Ergebnisse entsprechend der jeweiligen Zielpriorisierung für das Produktionssystem vorzunehmen. Da die Zielkategorien nach Jödicke (vgl. Abschnitt 4.5.1, S. 78) sich nicht direkt auf das Modell übertragen lassen, wird in Tabelle 46 für einstufige Systeme eine entsprechende Übersetzungstabelle eingeführt. Das bedeutet, dass im Verfahrensschritt 6A entsprechend der Zielstellung nun geprüft werden kann, welche Variablen im Modell genauer in Betracht zu ziehen sind. Die Grundidee ist es, die drei wichtigsten Zielkategorien aus Tabelle 43 auszuwählen und diese gegeneinander zu gewichten. Dafür können die Punktzahlen aus der Bewertung der Tabelle herangezogen werden. In Tabelle 43 ist ein Beispiel aufgeführt. Die drei wichtigsten Ziele im Beispiel sind: Kosteneinsparungen mit 15 Punkten, Bestandsreduzierung und höhere Produktivität mit jeweils 13 Punkten. Eine einfache Verhältnisrechnung zeigt auf, dass die Kosteneinsparung mit 15% höheren Punkten bewertet wurde. Demnach sind die Variablen der Kategorie mit einem um 15% erhöhten Faktor zu multiplizieren. Die Variablen der Zielkategorie Bestandsreduzierung und höhere Produktivität werden mit dem Faktor 1 multipliziert. Alle weiteren Ergebnisse werden mit der Zahl 0 multipliziert. So kann dann je Simulationslauf eine Summe der relevanten Ergebnisse gebildet werden.

Tabelle 46: Übersetzungstabelle der Unternehmensziele auf die relevanten Faktoren im Modell für gerichtete Systeme

Nr.	Ziele nach Jödicke Variable im Modell	höhere Produktivität	Liefertreue	Kosteneinsparungen	Reduzierung der Durchlaufzeit	Flexibilität	Materialflussoptimierung	reibungslose Produktion	höhere Qualität	Vermeidung von Verschwendung	Transparenz	Bestandsreduzierung	Rüstzeitminimierung
1	Mitarbeiterproduktivität	x		X					x	x			
2	Qualität des Bestandsniveaus									x		x	
3	Flächenproduktivität						x					x	
4	Planbarkeit der Aufträge - Zuverlässigkeit							x					
5	Liefertreue		x										
6	Anlagenproduktivität	x		X					x	x			x
7	Produktionsflexibilität					x							
8	5S-Niveau der Fertigung								x	x	x		
9	Umlaufbestand			X						x		x	
11	Durchlaufzeit				x								
12	Leistungsniveau der Logistik						x			x			
13	Qualität beim Nivellieren und Glätten							x					

Nun wird in jedem Simulationslauf nacheinander lediglich eine Lean-Methode eingeführt, indem der Zielwert der entsprechenden Variablen im Modell eingestellt wird. Die anderen Variablen bleiben bei ihrem Ausgangswert über die gesamte Zeitdauer von 50 Zeiteinheiten. Die Ergebnisse des Simulationslaufes werden entsprechend der Zielpriorisierung bewertet. Alle Ergebnisse nebeneinander gestellt, wie bspw. im Anhang Tabelle 64 (S. 184), zeigen dann auf, welche Lean-Methode als erstes oder als nächstes

einzuführen ist, um die gewählten Ziele des Unternehmens am stärksten zu unterstützen. Das ist jene Lean-Methode, die den höchsten Gesamtwert bei der Bewertung der Variablen hat.

Die Vorgehensweise aus Verfahrensschritt 6A lässt sich nahezu identisch auch für Verfahrensschritt 6B anwenden. Lediglich das Modell und die Übersetzungstabelle (vgl. Tabelle 47) sind für die mehrstufige TF zu wählen.

Tabelle 47: Übersetzung der Unternehmensziele auf die relevanten Faktoren im Modell für die mehrstufige TF

Nr.	Ziele nach Jödicke Variable im Modell	höhere Produktivität	Liefertreue	Kosteneinsparungen	Reduzierung der Durchlaufzeit	Flexibilität	Materialfluss-optimierung	reibungslose Produktion	höhere Qualität	Vermeidung von Verschwendung	Transparenz	Bestandsreduzierung	Rüstzeit-minimierung
1	Mitarbeiterproduktivität	x		x					x	x			
3	Flächenproduktivität						x					x	
4	Planbarkeit der Aufträge - Zuverlässigkeit							x					
5	Liefertreue		x										
6	Anlagenproduktivität	x		x					x	x			x
7	Produktionsflexibilität					x							
8	5S-Niveau der Fertigung								x	x	x		
9	Umlaufbestand			x						x		x	
11	Durchlaufzeit				x								
12	Leistungsniveau der Logistik						x			x			
13	Qualität beim Glätten der Teile-klassen							x					
15	Planungsqualität der Aufträge							x					
16	Variabilität der Liegezeit						x						

Im siebten Verfahrensschritt wird die Methode mit der größten Unterstützung bei der Verfolgung der Unternehmensziele eingeführt. Hier sind im Besonderen die definierten Unternehmenskennzahlen aus Verfahrensschritt vier zu beobachten. Bleibt eine erwartete Veränderung der Kennzahlen aus, ist die Ursache zu ermitteln und entsprechende Maßnahmen einzuleiten. Stellt sich die erwartete Veränderung ein, so ist mit Erreichen des gewünschten Umsetzungsniveaus der jeweiligen Lean-Methode die nächste Methode auszuwählen.

Da vermutlich bereits eine gewisse Zeit vergangen ist, wäre es ratsam, das Modell auf Aktualität zu prüfen, ggf. anzupassen. Diese Aktivitäten gehören zum sechsten Verfahrensschritt. Danach sind die nächsten Simulationsläufe zu starten, um die nächste einzuführende Lean-Methode zu bestimmen. Das heißt, im Idealfall wechseln sich

Verfahrensschritt sechs und sieben regelmäßig ab, bis alle Lean-Methoden eingeführt und die Unternehmensziele erreicht sind.

Sollte die Umsetzungskapazität und der Wunsch vorhanden sein, zur gleichen Zeit mehrere Lean-Methoden einzuführen, so können im Verfahrensschritt sechs die bedeutsamsten Methoden zur Erreichung der Unternehmensziele mit Hilfe der Simulation ermittelt und diese dann zeitgleich im siebten Schritt eingeführt werden.

6.3.2 Handlungsempfehlungen zu einzelnen Verfahrensschritten

Das im vorangegangenen Abschnitt vorgestellte Verfahren bietet die Freiheit, zwischen einer ausführlichen Variante und einer Kurzversion zu entscheiden. Worin die Unterscheidungen liegen, soll in diesem Abschnitt genauer aufgezeigt werden. Außerdem sollen praktische Empfehlungen bei der Anwendung der Verfahrensschritte helfen. Daher wird es zu jedem Abschnitt der Prozedur noch Hinweise geben, wie eine verkürzte weniger umsetzungsintensive Form zu realisieren ist. Jedoch ist zu beachten, dass eine Ersparnis an Zeit auch eine Reduzierung an Ergebnis oder Qualität zur Folge hat.

Handlungsempfehlung 1

Die drei vorgestellten Typen in Abbildung 59 (vgl. S. 142) bedienen sich einer stark vereinfachten Darstellung eines Wertstroms für ein gesamtes Produktionssystem. Liegt im Unternehmen keine Erfahrung mit der Methode VSM/VSD vor, empfiehlt es sich im ersten Schritt mit dieser Methode vertraut zu machen, indem für das vorliegende Produktionssystem ein solcher Wertstrom erfasst wird. Der Vorteil dieser Methode ist, dass alle wesentlichen Lean-Methoden bei der Gestaltung des Wertstroms (VSD) behandelt werden und so eine erste Einführung in die gesamte Welt der schlanken Fertigung erfolgt. Das Bewusstsein für Stärken und Schwächen des eigenen Systems wird im Zuge der Wertstromanalyse gestärkt. Dieser Schritt ist ebenfalls eine sehr gute Vorbereitung, um mit dem Modell im Verfahrensschritt sechs sicher umgehen zu können. Das hier verwendete Vokabular ist ähnlich, und die Zusammenhänge im Modell können besser nachvollzogen werden. Hier empfiehlt es sich, wenn kein Erfahrungswissen im Unternehmen vorhanden ist, externe Unterstützung hinzuzuziehen.

Für eine verkürzte Variante kann eine einfache Eingliederung des vorliegenden Produktionssystems nach Nebels Produktionsprozess-Typisierung vorgenommen werden und mit den Eingliederungen für die gerichteten Systeme in Tabelle 9 (vgl. S. 58) und für die mehrstufige TF in Tabelle 18 (vgl. S. 89) verglichen werden. Gibt es eine Überdeckung mit einer der dargestellten Muster, so kann Verfahrensschritt zwei erfolgen.

Handlungsempfehlung 2

Eine mehrstufige TF unterscheidet sich in wesentlichen Punkten von einem gerichteten System. Mit der Beantwortung der drei Schlüsselfragen sollte eine Unterscheidung möglich sein. Sind doch noch Unklarheiten, so empfiehlt es sich, Nebels Produktionsprozess-Typisierung vorzunehmen und für das vorliegende Produktionssystem eine Klassifizierung vorzunehmen. Das Ergebnis kann mit den Eingliederungen für gerichtete Systeme in Tabelle 9 (vgl. S. 58) und für die mehrstufige TF in Tabelle 18 (vgl. S. 89) verglichen werden.

Für eine verkürzte Variante wurde bereits die Eingliederung nach Nebl im Handlungsschritt 1 empfohlen. Eine zusätzliche Beantwortung der Fragen aus Verfahrensschritt zwei kann damit gespart werden. Die Unterscheidung, welche Form vorliegt, ist vorhanden. Es kann mit Prozedurabschnitt drei fortgefahren werden.

Handlungsempfehlung 3

Die Feststellung, wie gut bereits eingeführte Lean-Methoden im vorliegenden Produktionssystem angewandt werden, ist eine subjektive Einschätzung, die stets viel Diskussionspotential bietet. Unternehmensberatungen oder auch zentrale Kaizenabteilungen großer Konzerne verfügen über umfangreiche Auditunterlagen, die eine solche Einschätzung objektivieren. Letztendlich muss jedoch klar sein, dass diese Form der Audits lediglich eine Objektivierung ist, die am Ende auf der Erfahrung des Auditors aufbaut und die eigene subjektive Wahrnehmung entfärbt.

Sollte der eigene Anspruch sein, dass ohne externe Unterstützung eine Einschätzung vorgenommen wird, so empfiehlt es sich, mit einem heterogenen Team eine solche Bewertung des Lean-Methodeneinsatzes durchzuführen. Gerade in der Diskussion der Ergebnisse im Zuge der Experteninterviews hat sich gezeigt, dass unterschiedliche Personen zum gleichen Thema kritischer sind. So entsteht in der gemeinsamen Bewertung und Diskussion ein realistischeres Bild.

Ist eine verkürzte Variante dieses Verfahrensschrittes gewünscht, so hat dies Einfluss auf die restliche Prozedur. Es ist keine weitere Einschätzung des aktuellen Lean-Methodeneinsatzes durchzuführen. Im sechsten Verfahrensschritt wird auf bereits entwickelte Methodenreihenfolgen in der Kurzvariante zurückgegriffen.

Handlungsempfehlung 4

Das Erfassen von Kennzahlen ist ein aufwändiger und langwieriger Prozess. Daher empfiehlt es sich, immer auf bestehende und etablierte Größen aufzubauen. Die Vorteile liegen auf der Hand. Es liegen Werte über längere Zeiträume vor, sodass eine Veränderung der Werte besser analysiert und interpretiert werden kann. Die Systeme zur Erfassung und Auswertung sind bereits vorhanden und etabliert. Die Mitarbeiter kennen die Größen und sind mit ihrem Umgang vertraut. Sofern vergleichbare Kenngrößen im Unternehmen bereits ermittelt werden, empfiehlt es sich, diesen den Vorzug zu geben. Bei der Entscheidung, welche Kennwerte für das Nachverfolgen der Änderungen im Produktionssystem genutzt werden sollen, sollten diejenigen gewählt werden, die echte Trends abbilden und Veränderungen schnell anzeigen können. Kenngrößen, die ein sehr träges Verhalten haben, zeigen nur sehr langsam und in kleinen Schritten, dass sich eine Veränderung einstellt.

Ist bereits der Plan existent, mit einem Pilotbereich zu starten, dann empfiehlt es sich, die Kennzahlen für den Pilotbereich separat zu erfassen. So können später in der Umsetzungsphase (Verfahrensschritt sieben) die Wirkungen der eingeführten Methoden besser nachvollzogen werden, da sie dann auf den Pilotbereich hin auswertbar sind, statt im Grundrauschen der gesamten Produktion zu versinken.

In der Kurzversion für das Verfahren ist die Empfehlung, ausschließlich vorhandene Kenngrößen zu nutzen. Sollte eine Kategorie mit bestehenden Indikatoren nicht besetzt sein, so sollten mit möglichst einfachen Mitteln direkt in der Produktion die Werte erfasst werden, z.B. mit täglich geführten Strichlisten über zwei bis vier Wochen, um einen Aufsetzpunkt bestimmen und im Verfahrensschritt sieben die sich einstellenden Veränderungen nachvollziehen zu können. Die Messmethode ist dann für die Zeit der Umstellung beizubehalten, um eine Vergleichbarkeit der Werte sicherzustellen.

Handlungsempfehlung 5

Im fünften Verfahrensschritt werden die Ziele für das vorliegende Produktionssystem festgestellt. In diesem Fall ist eine allgemeingültige Handlungsempfehlung nicht realistisch. Die vorliegenden Organisationsstrukturen einschließlich der Entscheider und Stakeholder für ein solches Thema sind zu berücksichtigen. Ein weiterer Einfluss ist die Unternehmensstrategie (falls vorhanden und verabschiedet). Es ist von Vorteil, wenn ein

gemeinsames Bild existiert, das im aktuellen Zustand Priorität hat und entsprechend gefördert werden soll. Darauf aufbauend kann konsistent die Zielpriorisierung vorgenommen werden.

Die Festlegung der Ziele ist in der Regel ein Prozess in einem Unternehmen, der sich über einen längeren Zeitraum hinziehen kann. Ist der Prozess abgeschlossen, so ist dann eine Zieledefinition für ein solches Vorhaben einfach ableitbar. Häufig lassen sich bereits auf Grundlage der erfassten Kenngrößen aus Verfahrensschritt vier ableiten, was wichtig ist.

Sollten weder ein Zielkonstrukt vorhanden sein noch eine verabschiedete Unternehmensstrategie als Entscheidungsgrundlage vorliegen, so kann durch eine Unternehmensberatung externe Unterstützung im Prozess zur Zielefindung erfolgen. Alternativ ist auch die Entscheidungsfindung durch ein heterogen zusammengesetztes Team denkbar (vgl. Handlungsempfehlung 3).

Unabhängig von der gewählten Methode zur Feststellung der Ziele für das vorliegende Produktionssystem ist eine Fokussierung auf wenige Themen sinnvoll. Sicherlich sind alle Themen wichtig für ein Unternehmen, doch die Herausforderung in diesem Verfahrensschritt liegt darin, eine Abstufung der Ziele untereinander vorzunehmen, um die bspw. drei wichtigsten Themen in den Mittelpunkt der Tätigkeiten im Verfahrensschritt sieben zu nehmen.

Für die Kurzversion bietet sich eine einfache Entscheidung für die Anwender dieses Verfahrens an. Es ist lediglich zwischen zwei unterschiedlichen Ziel Priorisierungen zu unterscheiden. Die Reihenfolge der Nennung ist absteigend in der Bedeutung des Ziels für das vorliegende Produktionssystem und beeinflusst im nächsten Verfahrensschritt die zu wählende Methodenreihenfolge:

1. Produktivität, Liefertreue, Kosten
2. Liefertreue, Durchlaufzeit, Bestandsreduzierung

Variante eins ist eine Mischung der wichtigsten Unternehmensziele nach Jödicke (vgl. Abschnitt 4.5.1, S. 78). Die zweite Variante basiert auf den Ergebnissen der Expertenbefragungen und behandelt das Thema Bestand und die Folgen eines hohen Bestandes.

Handlungsempfehlung 6

Der sechste Verfahrensschritt widmet sich der Festlegung der Methodenreihenfolge. Der Kern dieses Schrittes liegt in der Festlegung, wie viel Zeit für Umsetzungsaktivitäten und wie viel Kapazität vorhanden sein wird. Dementsprechend sind die Zielwerte für die Kriterien zur Entwicklung der Faktoren im Modell festzulegen. Ohne Erfahrungswissen zur Umstellung ist eine Abschätzung, was realistisch umsetzbar ist, mit den gegebenen Kapazitäten zur gegebenen Zeit schwer. Häufig wird zu optimistisch geplant und zu ambitionierte Ziele formuliert. Hier empfiehlt es sich auch, auf das Erfahrungswissen ggf. von Externen zu bauen.

In Projekten zur Einführung der Lean-Methoden in verschiedenen Produktionssystemen hat sich gezeigt, dass häufig nach zwei Jahren die gesamten Lean-Methoden eingeführt worden. Der Raum der Einführung war jedoch sehr unterschiedlich. Wichtige Methoden im Sinne der Ziele des Projektes wurden nicht nur im Pilotbereich (in der Regel ein halbes Jahr), sondern auch in weiteren Bereichen eingeführt. Andere Methoden, die nicht unmittelbar die Ziele unterstützt haben, wurden in diesem Zeitraum häufig lediglich in einem Pilotbereich eingeführt und erste Erfahrungen dazu gesammelt.

Ein weiterer Gedanke sollte bei der Festlegung der Zielwerte für die Kriterien zur Entwicklung der Faktoren mit berücksichtigt werden: Je umfassender eine Methode eingeführt ist (besonders gute Schulnote), desto schwieriger wird es, die nächsthöhere Stufe zu erlangen. Gerade bei Themen wie 5S, SMED oder TPM sind dann Details in der Ausarbeitung der Standards zu erarbeiten und deren Einhaltung in der umfassenden Anzahl

betroffener Mitarbeiter durchzusetzen, sodass hier ein hoher Aufwand enthalten ist, um das nächsthöhere Niveau zu erreichen.

Eine weitere Entscheidung ist es, im ersten Schritt nur eine Lean-Methode oder gleich mehrere einzuführen. Der Nachteil bei der Einführung mehrerer Methoden zur gleichen Zeit liegt in der geringeren Nachvollziehbarkeit der Wirkungen und Effekte einzelner Methoden gerade in Bezug auf die aufgenommenen Kennzahlen aus Verfahrensschritt vier. Der Vorteil ist, dass in gleicher Zeit ein höheres Niveau im Produktionssystem erreicht wird und sich die eingeführten Methoden miteinander ergänzen. Am Ende ist es eine Frage der verfügbaren Kapazitäten für die Umsetzungsaktivitäten. Ist kein Erfahrungswissen im vorliegenden Unternehmen zur Einführung einer schlanken Produktion vorhanden, empfiehlt es sich die Methoden einzeln nacheinander einzuführen.

In der Kurzversion des Verfahrens ist ein aufwändiger Simulationslauf nicht erforderlich. Es stehen für die gerichteten Systeme und die mehrstufige TF jeweils zwei Methodenreihenfolgen zur Verfügung. Diese ermittelten Reihenfolgen basieren auf den Annahmen, dass die Methoden bisher nur in einem Pilotbereich eingeführt sind und keine umfassenden Erfahrungen zur Anwendung der Lean-Methoden im vorliegenden Produktionssystem vorhanden sind. Die Simulationsläufe sind so durchgeführt worden, dass alle Lean-Methoden auf den Maximalwert gebracht werden. Sollte beispielsweise nur die nächsthöhere Stufe für die Methoden erreicht werden, wäre das Ergebnis gleich. Daher können diese allgemeinen Methodenreihenfolgen zur Anwendung kommen, und der Einsatz der Software Consideo Modeler wird gespart. Eine Übersicht zu den Methodenreihenfolgen gibt Tabelle 48.

Tabelle 48: Übersicht zu verfügbaren Methodenreihenfolgen

Produktionssystem	Unternehmensziele	
	1. Produktivität, Liefertreue, Kosten	2. Liefertreue, Durchlaufzeit, Bestandsreduzierung
Gerichtete Systeme	Tabelle 17, S. 80	Tabelle 123, S. 249
Mehrstufige TF	Tabelle 28, S. 114	Tabelle 30, S. 115

Handlungsempfehlung 7

Der letzte Verfahrensschritt beinhaltet die Umsetzung der Lean-Methoden im vorliegenden Produktionssystem. Die Auswahl des Pilotbereiches, Information und Schulung der betroffenen Mitarbeiter und ggf. des Betriebsrates sind wichtige vorbereitende Schritte, um den Erfolg der Aktivitäten im Produktionssystem sicherzustellen. Die Lean-Methoden selbst sind keine schwer zu verstehenden Themen. Die Hürden liegen eher in der Bereitschaft, sich auf die Veränderung einzulassen und sich einen zukünftigen Zustand vorstellen zu können. Das zeigte sich auch deutlich in den Experteninterviews. Erfahrungen im Bereich Veränderungsmanagement sind bei solchen Vorhaben sehr hilfreich. Erfahrungen in der Anwendung der Lean-Methoden unterstützen das Projekt.

Gerade wenn sich das vorliegende Produktionssystem am Anfang eines umfangreichen Veränderungsprozesses befindet und bisher wenig oder keine Erfahrungen mit Lean-Methoden gesammelt wurden, ist die Auswahl eines geeigneten Pilotbereiches wichtig. Es sind verschiedene Faktoren zu berücksichtigen: Ist der Bereich für das gesamte Produktionssystem oder wenigstens für den Fertigungsbereich repräsentativ? Inwiefern ist mit der Unterstützung durch die Mitarbeiter zu rechnen? Ist das Team offen für neue Ideen und Konzepte oder eher kritisch eingestellt? Wie hoch ist der Problemdruck im ausgewählten Bereich? Sind umfangreiche organisatorische Veränderungen in dem Bereich zu erwarten? Und welche Konsequenzen haben diese für das Gesamtprojekt? Ist zu erwarten, dass die gesammelten Erfahrungen im Pilotbereich auf andere Bereiche einfach übertragen lassen?

Die anfängliche Umsetzung der Methoden in einem Pilotbereich bietet die Möglichkeit, weitere Mitarbeiter einzubinden und die Wirkungsmechanismen deutlich aufzuzeigen. Der Pilotbereich ist vor Ort, real, begreifbar. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die Verantwortlichen die Erfahrung machen können, welche Methoden wie am besten einzuführen sind, wobei sich grobe Fehler nur auf einen kleinen abgegrenzten Bereich auswirken. Sind neue Lösungen für die Steuerung der Produktionsaufträge oder für regelmäßige Wartungen erforderlich, dann können für einen kleinen Bereich einfache Lösungen getestet werden. Wenn dann Klarheit über die eigenen Anforderungen besteht, ist es deutlich einfacher, einen geeigneten externen Anbieter auszuwählen.

Nach der erfolgreichen Einführung der Lean-Methoden im Pilotbereich und nach einer umfassenden Reflexionsphase kann die eigentliche Umsetzung für das gesamte Produktionssystem in Angriff genommen werden. Ist seit der ersten Analyse der Ausgangssituation viel Zeit vergangen, empfiehlt es sich, die Ergebnisse im Verfahrensschritt sechs kritisch auf Aktualität zu prüfen und das Modell bei Bedarf mit Hilfe der Verfahrensschritte drei und fünf anzupassen. Letztlich sagen alle Experten, dass derartige Projekte eher langwierig sind, bis ihre Umsetzung als abgeschlossen betrachtet werden kann.

Ist die Umsetzung für eine oder mehrere Lean-Methoden sowie den Bereich beschlossen, starten die Aktivitäten. Ein Nachhalten der vereinbarten Maßnahmen und eingeführten Veränderungen ist gerade in der Anfangsphase wichtig. Eine Veränderung ist nur dann messbar, wenn diese in der Realität vorhanden ist. Die Tabelle 124 für gerichtete Systeme und die Tabelle 25 für mehrstufige TF geben Hinweise darauf, welche Kenngrößen sich bei der Einführung bestimmter Lean-Methoden verändern sollten. Dies sollte eine Orientierung sein, an welchen Punkten im Produktionssystem Veränderungen zu erwarten sind.

In diesem Verfahrensschritt gibt es keine Kurzversion. Der Aufwand für die Einführung der Methoden, das Nachhalten der Veränderungen, die erforderlichen Messungen der Kenngrößen sind alles Grundbedingungen für eine erfolgreiche Einführung der schlanken Produktion.

6.3.3 Überprüfung des Verfahrens durch Experten

Das entwickelte Verfahren ist durch einen Experten hinsichtlich der Realisierbarkeit und Vollständigkeit zu beurteilen. Für die Auswahl des Experten gelten die gleichen Anforderungen wie im Abschnitt 6.1.3 (vgl. S. 120). Zur Evaluierung des Verfahrens wird lediglich ein Experte herangezogen, da bereits die Methodenauswahl für die mehrstufige TF sowie der grundsätzliche Lösungsansatz im Zuge der ersten Befragung bestätigt wurden. Für die Durchführung des Experteninterviews wurden eine Woche im Voraus die detaillierten Unterlagen zum Verfahrensaufbau und zur Vorgehensweise versendet.

Der Interviewpartner ist in einem Unternehmen als Produktionsvorstand seit mehreren Jahren in der Verantwortung für mehrere Werke. Seit fast 20 Jahren beschäftigt er sich mit den Themen der schlanken Produktion auf theoretischer und praktischer Ebene. In vorherigen Funktionen als Werks- und Produktionsleiter wurden umfangreiche Erfahrungen im Veränderungsprozess eines Standortes gesammelt. Die aktuelle Position beinhaltet die Verantwortung sowohl für die Werke, die den gerichteten Systemen zugeordnet werden können, als auch für einen Standort mit einer mehrstufigen TF. Daher sind diesem Experten die jeweiligen Herausforderungen der unterschiedlichen Produktionssysteme und der dafür erforderlichen Lean-Methoden bekannt.

Im ersten Teil des Interviews wird geklärt, ob das vorgestellte Verfahren realisierbar ist. Nach Ansicht des Experten ist das Verfahren voraussichtlich umsetzbar. Als Gründe werden angeführt, dass es in sich logisch aufgebaut und schlüssig ist. Das Verfahren verwendet

das Grundmuster des PDCA²⁴-Zyklus sowie Methoden, deren Wirksamkeit bereits wissenschaftlich nachgewiesen sind. Insgesamt wird die Realisierbarkeit mit der Schulnote 2 bewertet.

Kritische oder schwer durchführbare Schritte im Verfahren sind nach Meinung des Interviewpartners die Typus-Analyse im Verfahrensschritt 1. Liegt eine geringe oder keine Erfahrung mit der Methode Wertstromanalyse vor, so wird es schwer sein, den vorliegenden Fall auf die wesentlichen Hauptbestandteile im Produktionssystem zu reduzieren. Die größte Herausforderung liegt in der Tatsache, dass die meisten Unternehmen nicht „sortenrein“ einem der vorgeschlagenen Typen entsprechen. Daher empfiehlt der Experte einen groben Wertstrom für den jeweiligen Fall zu skizzieren, wie es im Verfahren erfragt wird. Diese Tätigkeit ohne Erfahrung und ohne externe Unterstützung zu vollziehen ist eine Herausforderung.

In der Diskussion mit dem Experten wird darauf hingewiesen, dass die eigentliche Zuordnung nicht relevant ist, sondern der Ausschluss anderer Produktionssysteme, die keine Fertigung oder Montage enthalten, da es sich beispielsweise um chemische Verfahren zur Stoffgewinnung oder -umwandlung handelt. Der Interviewpartner empfiehlt hier, die Produktionsbereiche mit einem Beitrag von weniger als 10% der Gesamtleistung für diese Betrachtung zu ignorieren.

Im Interview wird auf eine weitere Herausforderung für den Verfahrensschritt sieben hingewiesen. Veränderungen im Unternehmen, die nicht unmittelbar mit der Einführung der schlanken Produktion bzw. der Lean-Methoden zusammenhängen, können Einfluss auf die festgelegten Kennzahlen aus Verfahrensschritt vier haben. Der Wechsel einer Führungskraft, Konjunkturveränderungen oder andere Aktivitäten im Unternehmen beeinflussen die Kennzahlen. Eine Korrekturrechnung ist gemäß den Erfahrungen des Experten sehr aufwändig oder zum Teil gar nicht möglich.

Eine Diskussion dieser Tatsache ist bereits im Abschnitt 3.4 (vgl. S. 49) vorhanden. Die vom Experten vorgeschlagenen Laborbedingungen zu erfüllen, wird als unrealistisch eingestuft.

Schließlich wird im Gespräch vom Interviewpartner erneut darauf hingewiesen, dass die größte Herausforderung in der Umsetzungsphase, Verfahrensschritt sieben, liegt. Die Überzeugung und die Schulung der betroffenen Mitarbeiter sind eine wichtige Voraussetzung. Doch selbst dann kann es dazu führen, dass Problemstellungen unnötig verkompliziert werden, da die individuellen Handlungsweisen nicht immer einer stringenten Logik folgen.

Zur Fragestellung, was aus Sicht des Experten am Verfahren zu verbessern wäre, wird auf unterschiedliche wirtschaftliche Szenarien hingewiesen. Eine Berücksichtigung der Unternehmenssituation und Zielpriorisierung wäre hilfreich. Da können verschiedene Typen wie Wachstum, Stagnation oder Sanierung identifiziert und dann das Verfahren gezielter mit definierten Methodenreihenfolgen eingesetzt werden.

Im Gespräch wird darauf hingewiesen, dass die jeweilige Unternehmenssituation und die sich daraus ableitenden Ziele bereits mit dem Verfahrensschritt fünf ermittelt werden. Damit sind Schwerpunkte wie Kostenersparnis im Sanierungsfall durch entsprechende Zielpriorisierungen abbildbar.

Mit der letzten Frage zu den Erfolgsaussichten mit dem Verfahren, eine schlanke Produktion einzuführen, wird das Interview beendet. Im Gespräch wird die Schulnote zwei als

²⁴ PDCA (engl. Abkürzung für Plan-Do-Check-Act): wird auf Deutsch PTCA genannt. Es beinhaltet eine Systematik zur ständigen Verbesserung, wie es beim Kaizen auch angedacht ist, und bedeutet, dass in vier Abschnitten gearbeitet wird: Planen – Tun – Checken – Agieren. (vgl. hierzu [Kletti 2011], S. 76)

Gesamtbewertung vergeben. Außerdem wird betont, dass die Konzentration auf die Einführung einer Methode von hoher Bedeutung ist. Die Gefahr wäre hoch, dass mit der Einführung mehrerer Methoden die Umsetzungsgeschwindigkeit und -qualität leiden. Darüber hinaus wird dann nicht deutlich, welche Effekte von welcher Methode ausgehen würden. Diese Vorgehensweise, der Konzentration auf eine Methode, wird durch das Verfahren voll unterstützt, da hier eine schrittweise Einführung der Lean-Methoden vorgesehen ist. Des Weiteren wird mit der konsequenten Verfolgung der Verfahrensanweisungen sichergestellt, dass erst eine neue Methode eingeführt wird, wenn ein gewisser Reifegrad vorhanden ist. Durch die integrierte PDCA-Logik ist dann sogar gewährleistet, dass Veränderungen in messbare Verbesserungen münden. Das Fazit des Gesprächspartners ist, dass ein produzierendes Unternehmen sehr gut in der Lage sein sollte, mit diesem Verfahren selbständig den aktuellen eigenen Standort zu bestimmen als auch den nächsten erforderlichen Schritt für den Veränderungsprozess zu definieren.

6.4 Empfehlungen für die Umstrukturierung einer mehrstufigen TF

Mit den Ergebnissen aus dem aufgestellten Modell, aus den Aussagen der Experten und dem eigentlichen Verfahren wird deutlich, dass es keine Standardvorgehensweise gibt. Es wird daher für die Realisierung eines solchen Vorhabens ein siebenstufiges Verfahren empfohlen. Der verwendete Methodensatz für gerichtete Systeme ist bereits wissenschaftlich beschrieben. Der hergeleitete Methodensatz für die mehrstufige TF ist im Zuge der Befragung durch Lean-Experten bestätigt worden. Das entwickelte Verfahren zur Einführung einer schlanken Fertigung eignet sich sowohl für die gerichteten Systeme als auch für die mehrstufige TF. Der Verfahrensaufbau sowie dessen Inhalte sind im Zuge der Expertenbefragung ebenfalls positiv evaluiert worden.

Die Ergebnisse der verschiedenen Simulationsläufe zeigen, dass es wichtig ist, die Ausgangssituation zu analysieren. Es muss Klarheit hinsichtlich der bereits erreichten Umsetzungsgrade der einzelnen Methoden geben. Es empfiehlt sich, dafür die Unterstützung von erfahrenen externen Experten zu suchen, die die Ausgangssituation objektiv bewerten können und aufgrund ihres Erfahrungsschatzes anzugeben vermögen, wie gut einzelne Kriterien in ihren Merkmalen ausgeprägt sind bzw. wie gut Lean-Methoden bereits eingeführt worden sind.

Im nächsten Schritt sind die Ziele für die mehrstufige TF anzugeben: Was soll erreicht werden? Wo liegen die Prioritäten? Sind Liefertreue und Durchlaufzeit tatsächlich wichtiger als Produktivität? Wie sind die Ziele gegeneinander zu gewichten? Welche Merkmale besitzen wieviel Gewicht gegenüber anderen? Diese Fragen sind zu beantworten, um Klarheit zu erlangen, welchen Lean-Methoden später der Vorrang zu geben ist.

Schließlich kann durch die Ermittlung einer für das jeweilige Unternehmen idealen Methoden-Reihenfolge entwickelt werden, welches die Ziele des Unternehmens fördert. Dann kann mit der eigentlichen Umsetzungsarbeit begonnen werden.

In der vorliegenden Arbeit wurden die Themen zum Veränderungsprozess und zu den Anforderungen des sog. Change-Managements bewusst ausgegrenzt. Die Expertenaussagen zeigen jedoch, dass hier ein bedeutender Erfolgsfaktor vorliegt. Fast alle Gesprächspartner haben im Interview betont, dass es wichtig ist, die Mitarbeiter zu überzeugen, sie mitzunehmen und auszubilden. Bei Änderungen, die den eigenen Bereich betreffen und die von derart grundlegender Natur sind, wie es die Umsetzung der Lean-Prinzipien durch Einführung der vorgeschlagenen Lean-Methoden ist, sind häufig emotionale Ablehnung, Zweifel oder sogar Blockaden anzutreffen. Daher reicht es nicht aus, in einem kleinen, abgegrenzten Pilotbereich den Beweis anzutreten, dass das Vorhaben realisierbar ist. Es ist auch erforderlich, dass das eigene Team Erfahrungen mit den neuen Methoden sammelt und das Vertrauen gewinnt, dass es funktioniert. Diese Sicherheit lässt sich in einem kleinen, überschaubaren Bereich mit geringem Risiko erlangen.

7 Zusammenfassung und Ausblick

7.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die zentrale Frage „Wie können die Lean-Prinzipien in einer mehrstufigen TF zur Anwendung gebracht werden?“ wird durch die vorliegende Arbeit beantwortet. Die Lean-Prinzipien Muda, Mura, Muri und Kaizen stehen für grundsätzliche Ansatzpunkte der Lean-Welt. Die Vermeidung von Verschwendung bzw. die Konzentration auf die Wertschöpfung, auf gleichmäßige, verstetigte Abläufe bei gleichmäßiger Auslastung sind ihre Grundlage. Das regelmäßige Hinterfragen der aktuellen Situation mit dem Anspruch, sie weiter zu verbessern, wird durch das bekannte Lean-Prinzip Kaizen umschrieben. Die bekannten Lean-Methoden, die vor allem in gerichteten Systemen zum Einsatz kommen, unterstützen genau diese Prinzipien. Dieses Grundprinzip der ständigen Verbesserungsschleifen ist sogar im entwickelten Verfahren umgesetzt worden.

In der vorliegenden Arbeit wurden die bekanntesten und am häufigsten eingesetzten Lean-Methoden ausgewählt. Sie wirken auf unterschiedlichste Weise und auf den verschiedensten Ebenen eines Produktionssystems. Es gibt zum einen sehr allgemeine Methoden wie 5S und Standardisierung. Beide Methoden sind universell anwendbar und kommen an den unterschiedlichsten Stellen und Ebenen einer Produktion zum Einsatz. Andererseits gibt es Methoden wie Heijunka bzw. „Nivellieren und Glätten“ oder Pull, die bei ihrer Anwendung das Gesamtsystem nur in einer Ebene beeinflussen. Schließlich gibt es eine Reihe von Methoden, die an einzelnen Arbeitsplätzen eingeführt werden können. Dies sind zum Beispiel die Methoden SMED und TPM.

Bei der Anwendung des ausgewählten Methodenkatalogs für die gerichteten Systeme zeigt sich jedoch, dass die vielfältigen Anforderungen eben diese Methodenvielfalt erfordern und nur durch diese Vielfalt ein ganzheitlicher Ansatz möglich wird. Das Modell zur Darstellung der Wirkungsweisen in gerichteten Systemen wurde auf der Basis recherchierter Fallbeispiele entwickelt. Die Wirkungsweise der einzelnen Methoden des Methodenkatalogs wird aufgezeigt. Es wird nachgewiesen, dass die Ergebnisse der Fallbeispiele mit den Modellergebnissen vergleichbar sind. Somit liegt ein Modell vor, das die Möglichkeit bietet, bei gerichteten Systemen - unter Beachtung der Ziele und der Ausgangssituation - den nächsten notwendigen Schritt zur Realisierung einer Schlanke Fertigung zu ermitteln. Jedoch wird bei der Recherche gängiger Verfahren zur Einführung der Lean-Methoden bei gerichteten Systemen klar, dass sich kein einheitliches Vorgehen bei der Methodeneinführung erkennen lässt. Ebenso lässt sich mit Hilfe des ermittelten Modellverfahrens keine Überschneidung, kein Muster und kein Trend erkennen.

Basierend auf den Erkenntnissen der gerichteten Systeme, werden die Anforderungen der mehrstufigen TF ermittelt. Dafür werden konkrete Fallbeispiele mehrstufiger TF herangezogen und die Besonderheiten und Unterschiede gegenüber den gerichteten Systemen herausgearbeitet. Der umfangreiche Maschinenpark bietet verschiedenste Möglichkeiten, die vorliegende Teilevielfalt zu bewältigen. Die relativ geringe Anlagenproduktivität hat unterschiedliche Ursachen: sowohl aufwändige Rüstprozesse als auch unvorhersehbare technische Maschinenausfälle. Die Terminplanung für die Aufträge der Einzelteile gestaltet sich schwierig, da Vorgabezeiten nicht aktuell sind und aufgrund der vielfältigen Maschinenbeziehungen kein gerichteter Materialfluss vorliegt. Die Auftragsreihenfolge an den Maschinen unterliegt eher dem Zufall oder erfolgt nach aufwändigen Priorisierungsaktivitäten. Im Ergebnis entstehen bei unterschiedlichen Aufträgen stark streuende Liegezeiten und höchst unterschiedliche Durchlaufzeiten für die gleichen Teile. Das unbegrenzte Einplanen von Fertigungsaufträgen in umsatzstarken Phasen belastet die Situation in der TF zusätzlich. Relativ hohe Losgrößen und werkstatororientierte Fertigungsstrukturen mit vielen Fertigungsunterbrechungen für die Teile verschärfen die Situation in Bezug auf die Planbarkeit der Aufträge.

Der Vergleich der gerichteten Systeme mit den Systemen der mehrstufigen TF zeigt viele Parallelen auf, die es am Ende ermöglichen, bewährte Methoden einzusetzen bzw. sie im

Hinblick auf die besonderen Anforderungen der TF zu adaptieren. Der Methodenkatalog für gerichtete Systeme ist hinsichtlich dreier Methoden anzupassen. Ohne diese Anpassung ist eine sinnvolle Anwendung der Methoden in der Umgebung einer mehrstufigen TF nicht möglich. Schließlich wird aufgrund der Analyse der Fallbeispiele für die mehrstufige TF der Methodenkatalog durch weitere Methoden ergänzt: durch den Grad der Priorisierung der Aufträge und durch die Qualität der Planzeiten. Beide Methoden werden jedoch inhaltlich den Lean-Methoden zugeordnet. In der weiteren Reihenfolgebildung werden die Methoden zum Teil in einzelnen Schritten eingeführt. Dadurch wird eine feinere Aktivitätenplanung für die Umsetzung der Lean-Methoden ermöglicht.

Ausgehend von den Zielen, die Unternehmen verfolgen, werden mit Hilfe des erstellten Modells unterschiedliche Reihenfolgen zur Einführung der Lean-Methoden in der mehrstufigen TF ermittelt. Es zeigt sich, dass sich aus dem Modell bei leicht unterschiedlichen Zielen des Unternehmens bzw. bei unterschiedlichen Priorisierungen der Ziele andere Methodenreihenfolgen ergeben.

Im Zuge der Evaluierung der Erkenntnisse aus der vorliegenden Arbeit wurden den Interviewpartnern die verschiedenen Methodenreihenfolgen vorgestellt. Die Mehrheit der Interviewpartner favorisiert die Methodenreihenfolge, welche die typischen Ziele eines mittelständischen Unternehmens verfolgt. Die typischen Ziele einer mehrstufigen TF haben dagegen einen deutlich geringeren Zuspruch erfahren. Die weitere Diskussion mit den Interviewpartnern zeigt jedoch den ausgeprägten Wunsch, die individuelle Ausgangssituation des Unternehmens sowie die Priorisierung der Ziele im Modell abzubilden und auf dieser Grundlage eine individuelle Methodenreihenfolge zur Einführung der Lean-Methoden zu ermitteln. Mit dem entwickelten Verfahren ist es möglich, nach einer gründlichen Analyse der Ausgangssituation und einer Priorisierung der Ziele durch das jeweilige Unternehmen, das entweder zu den gerichteten Systemen gehört oder zur mehrstufigen TF, ein solche individuelle Reihenfolge zur Einführung der Lean-Methoden aufzustellen. Darüber hinaus bietet das Verfahren die Möglichkeit nach jeder eingeführten Methode den aktuellen Stand kritisch zu prüfen und damit die Methodenreihenfolge der aktuellen Unternehmenssituation anzupassen.

7.2 Reflektion der Ergebnisse

Die im Abschnitt 1.5 (vgl. S. 5) formulierten Ziele und Hypothesen sind mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit abzugleichen. Es ist kritisch zu prüfen, ob die Ziele erreicht wurden. Das erste Ziel der Arbeit besteht darin, die für eine mehrstufige TF geeigneten Lean-Methoden zu ermitteln. Dafür wurden umfangreiche Recherchen zu den bewährten Lean-Methoden und deren Wirkungsweisen durchgeführt. Die Literaturrecherche zu empfohlenen Lean-Methoden für eine mehrstufige TF führte zu dem Ergebnis, dass nur Einzellösungen beschrieben sind und kein umfassender Methodenkatalog für dieses Anwendungsgebiet. Die besonderen Anforderungen der mehrstufigen TF geben den Lösungsraum vor: eine hohe Variantenvielfalt und ein umfangreicher Teilemix, innerhalb des Teilemixes eine gewisse Losgrößenstreuung, die technologische Prozessunabhängigkeit und schließlich das Vermeiden vorgegebener Softwarelösungen. Darüber hinaus ist die Grundbedingung die Erfüllung der Lean-Prinzipien. Der Methodenkatalog für die mehrstufige TF wurde aufgestellt. Für wichtige Methoden wurde detailliert angegeben, welche Werkzeuge zur Anwendung kommen (vgl. hierzu den Abschnitt 5.2.2, S. 93 und den Abschnitt 0, S. 112).

Die erste Hypothese dieser Arbeit wurde damit bestätigt: Eine Teilmenge der bekannten Lean-Methoden kann in einer mehrstufigen TF angewendet werden, weil die Anforderungen vergleichbar sind. Der Methodenkatalog für die gerichteten Systeme umfasst 10 Methoden. Sie können in ihren Grundprinzipien alle für die mehrstufige TF übernommen werden. Die detaillierte Analyse der beiden Methodensätze zeigt, dass bei drei Methoden Anpassungen bzw. Änderungen vorgenommen wurden. Der Methodenkatalog wird für die mehrstufige TF zudem noch um zwei Methoden erweitert.

Ein weiteres Ziel dieser Arbeit besteht darin, die Wirkungsweisen der Lean-Methoden im Produktionssystem einer mehrstufigen TF aufzuzeigen. Auf der Grundlage umfangreicher Analysen konkreter Fallbeispiele wurden die Wirkungsweisen ermittelt. Diese Wirkungsweisen wurden durch ein Modell beschrieben, das speziell für die mehrstufige TF entwickelt wurde. In Simulationsläufen wird mit den Wirkungszusammenhängen und der Einführung der ausgewählten Lean-Methoden gearbeitet (vgl. hierzu den Abschnitt 5.3.1, S. 96 und den Abschnitt 5.3.2, S. 102).

Das dritte Ziel dieser Arbeit besteht in der Entwicklung eines Verfahrens zur Gestaltung einer mehrstufigen TF nach Lean-Prinzipien. Im Zuge der Untersuchung hat sich herausgestellt, dass es nicht eine einzige Methodenreihenfolge gibt. Bereits die Literaturrecherche deutet darauf hin, dass es nicht eine Reihenfolge noch ein standardisiertes Verfahren gibt, nach dem Lean-Methoden bei gerichteten Systemen eingeführt werden können. Aufgrund unterschiedlicher Ausgangssituationen und Zielprioritäten der Unternehmen ergeben sich unterschiedliche Anforderungen. Es ist mit Hilfe des Modells möglich, eine reproduzierbare, nachvollziehbare Entwicklung einer Methodenreihenfolge zu sichern. Im Zuge der vorliegenden Arbeit war es möglich ein standardisiertes Verfahren, welches sich für gerichtete Systeme als auch für mehrstufige TF eignet zu entwickeln. Im Verfahren enthalten ist die wichtige Ermittlung der Ausgangssituation und Ziel Priorisierung. Weiterhin wird mit Anwendung des Modells eine individuelle Methodenreihenfolge ermittelt. Schließlich wird mit typischen Ausgangssituationen und Ziel Prioritäten Vorschläge zur Methodenreihenfolge ermittelt, die Teil des verkürzten Verfahrens sind, wenn keine Kapazitäten oder Möglichkeiten zur Anwendung des Modells und der damit verbundenen Simulationsläufe vorliegen.

Somit wurde die zweite Hypothese der vorliegenden Arbeit ebenfalls bestätigt: Für ein Verfahren zur Einführung der Lean-Prinzipien in einer mehrstufigen TF sind die genaue Kenntnis der Ausgangssituation und der Ziele erforderlich. Diese Ausgangssituation ändert sich mit jeder Einführung einer Lean-Methode oder auch anderen Veränderungen, die außerhalb des Betrachtungsbereiches dieser Arbeit liegen. Daher ist im Verfahren die regelmäßige Anpassung der Ausgangssituation enthalten und damit das Kernprinzip Kaizen umgesetzt.

7.3 Ausblick

Aus der Bearbeitung des Themas ergeben sich zwei Aspekte für eine weitere vertiefende Betrachtung. Zum einen kann durch Identifikation typischer Unternehmensstrategien wie bspw. Sanierung oder Wachstum ein detaillierteres Verfahren hergeleitet werden. Dieses Verfahren sollte dann sowohl die Unternehmenskennzahlen als auch die Verfahrensschritte klar definieren als auch eine Methodenreihenfolge zur Einführung der Lean-Methoden beinhalten. Somit wäre eine detaillierte Vorgabe für unterschiedliche Ausgangssituationen möglich und würde eine Verbesserung gerade der Kurzversion des entwickelten Verfahrens ermöglichen.

Der zweite Aspekt für eine vertiefende Untersuchung besteht im Ausbau des entwickelten Modells hinsichtlich einer Kosten- und Nutzenberechnung der geplanten Maßnahmen. Zu diesem Zweck muss das Modell um ein Kostenmodul erweitert werden, um sowohl die Aufwände als auch die Nutzwerte zu berücksichtigen. Dann könnte die Reihenfolge der einzuführenden Maßnahmen auf der Grundlage der Nutzwerte festgelegt werden und könnte die unternehmerische Seite besser berücksichtigt werden.

Durch eine Erweiterung des vorliegenden Verfahrens um typische Unternehmensszenarien und einer Erweiterung des vorliegenden Modells um ein Kostenmodul wird eine umfassende Begleitung des Veränderungsprozesses in einem Unternehmen möglich. Schließlich sind auch noch die „weichen“ Themen in Beziehung zum Veränderungsprozess - die Schulung der Mitarbeiter, die Informationspolitik u.v.a.m. - zu berücksichtigen, um den Veränderungsprozess in der Fertigung erfolgreich zu vollziehen.

Ein zusätzlicher Aspekt für eine Untersuchung im Anschluss an die vorliegende Arbeit ist die Prüfung, für welche weiteren Typen von Produktionssystemen neue Modelle zu bilden wären. Bisher liegen nur Modelle für die gerichteten Systeme und für die mehrstufige TF vor. Für Unternehmen, die im Bereich des Anlagenbaus tätig sind, muss das Modell der mehrstufigen TF sicherlich angepasst werden. Für Unternehmen mit einer Produktion vom Typ der Großserienfertigung könnte man das Modell der gerichteten Systeme verwenden, um daraus ein entsprechendes Modell abzuleiten.

8 Literaturverzeichnis

- Amin 2013 Amin, MD Al; Karin, M. A.: A time-based quantitative approach for selecting lean strategies for manufacturing organizations, International Journal of Production Research, Vol. 51, No. 4, S. 1146-1167, 2013
- ATKearney 2014 <http://www.atkearney.com/de/web/global-excellence-in-operations/the-best>; 6.1.2014; 11:16 Uhr
- Bendeich 2001 Bendeich, Eugen: Methoden des Industrial Engineering – Entwicklungen, Anwendungen und Defizite, FB/IE 50, Vol. 5, S. 224-231, 2001
- Bhasin 2012 Bhasin, Sanjay: An appropriate change strategy for lean success, Management Decision, Vol. 50, No. 3, S. 439-458, 2012
- Bicheno 2004 Bicheno, John: The New Lean Toolbox: Towards Fast, Flexible Flow, PICSIE Books, Buckingham/UK, 2004
- Black 2007 Black, J. T.: Design rules for implementing the Toyota Production System, International Journal of Production Research, Vol. 45, No. 16, S. 3639-3664, 2007
- Bornhäuser 2005 Bornhäuser, M.; Lickefett, M.; Westkämper, E.: Taktorientierte Fertigungssteuerung, wt Werkstatttechnik online, Jahrgang 95, H. 5, S. 396-404, 2005
- Brown 2006 Brown, Charles B.; Collins, Terry R.; McCombs, Edward L.: Transformation From Batch to Lean Manufacturing: The Performance Issues, Engineering Management Journal, Vol. 18, No. 2, S. 3-13, 2006
- Chen 2010 Chen, Joseph C.; Li, Ye; Shady, Brett D.: From value stream mapping toward a lean/sigma continuous improvement process: an industrial case study, International Journal of Production Research, Vol. 48, No. 4, S. 1069-1086, 2010
- Chen 2013 Chen, Binchao; Matis, Timothy I.: A flexible dispatching rule for minimizing tardiness in job shop scheduling, International Journal of Production Economics, Vol. 141, S. 360-365, 2013
- Collins 2010 Collins, Jim: Der Weg zu den besten: Die sieben Management-Prinzipien für dauerhaften Unternehmenserfolg, Deutscher Taschenbuch Verlag, München, 2010
- Conner 2009 Conner, Gary: Lean manufacturing for the small shop, 2. Auflage, Society of Manufacturing Engineers, Dearborn/Michigan, 2009
- Danford 2010 Danford, Matt: From Job Shop Chaos to Lean Order, Modern Machine Shop, Vol. 83, No. 6, S. 60-67, 2010

- Deflorin 2012 Deflorin, Patricia; Scherrer-Rathje, Maike: Challenges in the transformation to lean production from different manufacturing-process choices: a path-dependent perspective, *International Journal of Production Research*, Vol. 50, No. 14, S. 3956-3973, 2012
- Dickmann 2007 Dickmann, Philipp (Hrsg.): *Schlanker Materialfluss: mit Lean Production, Kanban und Innovation*, Springer Verlag, Berlin [u.a.], 2007
- Doolen 2005 Doolen, Toni L.; Hacker, Maria E.: A Review of Lean Assessment in Organizations: An Exploratory Study of Lean Practices by Electronics Manufacturers, *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 24, No. 1, S. 55-67, 2005
- DUDEN 2010 Dudenredaktion: *Duden: Die deutsche Rechtschreibung: Das umfassende Standardwerk auf der Grundlage der aktuellen amtlichen Regeln*, 25. Auflage, Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus, Mannheim, 2010
- Duggan 2002 Duggan, Kevin J.: *Creating Mixed Model Value Streams: Practical Lean Techniques for Building to Demand*, Productivity Press, New York, 2002
- Dunkel 2008 Dunkel, Mathias: *Methodenentwicklung für Lean Remanufacturing*. In: *Fortschritte in Konstruktion und Produktion*, Band 9, Hrsg. Frank Rieg, Rolf Steinhilper; Shaker Verlag, Aachen, 2008
- Emiliani 2004 Emiliani, M. L.; Stec, D. J.: Leaders lost in transformation, *Leadership & Organization Development Journal*, Vol. 26, No. 5, S. 370-387, 2005
- Erlach 2007 Erlach, Klaus: *Wertstromdesign: Der Weg zur schlanken Fabrik*, Springer Verlag, Berlin [u.a.], 2007
- Festool Unternehmensarchiv Festool
- Festool Engineering GmbH interne Quelle
- Gröbner 2007 Gröbner, Michael: *Gemeinsamkeiten und Unterschiede von Just-in-time, Just-in-sequence und One-piece-flow-Fertigungskonzepten* in: *Schlanker Materialfluss mit Lean Production, Kanban und Innovationen*, Hrsg. Philipp Dickmann, Springer Verlag, Berlin [u.a.], 2007
- Haas 2014 Haas, Martin; Hahn, Michael; Schurr, Michael: *Mit Konsequenz zur Exzellenz: Wertschöpfung systematisch managen*, Log_X Verlag, Ludwigsburg, 2014
- Halmosi 2005 Halmosi, Hans; Löffler, Benno; Vollmer, Lars: *Wertstromdesign in der variantenreichen Produktion*, ZWF, Jahrg. 100 (2005) 1-2, Carl Hanser Verlag, München, 2005
- Hartmann 2003 Hartmann, Thorsten: *Ohne Verschwendung produzieren*, In: *Ganzheitlich produzieren: Innovative Organisation und Führung*, Hrsg. Dieter Spath, Log_X Verlag, Stuttgart, 2003

- Huber 2010 Huber, Matthias: Verfahren zur Grobplanung bei Einzel-, Serien- und Massenfertigung sowie die Integration in PPS-Systemen, GRIN Verlag, Norderstedt, 2010
- Hyer 2002 Hyer, Nancy; Wemmerlöv, Urban: Reorganizing the factory competing through cellular manufacturing, Productivity Press, New York, 2002
- Irani 2011 Irani, Shahrukh: Choosing What Works, Industrial Engineer, Vol. 43, No. 8, S. 42-47, 2011
- James 2006 James, Tony: Powering the transformation, IEE Manufacturing Engineer, www.iee.org/manufacturing 9.3.2014 12:30; S.26-31, 2006
- Jina 1997 Jina, Jay; Bhattacharya, Arindam K.; Walton, Andrew D.: Applying lean principles for high product variety and low volumes: some issues and propositions, Logistics Information Management, Vol. 10, No. 1, S. 5-13, 1997
- Jödicke 2012 Jödicke, Janine; Steven, Marion: Verbreitung von Ganzheitlichen Produktionssystemen im Mittelstand: Ergebnisse einer empirischen Studie über mittelständische Unternehmen in Nordrhein-Westfalen, ZWF, Jahr. 107, 1-2; S. 67-71, Carl Hanser Verlag, München, 2012
- Jödicke 2013 Jödicke, Janine: Ganzheitliche Produktionssysteme in mittelständischen Unternehmen: Eine empirische Untersuchung in Nordrhein-Westfalen, Verlag Dr. Kovač, Hamburg, 2013
- Karin 2013 Karin, Azharul; Arif-Zu-Zaman, Kazi: A methodology for effective implementation of lean strategies and its performance evaluation in manufacturing organizations, Business Process Management Journal, Vol. 19, No. 1, S. 169-196, 2013
- Kletti 2011 Kletti, Jürgen; Schumacher, Jochen: Die perfekte Produktion: Manufacturing Excellence durch Short Interval Technology (SIT), Springer-Verlag, Heidelberg (u.a.), 2011
- Klevers 2012 Klevers, Thomas: Agile Prozesse mit Wertstrom-Management: Ein Handbuch für Praktiker: Bestände abbauen, Durchlaufzeiten senken, flexibler reagieren, CETPM Publishing, Ansbach, 2012
- Kobayashi 1994 Kobayashi, Iwao: Die Japan Diät: 20 Schlüssel zum schlanken Unternehmen, Japan Service Verlag Moderne Industrie, Landsberg/Lech, 1994
- Krishnamurthy 2009 Krishnamurthy, Ananth; Suri, Rajan: Planning and implementing POLCA: a card-based control system for high variety or custom engineered products, Production Planning & Control, Vol. 20, No. 7, S. 596-610, 2009

- Krycha 1996 Krycha, Klaus-Thomas: Produktionstypologien, In: Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, Hrsg. W. Kern, 2. neu gestaltete Auflage, S. 1617-1629, Schäffer-Poeschel Verlag, Heidelberg, 1996
- Lane 2007 Lane, Greg: Made-to-Order Lean: Excelling in a High-Mix, Low-Volume Environment, Productivity Press, New York, 2007
- Laqua 2009 Laqua, Ingo: Die Rolle der ERP im Lean-Production-Umfeld, PPS Management, Ausgabe 14-2, S. 60-62, 2009
- Lasa 2009 Lasa, Ibon Serrano; de Castro, Rodolfo; Laburu, Carlos Ochoa: Extent the use of Lean concepts proposed for a value stream mapping application, Production Planning & Control, Vol. 20, No. 1, S. 82-98, 2009
- Lee 2007 Lee, Quaterman: Implementing lean manufacturing: Imitation to innovation, Institute of Management Services Journal, Vol. 51, No. 3, S.14-19, 2007
- Leikep 2007 Leikep, Sabine: Kaizen in den indirekten Bereichen, Hrsg. Dickmann, Philipp, Springer Verlag, Berlin [u.a.], 2007
- Li 2005 Li, Jing-Wen: Investigating the efficacy of exercising JIT practices to support pull production control in a job shop environment, Journal of Manufacturing Technology Management, Vol. 16, No. 7, S. 765-783, 2005
- Liebig 2009 Liebig, Doreen: Anwendung der Lean-Prinzipien bei der Gestaltung einer schlanken Teilefertigung, In: 7./8. IFF-Kolloquium: Forschung vernetzen – Innovation beschleunigen, Hrsg.: Michael Schenk, Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und Automatisierung IFF, Magdeburg, 2009
- Liker 2007 Liker, Jeffrey K.: Der Toyota Weg: 14 Managementprinzipien des weltweit erfolgreichsten Automobilkonzerns, 3. Auflage, Finanzbuch Verlag, München, 2007
- Liker 2007b Liker, Jefferey K.; Meier, David: Praxisbuch: Der Toyota Weg, 2. Auflage, Finanzbuch Verlag, München, 2007
- Lindner 2010 Lindner, Alexandra; Becker, Peter: Wertstromdesign, Carl Hanser Verlag, München, 2010
- Lödding 2008 Lödding, Hermann: Verfahren der Fertigungssteuerung, 2. Erweiterte Auflage, Springer Verlag, Berlin [u.a.], 2008
- Mager 2013 Mager, Horst Otto: Interview und schriftliche Befragung: Grundlagen und Methoden empirischer Sozialforschung, 6. überarbeitete Auflage, Oldenbourg Verlag, München, 2013
- Marodin 2013 Marodin, Giuliano Almeida; Saurin, Tarcisio Abreu: Implementing lean production systems: research areas and opportunities for future studies, International Journal of Production Research, Vol. 51, No. 22, S. 6663-6680, 2013

- Märtens 2007 Märtens, Adriana; Elsweier, Matthias; Isensee, Johannes: Adaptive, dezentrale Produktionssteuerung: Einsatz und Bewertung der RFID-Technologie, PPS Management, Ausgabe 12-3, S. 47-50, 2007
- Maskell 2003 Maskell, Brian H.; Baggalay, Bruce; Grasso, Larry: Practical Lean Accounting: A proven System for Measuring and Managing the Lean Enterprise, Productivity Press, Boca Raton /Florida, 2003
- Matthies 2002 Matthies, Michael: Einführung in die Systemwissenschaft WS 2002/2003, Vorlesungsskript Universität Osnabrück, Osnabrück, 2002
- Maurya 2013 Maurya, Ash: Running Lean – Das How-to für erfolgreiche Innovationen, O'Reilly Verlag, Köln, 2013
- Meißner 2007 Meißner, Sebastian; Grinninger, Jürgen: Durchlaufzeitstabilisierung in der Automobilindustrie: Methode der Analyse von Einflussgrößen auf die Auftragsreihenfolge, PPS Management, Ausgabe 12-1, S. 24-27, 2007
- Meuser 2005 Meuser, Michael; Nagel, Ulrike: Experteninterviews vielfach erprobt, wenig bedacht: Ein Beitrag zur qualitativen Methodendiskussion; In: Das Experteninterview: Theorie, Methode, Anwendung, 2. Auflage; Bogner, Alexander; Littig, Beate; Menz, Wolfgang (Hrsg.); VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, S. 71-93, 2005
- Monden 1998 Monden, Yasuhiro: Toyota Production System: An Integrated Approach to Just-In-Time, 3. Auflage, Engineering & Management Press, Norcross/Georgia, 1998
- Mühlfeld 1981 Mühlfeld, Claus; Windolf, Paul; Lampert, Norbert; Krüger, Heidi: Auswertungsprobleme offener Interviews; In: Soziale Welt, Jg. 32, S. 325-352, 1981
- Müller 2009 Müller, Egon; Riedel, Ralph; Kienzle, Florian: Schlanke Fertigungssteuerung in der Werkstattsteuerung, PPS Management, Ausgabe 14-2, S. 13-16, 2009
- Müller 2009-2 Müller, Egon; Riedel, Ralph; Kienzle, Florian: Zieltermine zuverlässig prognostizieren: Näherungsweise Durchlaufterminierung in der Einzel- und Kleinserienfertigung, Productivity Management, Nr. 4, S. 33-36, 2009
- Neb1 2001 Neb1, Theodor: Produktionswirtschaft, 4., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage, R. Oldenbourg Verlag, München [u.a.], 2001
- Nepal 2011 Nepal, Bimal P.; Yadav, Om Prakash; Solanki, Rajesh: Improving the NPD Process by Applying Lean Principles: A Case Study, Engineering Management Journal, Vol. 23 No. 1, S 52-68, 2011

- Netland 2013 Netland, Torbjørn: Exploring the phenomenon of company-specific production systems: one-best-way or own-best-way?, International Journal of Production Research, Vol. 51, No. 4, S. 1084-1097, 2013
- Neumann 2007 Neumann, Kai: Modelst Du schon – oder tappst Du noch im Dunkeln?, Books on Demand GmbH, Norderstedt, 2007
- Neumann 2009 Neumann, Kai: Know-Why: Management kapiert Komplexität: Wie und warum Manager mehr begreifen und sich weniger auf Best Practice verlassen müssen, Books on Demand GmbH, Norderstedt, 2009
- Neumann 2010 Neumann, Kai: Consideo-Modeler: so einfach wie Mind Mapping: Vernetztes Denken und Simulation, Books on Demand GmbH, Norderstedt, 2010
- Neumann 2013 Neumann, Kai: Qualitative und quantitative Ursache-Wirkungsmodellierung: Komplexitätsmanagement mit dem i-Modeler und der systematischen Know-why-Methode, Books on Demand, Kindle-Version Download www.amazon.de 21.2.2014; 20:45; 2013
- Nightingale 2002 Nightingale, Deborah J.; Mize, Joe H.: Development of a Lean Enterprise Transformation Maturity Model, Information – Knowledge – Systems Management, No. 3, S. 15-30, 2002
- Nölling 2008 Nölling, Karsten: Entwicklung einer Lean Manufacturing Toolbox für eine Beratungsfirma: Entwicklung und Bewertung einer Toolbox für den Bereich Produktionsoptimierung einer Beratungsunternehmung, VDM Verlag Dr. Müller, Saarbrücken, 2008
- Nyhuis 2003 Nyhuis, Peter; Wiendahl, Hans-Peter: Logistische Kennlinien: Grundlagen, Werkzeuge und Anwendungen, 2. erweiterte und neubearbeitete Auflage, Springer-Verlag, Berlin u.a., 2003
- Oeltjenbruns 2000 Oeltjenbruns, Henning: Organisation der Produktion nach dem Vorbild Toyotas: Analyse, Vorteile und detaillierte Voraussetzungen sowie die Vorgehensweise zur erfolgreichen Einführung am Beispiel eines globalen Automobilkonzerns, Hrsg. Uwe Bracht, Shaker Verlag, Aachen, 2000
- Ohno 2009 Ohno, Taiichi: Das Toyota-Produktions-System, 2. Überarbeitete Auflage, Campus Verlag, Frankfurt [u.a.], 2009
- Patel 2001 Patel, S.; Shaw, P.; Dale, B. G.: Set-up time reduction and mistake proofing methods: A study of application in a small company, Business Process Management Journal, Vol. 7, No. 1, S. 65-75, 2001
- Peters 2009 Peters, Kirstin; Scharff, Christian: Intelligente Produktionssteuerung mit verspätetem Feedback, PPS Management, Ausgabe 14-1, S. 33-36, 2009

- Porter 2010 Porter, Michael E.: Wettbewerbsvorteile: Spitzenleistungen erreichen und behaupten, 7. Auflage, Campus Verlag, Frankfurt am Main, S. 37-51, 2010
- Regber 2007 Regber, Holger; Zimmermann, Klaus: Change-Management in der Produktion, 2. aktualisierte und erweiterte Auflage, mi-Fachverlag, Landsberg am Lech, 2007
- Reinhart 2003 Reinhart, G.; Zäh, M. F.; Habicht, C.; Neise, P.: Einführung schlanker Produktionssysteme – Methoden und Vorgehensweisen, wt Werkstatttechnik online, 9-2003, S. 571-579, 2003
- Reitz 2007 Reitz, Andreas: Total Productive Maintenance in: Schlanker Materialfluss mit Lean Production, Kanban und Innovationen, Hrsg. Dickmann, Philipp, Springer Verlag, Berlin [u.a.], 2007
- Rohde & Schwarz <http://www.produktion.de/produktivitaet/wer-sich-nicht-misst-der-wird-nie-wissen-wo-er-steht/>; 7.12.2014, 18:13
- Romberg 2010 Romberg, Andreas: Schlank entwickeln, schnell am Markt: Wettbewerbsvorteile durch Lean Development, Log_X Verlag, Ludwigsburg, 2010
- Rother 2003 Rother, Mike; Shook, John: Learning to see: Value-Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda, Version 1.3, Hrsg. The Lean Enterprise Institute, Brookline/Massachusetts, 2003
- Rother 2009 Rother, Mike: Die Kata des Weltmarktführers: Toyotas Erfolgsmethoden, Campus Verlag, Frankfurt am Main, 2009
- Saurin 2011 Saurin, Tarcisio Abreu; Marodin, Guillano Almeida; Ribeiro, José Luis Duarte: A framework for assessing the use of lean production practices in manufacturing cells, International Journal of Production Research, Vol. 49, No. 11, S. 3211-3230, 2011
- Schumacher 2007 Schumacher, Georg: Untersuchung und Anwendung der Wertstrommethode zur Optimierung der Material- und Informationsflüsse am Beispiel eines Zulieferers der Robert Bosch GmbH, Diplomica GmbH, Hamburg, 2007
- Sels 2012 Sels, Veronique; Gheysen, Nele; Vanhoucke, Mario: A comparison of priority rules for the job shop scheduling problem under different flow time- and tardiness-related objective functions, International Journal of Production Research, Vol. 50, No. 15, S. 4255-4270, 2012
- Shah 2003 Shah, Rachna; Ward, Peter T.: Lean Manufacturing: context, bundles and performance, Journal of Operations Management 21, S. 129-149, 2003
- Shah 2007 Shah, Rachna; Ward, Peter T.: Defining and developing measures of lean production, Journal of Operations Management 25, S. 785-805, 2007

- Shingo 1992 Shingo, Shigeo: Das Erfolgsgeheimnis der Toyota Produktion: Eine Studie über das Toyota-Produktionssystem – genannt die "Schlanke Produktion", Hrsg. Reinhard Hesse, Verlag moderne industrie AG, Landsberg/Lech, 1992
- Silit <http://www.produktion.de/top-story/silit-werk-riedlingen-288-genies-zu-einem-team-verschmolzen/>, 7.12.2014, 18:19
- Singh 2009 Singh, Bikram Jit; Khanduja, Dinesh: SMED: for quick changeovers in foundry SMEs, International Journal of Productivity and Performance Management, Vol. 59 No. 1, S. 98-116, 2009
- Singh 2010 Singh, Bhim; Garg, S. K.; Sharma, S. K.; Grewal, Chandandeep: Lean implementation and its benefits to production industry, International Journal of Lean Six Sigma, Vol. 1, No. 2, S. 157-168, 2010
- Slomp 2009 Slomp, Jannes; Bokhorst, Jos A. C.; Germs, Remco: A lean production control system for high-variety/low-volume environments: a case study implementation, Production Planning & Control, Vol. 20, No. 7, S. 586-595, 2009
- Smalley 2005 Smalley, Art: Produktionssysteme glätten: Anleitung zur Lean Production nach dem Pull-Prinzip – angepasst an die Kundennachfrage, Lean Management Institut, Aachen, 2005
- Specht 2009 Specht, Dieter; Gruß, Renata: Lean Production: Anwendungsvoraussetzungen in der Einzelfertigung, Productivity Management, Ausgabe 14-4, S. 58-61, 2009
- Sprengholz 2011 Sprengholz, Philipp: Lean Software Development: Kundenzentrierte Softwareentwicklung durch Anwendung schlanker Prinzipien, Akademische Verlagsgemeinschaft München, München, 2011
- Straub 2001 Straub, Walter G.; Forchhammer, Lorenz S.; Brachinger-Franke, Ludovica: Bereit zur Veränderung: Unwege der Projektarbeit, Windmühle GmbH, Hamburg, 2001
- Takeda 1995 Takeda, Hitoshi: Das synchrone Produktionssystem: Just-in-time für das ganze Unternehmen, Verlag Moderne Industrie, Landsberg, 1995
- Takeda 2004 Takeda, Hitoshi: Das synchrone Produktionssystem: Just-in-time für das ganze Unternehmen, 4. Auflage, Redline Wirtschaft, Frankfurt am Main, 2004
- Thun 2010 Thun, Jörn-Henrik; Drüke, Martin; Grübner, André: Empowering Kanban through TPS-principles – an empirical analysis of the Toyota Production System, International Journal of Production Research, Vol. 49, No. 23, S. 7089-7106, 2010

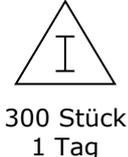
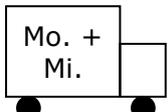
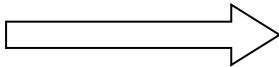
- Thürer 2012 Thürer, Matthias; Silva, Cristovao; Stevenson, Mark; Land, Martin: Improving the applicability of workload control (WLC): the influence of sequence-dependent set-up times on workload controlled jobs, *International Journal of Production Research*, Vol. 50, No. 22, S. 6419-6430, 2012
- Veit 2010 Veit, Martin: Modelle und Methoden für die Bestandsauslegung in Heijunka-nivellierten Supply Chains, In: *Wissenschaftliche Berichte des Instituts für Fördertechnik und Logistiksysteme des Karlsruher Instituts für Technologie*, Band 74, KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 2010
- Vester 2000 Vester, Frederic: Die Kunst vernetzt zu denken: Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität, 5. Auflage, Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart, 2000
- Vinod 2009 Vinod, V.; Sridharan, R.: Simulation-based metamodels for scheduling a dynamic job shop with sequence-dependent setup-times, *International Journal of Production Research*, Vol. 47, No. 6, S. 1425-1447, 2009
- Vinod 2011 Vinod, V.; Sridharan, R.: Simulation modeling and analysis of due-date assignment methods and scheduling decision rules in a dynamic job shop production system, *International Journal of Production Economics*, Vol. 129, S. 127-146, 2011
- Wan 2009 Wan, Hung-da; Chen, F. Frank: Decision support for lean practitioners: A web-based adaptive assessment approach, *Computers in Industry* 60, S. 277-283, 2009
- Weiss 2005 Weiss, Christoph: *Verdammt zur Spitzenleistung: Ein Arbeitsbuch für Unternehmer*, Unternehmer Medien GmbH, Bonn, 2005
- Weng 2006 Weng, Michael X.; Ren, Haiying: An efficient priority rule for scheduling job shops to minimize mean tardiness, *IIE Transactions*, Vol. 38, S. 789-795, 2006
- Westkämper 2006 Westkämper, Engelbert; Warnecke, Hans-Jürgen: *Einführung in die Fertigungstechnik*, Teubner, Wiesbaden, 2006
- Westkämper 2006B Westkämper, Engelbert: *Einführung in die Organisation der Produktion*, Springer Verlag, Berlin [u.a.], 2006
- Wiegand 2004 Wiegand, Bodo: *Lean Administration I: So werden Geschäftsprozesse transparent. Schritt 1: Die Analyse*, Verlag Lean Management Institut, Aachen, 2004
- Wiegand 2007 Wiegand, Bodo: *Lean Administration II: Die Optimierung. So managen Sie Geschäftsprozesse richtig*, Verlag Lean Management Institut, Aachen, 2007
- Womack 2003 Womack, James P.; Jones, Daniel T.: *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*, Simon&Schuster, London [u.a.], 2003

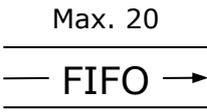
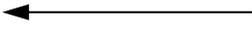
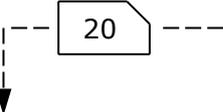
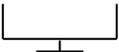
- Womack 2007 Womack, James P.; Jones, Daniel T.; Roos, Daniel: The machine that changed the world, überarbeitete Auflage, Free Press, New York, 2007
- Zelinski 2004 Zelinski, Peter: Lean Manufacturing For The Job Shop, Modern Machine Shop, Vol. 80, No. 7, S. 66-70, 2004

9 Anhang

9.1 Wertstromsymbole und ihre Bedeutung

Tabelle 49: Auswahl der wichtigsten Wertstromsymbole (vgl. [Rother 2003])

Symbol	Bezeichnung	Bedeutung
	Prozess	Mit Hilfe des Prozesssymbols werden in der Fertigung Produktionsschritte abgebildet. Zusätzliche Daten wie Zykluszeit, Rüstzeit, Anzahl der Schichten u.v.a.m. werden im unteren Datenfeld angegeben.
	externer Partner	Dieses Symbol kann sowohl für Kunden als auch Lieferanten oder Kooperationspartner verwendet werden. Es signalisiert in erster Linie, dass es sich hierbei um ein anderes Unternehmen handelt.
	ungesteuerter Bestand	Das Bestandssymbol versinnbildlicht Puffer, die nicht über die tatsächlichen Bedarfe, sondern über definierte Pläne gesteuert werden. Die Anzahl der ermittelten Teile im Puffer wird durch den durchschnittlichen Verbrauch dividiert. So ermittelt man die durchschnittliche Reichweite des aktuellen Bestands.
	Transporte zu externen Partnern	Die Transporte zu externen Partnern und ihre Häufigkeiten werden mit Hilfe des LKW-Symbols dargestellt.
	Materialweitergabe nach Push-Logik	Die Weitergabe von Material innerhalb der Fertigung, die nach einem definierten Plan, anstatt nach den echten Bedarfen erfolgt, wird in der Lean-Logik Push genannt. Dieses Symbol gehört logisch zum Symbol „ungesteuerter Bestand“.
	Transfer von Fertigware zum Kunden	Dieser Pfeil - ohne Schraffur - wird für den Warentransport zum Kunden eingesetzt.
	Supermarkt	Dieses Piktogramm stellt einen gesteuerten Bestandspuffer dar und wird damit der Pull-Logik zugeordnet. Der Bestand ist für jedes Teil mit einer maximalen Menge definiert.
	Materialentnahme nach dem Pull-Prinzip	Der nachfolgende Prozess entnimmt vom vorgelagerten Materialpuffer nach Bedarf die Teile, die benötigt werden.

Symbol	Bezeichnung	Bedeutung
	FIFO-Bahn	FIFO bedeutet in diesem Zusammenhang First-in-first-out: Was zuerst in den Bereich eintritt, verlässt diesen auch als erstes. Die FIFO-Bahn ist eine alternative Materialweitergabe nach dem Pull-Prinzip zur Kombination von Supermarkt und Materialentnahme im Pull-Prinzip. Die FIFO-Bahn hat eine definierte Materialmenge sowie eine Materialreihenfolge.
	manueller Informationsfluss	Informationen werden von einem Prozess zum nächsten in Papierform oder sogar mündlich weitergegeben.
	elektronischer Informationsfluss	Informationen werden in elektronischer Form (z.B. per Email, EDI-Schnittstelle oder ähnliches) weitergegeben.
	Informationstafel	Dieses Symbol versinnbildlicht eine Informationstafel, die physisch im Unternehmen aufgestellt ist und regelmäßig aktualisiert wird.
	Weitergabe von Kanban-Karten	Der verbrauchende Prozess gibt die Kanban-Karten des verbrauchten Materials an den liefernden Prozess weiter und signalisiert damit den Bedarf zur Nachproduktion.
	Nivellieren und Glätten	Das Symbol zeigt an, dass an dieser Stelle im Wertstrom die Mengen und Varianten gleichmäßig verteilt werden, sodass im regelmäßigen Wechsel alle benötigten Teile produziert werden.
	manuelle Prüfung vor Ort	Die Brille versinnbildlicht das manuelle Prüfen eines Vorgangs vor Ort mit den damit verbundenen erforderlichen Eingriffe in das System.
	Briefkasten	Dies ist ein Punkt für die Informationsübergabe, der z.B. für Kanban-Karten genutzt wird, die vom verbrauchenden Prozess zurückgesendet und an einem definierten Ort gesammelt werden.

9.2 Abgrenzung Mittelstand

Tabelle 50: Abgrenzung Mittelstand (vgl. [Jödicke 2013], S. 17)

Abgrenzungskriterien Unternehmensgrößenklassen	Anzahl der Mitarbeiter			Umsatz (Mio. Euro)			Bilanzsumme (Mio. Euro)		
	EU	IfM	HGB	EU	IfM	HGB	EU	IfM	HGB
Kleinstunternehmen	<10	x	X	<2	x	X	<2	X	X
Kleinunternehmen	<50	<10	<50	<10	<1	<9,68	<10	X	<4,84
Mittlere Unternehmen	<250	<500	<250	<50	<50	<38,5	<43	X	<19,25
Großunternehmen	≥250	≥500	≥250	≥50	≥50	≥38,5	≥43	X	≥19,25

9.3 Detaillierte Simulationsergebnisse gerichtete Systeme

Tabelle 51: Simulationsergebnisse gerichtete Systeme Ausgangssituation

Zeit	1	1-2	1-5	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	13
1	0,03	-0,16	0,16	0	0			0,1	0	0,15	-0,08	-0,02	0,12	0,01
2	0,03	-0,16	0,16	0	0			0,1	0	0,15	-0,1	-0,02	0,12	0,01
3	0,09	-0,21	0,18	0,1	0,06	0	0	0,16	0,1	0,16	-0,25	-0,07	0,21	0,12
4	0,09	-0,21	0,18	0,1	0,06	0	0	0,16	0,1	0,16	-0,25	-0,07	0,21	0,12
5	0,09	-0,21	0,18	0,1	0,06	0	0	0,17	0,1	0,17	-0,28	-0,08	0,21	0,13
6	0,11	-0,22	0,18	0,15	0,15	0,01	0,01	0,14	0,12	0,2	-0,28	-0,13	0,22	0,15
7	0,11	-0,22	0,18	0,15	0,15	0,01	0,01	0,14	0,12	0,2	-0,28	-0,13	0,22	0,15
8	0,11	-0,22	0,18	0,15	0,16	0,02	0,02	0,14	0,12	0,2	-0,29	-0,14	0,22	0,15
9	0,11	-0,22	0,18	0,15	0,18	0,03	0,03	0,14	0,12	0,2	-0,29	-0,14	0,22	0,15
10	0,11	-0,22	0,18	0,15	0,18	0,03	0,03	0,14	0,12	0,2	-0,29	-0,14	0,22	0,15
11	0,11	-0,22	0,18	0,15	0,19	0,03	0,03	0,14	0,12	0,21	-0,29	-0,14	0,22	0,15
12	0,11	-0,22	0,18	0,15	0,19	0,03	0,03	0,14	0,12	0,21	-0,29	-0,14	0,22	0,16
13	0,11	-0,22	0,18	0,15	0,19	0,03	0,03	0,14	0,12	0,21	-0,29	-0,14	0,22	0,16
14	0,11	-0,22	0,18	0,15	0,19	0,03	0,03	0,14	0,12	0,21	-0,29	-0,14	0,22	0,16
15	0,11	-0,22	0,18	0,15	0,19	0,03	0,03	0,14	0,12	0,21	-0,29	-0,14	0,22	0,16
16	0,11	-0,22	0,18	0,15	0,19	0,03	0,03	0,14	0,12	0,21	-0,29	-0,14	0,22	0,16
17	0,11	-0,22	0,18	0,15	0,19	0,03	0,03	0,14	0,12	0,21	-0,29	-0,14	0,22	0,16
18	0,11	-0,22	0,18	0,15	0,19	0,03	0,03	0,14	0,12	0,21	-0,29	-0,14	0,22	0,16
19	0,11	-0,22	0,18	0,15	0,19	0,03	0,03	0,14	0,12	0,21	-0,29	-0,14	0,22	0,16

Tabelle 52: Werte der Faktoren in der Ausgangssituation und nach Optimierung (eingeschwungenes System)

Variable	Ausgangssituation 0.2	Optimierung 1.0
1 Mitarbeiterproduktivität	0,11	0,55
1-2 Varianz bei der Ausführung der Aufgaben	-0,22	-1,09
1-5 Arbeiten im Takt	0,18	0,91
2 Qualität des Bestandsniveaus	0,15	0,77
3 Flächenproduktivität	0,19	0,97
4 Planbarkeit der Aufträge - Zuverlässigkeit	0,03	0,14
5 Liefertreue	0,03	0,14
6 Anlagenproduktivität	0,14	0,7
7 Produktionsflexibilität	0,12	0,61
8 5S-Niveau der Fertigung	0,21	1,03
9 Umlaufbestand	-0,29	-1,47
11 Durchlaufzeit	-0,14	-0,72
12 Leistungsniveau der Logistik	0,22	1,09
13 Qualität beim Nivellieren und Glätten	0,16	0,79

9.4 Ergebnisse der Simulationsläufe zur Evaluierung des Modells für gerichtete Systeme

Tabelle 53: Ergebnis Simulationslauf Optimierung Variable 6-2 „Qualität Rüstablauf“

Variablen	Ausgangs- situation	Optimierung	Veränderung
1 Mitarbeiterproduktivität	0,11	0,15	36%
1-2 Varianz bei der Ausführung der Aufgaben	-0,22	-0,33	50%
1-5 Arbeiten im Takt	0,18	0,22	22%
2 Qualität des Bestandsniveaus	0,15	0,26	73%
2-3 Pull-Umsetzungsgrad	0,20	0,48	140%
3 Flächenproduktivität	0,19	0,35	84%
4 Planbarkeit der Aufträge - Zuverlässigkeit	0,03	0,05	67%
5 Liefertreue	0,03	0,05	67%
6 Anlagenproduktivität	0,14	0,42	200%
7 Produktionsflexibilität	0,12	0,19	58%
8 5S-Niveau der Fertigung	0,21	0,41	95%
9 Umlaufbestand	-0,29	-0,52	79%
11 Durchlaufzeit	-0,14	-0,25	79%
12 Leistungsniveau der Logistik	0,22	0,35	59%
13 Qualität beim Nivellieren und Glätten	0,16	0,20	25%

Tabelle 54: Ergebnis Simulationslauf Optimierung Variable 6-3 „Qualität der Wartungsaktivitäten“

Variablen	Ausgangs-situation	Optimierung	Veränderung
1 Mitarbeiterproduktivität	0,11	0,13	18%
1-2 Varianz bei der Ausführung der Aufgaben	-0,22	-0,27	23%
1-5 Arbeiten im Takt	0,18	0,20	11%
2 Qualität des Bestandsniveaus	0,15	0,26	73%
2-3 Pull-Umsetzungsgrad	0,20	0,20	0%
3 Flächenproduktivität	0,19	0,31	63%
4 Planbarkeit der Aufträge - Zuverlässigkeit	0,03	0,04	33%
5 Liefertreue	0,03	0,04	33%
6 Anlagenproduktivität	0,14	0,43	207%
7 Produktionsflexibilität	0,12	0,19	58%
8 5S-Niveau der Fertigung	0,21	0,39	86%
9 Umlaufbestand	-0,29	-0,41	41%
11 Durchlaufzeit	-0,14	-0,19	36%
12 Leistungsniveau der Logistik	0,22	0,26	18%
13 Qualität beim Nivellieren und Glätten	0,16	0,18	13%

Tabelle 55: Ergebnis Simulationslauf Optimierung Variable 1-3 „Bewusstsein und Aktivität für Standardisierung“

Variablen	Ausgangs-situation	Optimierung	Veränderung
1 Mitarbeiterproduktivität	0,11	0,22	100%
1-2 Varianz bei der Ausführung der Aufgaben	-0,22	-0,49	123%
1-5 Arbeiten im Takt	0,18	0,28	56%
2 Qualität des Bestandsniveaus	0,15	0,16	7%
2-3 Pull-Umsetzungsgrad	0,20	0,20	0%
3 Flächenproduktivität	0,19	0,22	16%
4 Planbarkeit der Aufträge - Zuverlässigkeit	0,03	0,03	0%
5 Liefertreue	0,03	0,03	0%
6 Anlagenproduktivität	0,14	0,15	7%
7 Produktionsflexibilität	0,12	0,13	8%
8 5S-Niveau der Fertigung	0,21	0,22	5%
9 Umlaufbestand	-0,29	-0,36	24%
11 Durchlaufzeit	-0,14	-0,17	21%
12 Leistungsniveau der Logistik	0,22	0,22	0%
13 Qualität beim Nivellieren und Glätten	0,16	0,17	6%

Tabelle 56: Ergebnis Simulationslauf Optimierung Variable 1-4 „Qualität der Abtaktung“

Variablen	Ausgangs-situation	Optimierung	Veränderung
1 Mitarbeiterproduktivität	0,11	0,17	55%
1-2 Varianz bei der Ausführung der Aufgaben	-0,22	-0,22	0%
1-5 Arbeiten im Takt	0,18	0,46	156%
2 Qualität des Bestandsniveaus	0,15	0,16	7%
2-3 Pull-Umsetzungsgrad	0,20	0,20	0%
3 Flächenproduktivität	0,19	0,21	11%
4 Planbarkeit der Aufträge - Zuverlässigkeit	0,03	0,03	0%
5 Liefertreue	0,03	0,03	0%
6 Anlagenproduktivität	0,14	0,15	7%
7 Produktionsflexibilität	0,12	0,12	0%
8 5S-Niveau der Fertigung	0,21	0,21	0%
9 Umlaufbestand	-0,29	-0,33	14%
11 Durchlaufzeit	-0,14	-0,15	7%
12 Leistungsniveau der Logistik	0,22	0,22	0%
13 Qualität beim Nivellieren und Glätten	0,16	0,16	0%

Tabelle 57: Ergebnis Simulationslauf Optimierung Variable 12-2 „Niveau Trennung von Wertschöpfung und Logistik“

Variablen	Ausgangs-situation	Optimierung	Veränderung
1 Mitarbeiterproduktivität	0,11	0,17	55%
1-2 Varianz bei der Ausführung der Aufgaben	-0,22	-0,36	64%
1-5 Arbeiten im Takt	0,18	0,23	28%
2 Qualität des Bestandsniveaus	0,15	0,16	7%
2-3 Pull-Umsetzungsgrad	0,20	0,20	0%
3 Flächenproduktivität	0,19	0,21	11%
4 Planbarkeit der Aufträge - Zuverlässigkeit	0,03	0,04	33%
5 Liefertreue	0,03	0,04	33%
6 Anlagenproduktivität	0,14	0,15	7%
7 Produktionsflexibilität	0,12	0,13	8%
8 5S-Niveau der Fertigung	0,21	0,21	0%
9 Umlaufbestand	-0,29	-0,33	14%
11 Durchlaufzeit	-0,14	-0,21	50%
12 Leistungsniveau der Logistik	0,22	0,49	123%
13 Qualität beim Nivellieren und Glätten	0,16	0,19	19%

Tabelle 58: Ergebnis Simulationslauf Optimierung Variable 10 „Qualität des Fertigungsflusses“

Variablen	Ausgangs-situation	Optimierung	Veränderung
1 Mitarbeiterproduktivität	0,11	0,20	82%
1-2 Varianz bei der Ausführung der Aufgaben	-0,22	-0,37	68%
1-5 Arbeiten im Takt	0,18	0,39	117%
2 Qualität des Bestandsniveaus	0,15	0,16	7%
2-3 Pull-Umsetzungsgrad	0,20	0,48	140%
3 Flächenproduktivität	0,19	0,36	89%
4 Planbarkeit der Aufträge - Zuverlässigkeit	0,03	0,07	133%
5 Liefertreue	0,03	0,07	133%
6 Anlagenproduktivität	0,14	0,09	-36%
7 Produktionsflexibilität	0,12	0,3	150%
8 5S-Niveau der Fertigung	0,21	0,29	38%
9 Umlaufbestand	-0,29	-0,72	148%
11 Durchlaufzeit	-0,14	-0,34	143%
12 Leistungsniveau der Logistik	0,22	0,49	123%
13 Qualität beim Nivellieren und Glätten	0,16	0,24	50%

Tabelle 59: Ergebnis Simulationslauf Optimierung Variable 8-2 „Bewusstsein und Aktivität für 5S“

Variablen	Ausgangs-situation	Optimierung	Veränderung
1 Mitarbeiterproduktivität	0,11	0,15	36%
1-2 Varianz bei der Ausführung der Aufgaben	-0,22	-0,30	36%
1-5 Arbeiten im Takt	0,18	0,21	17%
2 Qualität des Bestandsniveaus	0,15	0,17	13%
2-3 Pull-Umsetzungsgrad	0,20	0,20	0%
3 Flächenproduktivität	0,19	0,27	42%
4 Planbarkeit der Aufträge - Zuverlässigkeit	0,03	0,03	0%
5 Liefertreue	0,03	0,03	0%
6 Anlagenproduktivität	0,14	0,20	43%
7 Produktionsflexibilität	0,12	0,14	17%
8 5S-Niveau der Fertigung	0,21	0,49	133%
9 Umlaufbestand	-0,29	-0,33	14%
11 Durchlaufzeit	-0,14	-0,17	21%
12 Leistungsniveau der Logistik	0,22	0,27	23%
13 Qualität beim Nivellieren und Glätten	0,16	0,17	6%

Tabelle 60: Ergebnis Simulationslauf Optimierung Variable 2-2 „Umfang eingesetzter Pull-Methoden“

Variablen	Ausgangs-situation	Optimierung	Veränderung
1 Mitarbeiterproduktivität	0,11	0,13	18%
1-2 Varianz bei der Ausführung der Aufgaben	-0,22	-0,27	23%
1-5 Arbeiten im Takt	0,18	0,20	11%
2 Qualität des Bestandsniveaus	0,15	0,43	187%
2-3 Pull-Umsetzungsgrad	0,20	0,48	140%
3 Flächenproduktivität	0,19	0,33	74%
4 Planbarkeit der Aufträge - Zuverlässigkeit	0,03	0,04	33%
5 Liefertreue	0,03	0,04	33%
6 Anlagenproduktivität	0,14	0,13	-7%
7 Produktionsflexibilität	0,12	0,13	8%
8 5S-Niveau der Fertigung	0,21	0,23	10%
9 Umlaufbestand	-0,29	-0,40	38%
11 Durchlaufzeit	-0,14	-0,20	43%
12 Leistungsniveau der Logistik	0,22	0,32	45%
13 Qualität beim Nivellieren und Glätten	0,16	0,18	13%

Tabelle 61: Ergebnis Simulationslauf Optimierung Variable 13-2 „Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters“

Variablen	Ausgangs-situation	Optimierung	Veränderung
1 Mitarbeiterproduktivität	0,11	0,11	0%
1-2 Varianz bei der Ausführung der Aufgaben	-0,22	-0,23	5%
1-5 Arbeiten im Takt	0,18	0,19	6%
2 Qualität des Bestandsniveaus	0,15	0,23	53%
2-3 Pull-Umsetzungsgrad	0,20	0,20	0%
3 Flächenproduktivität	0,19	0,27	42%
4 Planbarkeit der Aufträge - Zuverlässigkeit	0,03	0,04	33%
5 Liefertreue	0,03	0,04	33%
6 Anlagenproduktivität	0,14	0,12	-14%
7 Produktionsflexibilität	0,12	0,26	117%
8 5S-Niveau der Fertigung	0,21	0,23	10%
9 Umlaufbestand	-0,29	-0,43	48%
11 Durchlaufzeit	-0,14	-0,19	36%
12 Leistungsniveau der Logistik	0,22	0,22	0%
13 Qualität beim Nivellieren und Glätten	0,16	0,58	263%

9.5 Gewichtung der Kriterien zur Ermittlung der Methodenreihenfolge für gerichtete Systeme

Tabelle 62: Gewichtung der Kategorien zur Bewertung der Simulationsschritte

Kategorie	Bewertung in Umfrage			Gewichtung
	Sehr hoch (Faktor 2)	Mittel (Faktor 1)	Summe	
Produktivität	70,5% * 2 = 141	18,3% * 1 = 18,3	159,3	1,019
Liefertreue	67,6% * 2 = 135,2	22,5% * 1 = 22,5	157,7	1,008
Kosten- einsparung (Bestand)	66,2% * 2 = 132,4	23,9% * 1 = 23,9	156,3	1,000

9.6 Simulationsergebnisse zum Herleiten der Methodenreihenfolge für gerichtete Systeme

Tabelle 63: Variablenbezeichnung als Überblick für Simulationsläufe

1	Mitarbeiterproduktivität
1-2	Varianz bei der Ausführung der Aufgaben
1-5	Arbeiten im Takt
7	Produktionsflexibilität
8	5S-Niveau der Fertigung
9	Umlaufbestand
2	Qualität des Bestandsniveaus
11	Durchlaufzeit
12	Leistungsniveau der Logistik
3	Flächenproduktivität
13	Qualität beim Nivellieren und Glätten
5	Liefertreue
6	Anlagenproduktivität
4	Planbarkeit der Aufträge – Zuverlässigkeit
2-3	Pull Umsetzungsgrad

Tabelle 64: Simulationsläufe Stufe 1

Stufe 1: Optimierung Var. 6-2 Qualität: Rüsttablauf																								
Variable	Ausgangs- zustand		Änderung 01		Änderung 02		Änderung 03		Änderung 04		Änderung 05		Änderung 06		Änderung 07		Änderung 08		Änderung 09					
	Var 1-3	Δ [%]	Var 1-4	Δ [%]	Var 1-4	Δ [%]	Var 2-2	Δ [%]	Var 2-2	Δ [%]	Var 6-2	Δ [%]	Var 6-3	Δ [%]	Var 8-2	Δ [%]	Var 10	Δ [%]	Var 12-2	Δ [%]	Var 13-2	Δ [%]		
1	0,11	0,22	100	0,17	55	0,13	18	0,13	18	0,15	36	0,13	18	0,15	36	0,2	36	0,17	55	0,11	55	0,11	0	
1-2	-0,22	-0,49	123	-0,22	0	-0,27	23	-0,27	23	-0,33	50	-0,27	23	-0,3	36	-0,37	36	-0,36	64	-0,23	64	-0,23	5	
1-5	0,18	0,28	56	0,46	156	0,2	11	0,22	22	0,22	22	0,2	11	0,21	17	0,39	117	0,23	28	0,19	28	0,19	6	
2	0,15	0,16	7	0,16	7	0,43	187	0,43	187	0,26	73	0,26	73	0,17	13	0,16	13	0,16	7	0,23	7	0,23	53	
2-3	0,2	0,2	0	0,2	0	0,13	-35	0,13	-35	0,48	140	0,2	0	0,2	0	0,48	0	0,2	0	0,2	0	0,2	0	
3	0,19	0,22	16	0,21	11	0,33	74	0,33	74	0,35	84	0,31	63	0,27	42	0,36	89	0,21	11	0,27	11	0,27	42	
4	0,03	0,03	0	0,03	0	0,04	33	0,04	33	0,05	67	0,04	33	0,03	0	0,07	133	0,04	33	0,04	33	0,04	33	
5	0,03	0,03	0	0,03	0	0,04	33	0,04	33	0,05	67	0,04	33	0,03	0	0,07	133	0,04	33	0,04	33	0,04	33	
6	0,14	0,15	7	0,15	7	0,13	-7	0,13	-7	0,42	200	0,43	207	0,2	43	0,09	-36	0,15	7	0,12	7	0,12	-14	
7	0,12	0,13	8	0,12	0	0,13	8	0,13	8	0,19	58	0,19	58	0,14	17	0,3	150	0,13	8	0,26	8	0,26	117	
8	0,21	0,22	5	0,21	0	0,23	10	0,23	10	0,41	95	0,39	86	0,49	133	0,29	38	0,21	0	0,23	0	0,23	10	
9	-0,29	-0,36	24	-0,33	14	-0,4	38	-0,4	38	-0,52	79	-0,41	41	-0,33	14	-0,72	148	-0,33	14	-0,43	14	-0,43	48	
11	-0,14	-0,17	21	-0,15	7	-0,2	43	-0,2	43	-0,25	79	-0,19	36	-0,17	21	-0,34	143	-0,21	50	-0,19	50	-0,19	36	
12	0,22	0,22	0	0,22	0	0,32	45	0,32	45	0,35	59	0,26	18	0,27	23	0,49	123	0,49	123	0,22	123	0,22	0	
13	0,16	0,17	6	0,16	0	0,18	13	0,18	13	0,2	25	0,18	13	0,17	6	0,24	50	0,19	19	0,58	19	0,58	263	
Bewertete Verbesserung			140,0		83,3	0,48	269,4		460,7		107,9		377,9		336,3		116,9		120,7					120,7

Tabelle 65: Simulationsläufe Stufe 2

Stufe 2: Optimierung Var. 10 Qualität des Fertigungsflusses																			
Variable	Ausgangszustand		Änderung 11		Änderung 12		Änderung 13		Änderung 14		Änderung 15		Änderung 16		Änderung 17		Änderung 18		
	Var 1-3	Δ [%]	Var 1-4	Δ [%]	Var 2-2	Δ [%]	Var 2-2	Δ [%]	Var 6-3	Δ [%]	Var 8-2	Δ [%]	Var 10	Δ [%]	Var 12-2	Δ [%]	Var 13-2	Δ [%]	
1	0,15	0,27	80	0,21	40	0,18	20	0,18	20	0,18	20	0,19	27	0,25	67	0,21	40	0,16	7
1-2	-0,33	-0,6	82	-0,33	0	-0,38	15	-0,38	15	-0,38	15	-0,41	24	-0,48	45	-0,46	39	-0,33	0
1-5	0,22	0,31	41	0,49	123	0,24	9	0,24	9	0,24	9	0,25	14	0,43	95	0,27	23	0,22	0
2	0,26	0,27	4	0,26	0	0,53	104	0,36	38	0,28	8	0,27	4	0,27	4	0,27	4	0,34	31
2-3	0,48	0,48	0	0,48	0	0,75	56	0,48	0	0,48	0	0,48	0	0,75	56	0,48	0	0,48	0
3	0,35	0,37	6	0,36	3	0,48	37	0,46	31	0,42	20	0,42	20	0,51	46	0,36	3	0,43	23
4	0,05	0,05	0	0,05	0	0,06	20	0,06	20	0,05	0	0,05	0	0,09	80	0,06	20	0,06	20
5	0,05	0,05	0	0,05	0	0,06	20	0,06	20	0,06	20	0,05	0	0,09	80	0,06	20	0,06	20
6	0,42	0,43	2	0,42	0	0,41	-2	0,71	69	0,47	12	0,47	12	0,37	-12	0,42	0	0,4	-5
7	0,19	0,2	5	0,19	0	0,2	5	0,26	37	0,21	11	0,21	11	0,37	95	0,2	5	0,33	74
8	0,41	0,42	2	0,42	2	0,43	5	0,59	44	0,69	68	0,5	22	0,42	2	0,42	2	0,44	7
9	-0,52	-0,58	12	-0,55	6	-0,62	19	-0,63	21	-0,56	8	-0,56	8	-0,94	81	-0,56	8	-0,65	25
11	-0,25	-0,27	8	-0,26	4	-0,3	20	-0,29	16	-0,27	8	-0,27	8	-0,44	76	-0,31	24	-0,29	16
12	0,35	0,35	0	0,35	0	0,45	29	0,39	11	0,41	17	0,41	17	0,62	77	0,63	80	0,36	3
13	0,2	0,21	5	0,2	0	0,22	10	0,22	10	0,21	5	0,21	5	0,28	40	0,23	15	0,62	210
Bewertete Verbesserung			99,3		46,5		161,2		170,5		54,7		221,1		72,5		77,9		

Tabelle 66: Simulationsläufe Stufe 3

Stufe 3: Optimierung Var. 6-3 Qualität der Wartungsaktivitäten																	
Variable	Ausgangszustand		Änderung 21		Änderung 22		Änderung 23		Änderung 24		Änderung 25		Änderung 26		Änderung 27		
	Var 1-3	Δ [%]	Var 1-4	Δ [%]	Var 2-2	Δ [%]	Var 2-2	Δ [%]	Var 6-3	Δ [%]	Var 8-2	Δ [%]	Var 12-2	Δ [%]	Var 13-2	Δ [%]	
1	0,25	0,36	44	0,3	20	0,27	8	0,27	8	0,27	8	0,28	12	0,31	24	0,25	0
1-2	-0,48	-0,75	56	-0,48	0	-0,53	10	-0,53	10	-0,53	10	-0,56	17	-0,62	29	-0,49	2
1-5	0,43	0,52	21	0,7	63	0,45	5	0,45	5	0,45	5	0,46	7	0,48	12	0,43	0
2	0,27	0,27	0	0,27	0	0,54	100	0,37	37	0,29	7	0,28	7	0,28	4	0,35	30
2-3	0,75	0,75	0	0,75	0	1,02	36	0,75	0	0,75	0	0,75	0	0,75	0	0,75	0
3	0,51	0,54	6	0,52	2	0,64	25	0,62	22	0,59	16	0,53	4	0,53	4	0,59	16
4	0,09	0,09	0	0,09	0	0,1	11	0,1	11	0,09	0	0,1	0	0,1	11	0,1	11
5	0,09	0,09	0	0,09	0	0,1	11	0,1	11	0,09	0	0,1	0	0,1	11	0,1	11
6	0,37	0,38	3	0,38	3	0,36	-3	0,66	78	0,42	14	0,37	0	0,37	0	0,35	-5
7	0,37	0,37	0	0,37	0	0,37	0	0,43	16	0,38	3	0,38	3	0,38	3	0,51	38
8	0,5	0,51	2	0,5	0	0,52	4	0,68	36	0,78	56	0,5	0	0,5	0	0,52	4
9	-0,94	-1	6	-0,97	3	-1,05	12	-1,06	13	-0,98	4	-0,98	4	-0,98	4	-1,08	15
11	-0,44	-0,47	7	-0,45	2	-0,5	14	-0,49	11	-0,47	7	-0,47	7	-0,51	16	-0,49	11
12	0,62	0,62	0	0,62	0	0,72	16	0,66	6	0,68	10	0,68	10	0,9	45	0,63	2
13	0,28	0,29	4	0,29	4	0,3	7	0,3	7	0,29	4	0,31	4	0,31	11	0,7	150
Bewertete Verbesserung			54		26		128		149		38		44		44		50

Tabelle 67: Simulationsläufe Stufe 4

Stufe 4: Optimierung Var. 2-2 Umfang eingesetzter Pull-Methoden														
Variable	Ausgangs- zustand		Änderung 31		Änderung 32		Änderung 33		Änderung 34		Änderung 35		Änderung 36	
	Var 1-3	Δ [%]	Var 1-4	Δ [%]	Var 1-4	Δ [%]	Var 2-2	Δ [%]	Var 8-2	Δ [%]	Var 12-2	Δ [%]	Var 13-2	Δ [%]
1	0,27	0,38	41	0,33	22	0,29	7	0,31	15	0,33	22	0,27	0	0
1-2	-0,53	-0,81	53	-0,53	0	-0,59	11	-0,62	17	-0,67	26	-0,54	2	2
1-5	0,45	0,54	20	0,72	60	0,47	4	0,48	7	0,5	11	0,45	0	0
2	0,37	0,38	3	0,38	3	0,65	76	0,39	5	0,38	3	0,45	22	22
2-3	0,75	0,75	0	0,75	0	1,02	36	0,75	0	0,75	0	0,75	0	0
3	0,62	0,65	5	0,63	2	0,76	23	0,7	13	0,64	3	0,7	13	13
4	0,1	0,1	0	0,1	0	0,11	10	0,1	0	0,11	10	0,11	10	10
5	0,1	0,1	0	0,1	0	0,11	10	0,1	0	0,11	10	0,11	10	10
6	0,66	0,67	2	0,66	0	0,65	-2	0,71	8	0,66	0	0,64	-3	-3
7	0,43	0,44	2	0,44	2	0,44	2	0,45	5	0,44	2	0,57	33	33
8	0,68	0,69	1	0,69	1	0,7	3	0,96	41	0,69	1	0,71	4	4
9	-1,06	-1,12	6	-1,09	3	-1,16	9	-1,1	4	-1,1	4	-1,19	12	12
11	-0,49	-0,51	4	-0,5	2	-0,55	12	-0,52	6	-0,56	14	-0,54	10	10
12	0,66	0,66	0	0,66	0	0,75	14	0,71	8	0,93	41	0,66	0	0
13	0,3	0,31	3	0,3	0	0,32	7	0,31	3	0,33	10	0,72	140	140
Bewertete Verbesserung			51		28		101		32		39		41	41

Tabelle 68: Simulationsläufe Stufe 5

Stufe 5: Optimierung Var. 1-3 Bewußtsein und Aktivität für Standardisierung												
Variable	Ausgangs- zustand		Änderung 41		Änderung 42		Änderung 43		Änderung 44		Änderung 45	
	Var 1-3	Δ [%]	Var 1-4	Δ [%]	Var 8-2	Δ [%]	Var 12-2	Δ [%]	Var 13-2	Δ [%]	Var 13-2	Δ [%]
1	0,29	0,41	41	0,35	21	0,33	14	0,35	21	0,3	3	3
1-2	-0,59	-0,86	46	-0,59	0	-0,67	14	-0,72	22	-0,59	0	0
1-5	0,47	0,56	19	0,74	57	0,5	6	0,51	9	0,47	0	0
2	0,65	0,65	0	0,65	0	0,67	3	0,66	2	0,72	11	11
2-3	1,02	1,02	0	1,02	0	1,02	0	1,02	0	1,02	0	0
3	0,76	0,78	3	0,77	1	0,83	9	0,77	1	0,83	9	9
4	0,11	0,11	0	0,11	0	0,11	0	0,12	9	0,12	9	9
5	0,11	0,11	0	0,11	0	0,11	0	0,12	9	0,12	9	9
6	0,65	0,66	2	0,65	0	0,7	8	0,65	0	0,62	-5	-5
7	0,44	0,44	0	0,44	0	0,45	2	0,45	2	0,58	32	32
8	0,7	0,71	1	0,71	1	0,98	40	0,71	1	0,73	4	4
9	-1,16	-1,23	6	-1,19	3	-1,2	3	-1,2	3	-1,3	12	12
11	-0,55	-0,57	4	-0,56	2	-0,57	4	-0,61	11	-0,59	7	7
12	0,75	0,76	1	0,76	1	0,81	8	1,03	37	0,76	1	1
13	0,32	0,33	3	0,33	3	0,33	3	0,35	9	0,74	131	131
Bewertete Verbesserung			50		24		28		35		31	31

Tabelle 69: Simulationsläufe Stufe 6

Stufe 6: Optimierung Var. 12-2 Niveau Trennung von Wertschöpfung und Logistik												
Variable	Ausgangs- zustand		Änderung 51		Änderung 52		Änderung 53		Änderung 54		Var 13-2 Δ [%]	%
	Var 1-4	Δ [%]	Var 8-2	Δ [%]	Var 12-2	Δ [%]	Var 13-2	Δ [%]	Var 13-2	Δ [%]		
1	0,41	0,46	12	0,44	7	0,46	12	0,41	12	0,41	0	0
1-2	-0,86	-0,86	0	-0,95	10	-1	16	-0,87	16	-0,87	1	1
1-5	0,56	0,83	48	0,59	5	0,61	9	0,56	9	0,56	0	0
2	0,65	0,66	2	0,67	3	0,66	2	0,73	2	0,73	12	12
2-3	1,02	1,02	0	1,02	0	1,02	0	1,02	0	1,02	0	0
3	0,78	0,79	1	0,86	10	0,8	3	0,86	3	0,86	10	10
4	0,11	0,12	9	0,12	9	0,13	18	0,12	18	0,12	9	9
5	0,11	0,12	9	0,12	9	0,13	18	0,12	18	0,12	9	9
6	0,66	0,66	0	0,71	8	0,66	0	0,64	0	0,64	-3	-3
7	0,44	0,45	2	0,46	5	0,45	2	0,58	2	0,58	32	32
8	0,71	0,72	1	0,99	39	0,72	1	0,74	1	0,74	4	4
9	-1,23	-1,26	2	-1,27	3	-1,27	3	-1,36	3	-1,36	11	11
11	-0,57	-0,58	2	-0,59	4	-0,64	12	-0,62	12	-0,62	9	9
12	0,76	0,76	0	0,81	7	1,03	36	0,76	36	0,76	0	0
13	0,33	0,34	3	0,34	3	0,36	9	0,75	9	0,75	127	127
Bewertete Verbesserung			26		31		36		36		29	29

Tabelle 70: Simulationsläufe Stufe 7

Stufe 7: Optimierung Var. 13-2 Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters

Variable	Ausgangszustand	Änderung 61		Änderung 62		Änderung 63		
		Var 1-4	Δ [%]	Var 8-2	Δ [%]	Var 13-2	Δ [%]	
1	0,46	0,52	13	0,5	9	0,46	0	
1-2	-1	-1	0	-1,08	8	-1,01	1	
1-5	0,61	0,88	44	0,64	5	0,61	0	
2	0,66	0,67	2	0,68	3	0,74	12	
2-3	1,02	1,02	0	1,02	0	1,02	0	
3	0,8	0,81	1	0,88	10	0,88	10	
4	0,13	0,13	0	0,13	0	0,14	8	
5	0,13	0,13	0	0,13	0	0,14	8	
6	0,66	0,67	2	0,72	9	0,64	-3	
7	0,45	0,46	2	0,47	4	0,59	31	
8	0,72	0,73	1	1	39	0,75	4	
9	-1,27	-1,3	2	-1,3	2	-1,4	10	
11	-0,64	-0,65	2	-0,66	3	-0,68	6	
12	1,03	1,03	0	1,09	6	1,04	1	
13	0,36	0,36	0	0,37	3	0,78	117	
Bewertete Verbesserung							19	24

Tabelle 71: Simulationsläufe Stufe 8

Stufe 8: Optimierung Var. 8-2 Bewusstsein und Aktivität für 5S

Variable	Ausgangszustand	Änderung 71		Änderung 72		
		Var 1-4	Δ [%]	Var 8-2	Δ [%]	
1	0,46	0,52	13	0,5	9	
1-2	-1,01	-1,01	0	-1,09	8	
1-5	0,61	0,88	44	0,64	5	
2	0,74	0,74	0	0,76	3	
2-3	1,02	1,02	0	1,02	0	
3	0,88	0,89	1	0,96	9	
4	0,14	0,14	0	0,14	0	
5	0,14	0,14	0	0,14	0	
6	0,64	0,65	2	0,7	9	
7	0,59	0,6	2	0,61	3	
8	0,75	0,75	0	1,03	37	
9	-1,4	-1,43	2	-1,44	3	
11	-0,68	-0,69	1	-0,71	4	
12	1,04	1,04	0	1,09	5	
13	0,78	0,78	0	0,79	1	
Bewertete Verbesserung					17	24

Tabelle 72: Simulationsläufe Stufe 9

Stufe 9: Optimierung Var. 1-4 Qualität der Abtaktung

Variable	Ausgangszustand	Änderung Var 1-4	Änderung 81 Δ [%]
1	0,5	0,55	10
1-2	-1,09	-1,09	0
1-5	0,64	0,91	42
2	0,76	0,77	1
2-3	1,02	1,02	0
3	0,96	0,97	1
4	0,14	0,14	0
5	0,14	0,14	0
6	0,7	0,7	0
7	0,61	0,61	0
8	1,03	1,03	0
9	-1,44	-1,47	2
11	-0,71	-0,72	1
12	1,09	1,09	0
13	0,79	0,79	0
Bewertete Verbesserung			14

9.7 Detaillierte Simulationsergebnisse für Teilefertigung

Tabelle 73: Simulationsergebnisse mehrstufige TF in der Ausgangssituation

Zeit	1	1-2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	13	15	16
0	0,1	-0,1	0	0		0,1	0	0,2	-0,1	0	0,1	0,11	0	-0
1	0,1	-0,1	0	0		0,1	0	0,2	-0,1	0	0,1	0,11	0	-0
2	0,1	-0,1	0	0		0,1	0	0,2	-0,1	0	0,1	0,11	0	-0
3	0,1	-0,1	0,1	-0,2	0	0,2	0	0,2	-0,1	-0,1	0,2	-0,2	-0	0,18
4	0,1	-0,1	0,1	-0,2	0	0,2	0	0,2	-0,1	-0,1	0,2	-0,2	-0	0,18
5	0,1	-0,1	0,1	-0,2	0	0,2	0	0,2	-0,1	-0,1	0,2	-0,2	-0	0,08
6	0,1	-0,1	0,1	-0,1	0	0,2	0	0,2	-0,1	-0	0,2	-0,2	-0	0,13
7	0,1	-0,1	0,1	-0,1	0	0,2	0	0,2	-0,1	-0	0,2	-0,2	-0	0,13
8	0,1	-0,1	0,1	-0,1	0	0,2	0	0,2	-0,1	-0,1	0,2	-0,2	-0	0,13
9	0,1	-0,1	0,1	-0,2	0	0,2	0	0,2	-0,1	-0	0,2	-0,2	-0	0,13
10	0,1	-0,1	0,1	-0,2	0	0,2	0	0,2	-0,1	-0	0,2	-0,2	-0	0,13
11	0,1	-0,1	0,1	-0,1	0	0,2	0	0,2	-0,1	-0	0,2	-0,2	-0	0,13
12	0,1	-0,1	0,1	-0,2	0	0,2	0	0,2	-0,1	-0	0,2	-0,2	-0	0,13
13	0,1	-0,1	0,1	-0,2	0	0,2	0	0,2	-0,1	-0	0,2	-0,2	-0	0,13
14	0,1	-0,1	0,1	-0,2	0	0,2	0	0,2	-0,1	-0	0,2	-0,2	-0	0,13
15	0,1	-0,1	0,1	-0,2	0	0,2	0	0,2	-0,1	-0	0,2	-0,2	-0	0,13
16	0,1	-0,1	0,1	-0,2	0	0,2	0	0,2	-0,1	-0	0,2	-0,2	-0	0,13
17	0,1	-0,1	0,1	-0,2	0	0,2	0	0,2	-0,1	-0	0,2	-0,2	-0	0,13
18	0,1	-0,1	0,1	-0,2	0	0,2	0	0,2	-0,1	-0	0,2	-0,2	-0	0,13
19	0,1	-0,1	0,1	-0,2	0	0,2	0	0,2	-0,1	-0	0,2	-0,2	-0	0,13

Tabelle 74: Simulationsergebnisse mehrstufige TF mit Einführung Lean-Methoden

Zeit	1	1-2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	13	15	16
20	0,4	-0,6	0,2	-0,2	0	0,7	0,2	0,8	-0,4	-0	0,8	0,25	-0	0,07
21	0,4	-0,6	0,2	-0,2	0	0,7	0,2	0,8	-0,4	-0	0,8	0,25	-0	0,07
22	0,4	-0,6	0,2	-0,2	0	0,7	0,2	0,8	-0,4	-0	0,8	0,25	-0	0,07
23	0,5	-0,7	0,5	0,17	0	1,1	0,6	0,8	-1	-0,3	1	0,76	0,25	-0,9
24	0,5	-0,7	0,5	0,17	0	1,1	0,6	0,8	-1	-0,3	1	0,76	0,25	-0,9
25	0,5	-0,7	0,5	0,17	0	1,1	0,6	0,8	-1	-0,3	1	0,76	0,25	-1,3
26	0,5	-0,7	0,6	0,25	0,1	1	0,7	1	-1,1	-0,7	1,1	0,92	0,47	-1,5
27	0,5	-0,7	0,6	0,25	0,1	1	0,7	1	-1,1	-0,7	1,1	0,92	0,47	-1,5
28	0,5	-0,7	0,6	0,25	0,1	1	0,7	1	-1,1	-0,8	1,1	0,95	0,55	-1,5
29	0,5	-0,7	0,6	0,41	0,2	1	0,7	1	-1,2	-0,9	1,1	0,98	0,65	-1,6
30	0,5	-0,7	0,6	0,41	0,2	1	0,7	1	-1,2	-0,9	1,1	0,98	0,65	-1,6
31	0,5	-0,7	0,6	0,44	0,2	1	0,7	1	-1,2	-0,9	1,1	0,98	0,66	-1,6
32	0,5	-0,7	0,6	0,47	0,2	1	0,7	1	-1,2	-0,9	1,1	0,99	0,68	-1,6
33	0,5	-0,7	0,6	0,47	0,2	1	0,7	1	-1,2	-0,9	1,1	0,99	0,68	-1,6
34	0,5	-0,7	0,6	0,47	0,2	1	0,7	1	-1,2	-1	1,1	0,99	0,68	-1,6
35	0,5	-0,7	0,6	0,48	0,2	1	0,7	1	-1,2	-1	1,1	1	0,68	-1,6
36	0,5	-0,7	0,6	0,48	0,2	1	0,7	1	-1,2	-1	1,1	1	0,68	-1,6
37	0,5	-0,7	0,6	0,48	0,2	1	0,7	1	-1,2	-1	1,1	1	0,68	-1,6
38	0,5	-0,7	0,6	0,49	0,2	1	0,7	1	-1,2	-1	1,1	1	0,69	-1,6
39	0,5	-0,7	0,6	0,49	0,2	1	0,7	1	-1,2	-1	1,1	1	0,69	-1,6
40	0,5	-0,7	0,6	0,49	0,2	1	0,7	1	-1,2	-1	1,1	1	0,69	-1,6
41	0,5	-0,7	0,6	0,49	0,2	1	0,7	1	-1,2	-1	1,1	1	0,69	-1,6
42	0,5	-0,7	0,6	0,49	0,2	1	0,7	1	-1,2	-1	1,1	1	0,69	-1,6
43	0,5	-0,7	0,6	0,49	0,2	1	0,7	1	-1,2	-1	1,1	1	0,69	-1,6
44	0,5	-0,7	0,6	0,49	0,2	1	0,7	1	-1,2	-1	1,1	1	0,69	-1,6
45	0,5	-0,7	0,6	0,49	0,2	1	0,7	1	-1,2	-1	1,1	1	0,69	-1,6
46	0,5	-0,7	0,6	0,49	0,2	1	0,7	1	-1,2	-1	1,1	1	0,69	-1,6
47	0,5	-0,7	0,6	0,49	0,2	1	0,7	1	-1,2	-1	1,1	1	0,69	-1,6
48	0,5	-0,7	0,6	0,49	0,2	1	0,7	1	-1,2	-1	1,1	1	0,69	-1,6
49	0,5	-0,7	0,6	0,49	0,2	1	0,7	1	-1,2	-1	1,1	1	0,69	-1,6
50	0,5	-0,7	0,6	0,49	0,2	1	0,7	1	-1,2	-1	1,1	1	0,69	-1,6

9.8 Simulationsergebnisse zur Reihenfolge 1 für die mehrstufige TF

Tabelle 75: Simulationsläufe Stufe 1

Stufe 1: Optimierung Var. 2-2 Umfang eingesetzter Pull-Methoden															
Variable	Ausgangs- zustand		Änderung 0-01		Änderung 0-02		Änderung 0-03		Änderung 0-04		Änderung 0-05		Änderung 0-06		
	Var 1-3	Δ [%]	Var 1-6	Δ [%]	Var 2-2	Δ [%]	Var 2-2	Δ [%]	Var 6-2	Δ [%]	Var 6-3	Δ [%]	Var 8-2	Δ [%]	
1 Mitarbeiterproduktivität	0,09	0,15	67	0,33	267	0,1	11	0,1	11	0,1	11	0,1	11	0,11	22
1-2 Varianz bei der Ausführung der Aufgaben	-0,13	-0,4	208	0,03	123	-0,15	15	-0,18	38	-0,18	38	-0,21	62		
3 Flächenproduktivität	0,06	0,07	17	0,07	17	0,16	167	0,13	117	0,13	117	0,14	133		
4 Planbarkeit der Aufträge - Zuverlässigkeit	-0,15	-0,14	7	-0,14	7	-0,11	27	-0,12	20	-0,12	20	-0,13	13		
5 Liefertreue	0,01	0,01	0	0,01	0	0,03	200	0,02	100	0,02	100	0,02	100		
6 Anlagenproduktivität	0,15	0,2	33	0,11	-27	0,11	-27	0,42	180	0,42	180	0,32	113		
7 Produktionsflexibilität	0,01	0,02	100	0	-100	0,01	0	0,07	600	0,07	600	0,05	400		
8 5S-Niveau der Fertigung	0,16	0,17	6	0,17	6	0,22	38	0,34	113	0,34	113	0,45	181		
9 Umlaufbestand	-0,07	-0,1	43	-0,11	57	-0,35	400	-0,18	157	-0,18	157	-0,14	100		
11 Durchlaufzeit	-0,04	-0,05	25	-0,05	25	-0,15	275	-0,11	175	-0,11	175	-0,1	150		
12 Leistungsniveau der Logistik	0,21	0,21	0	0,21	0	0,22	5	0,24	14	0,24	14	0,27	29		
13 Qualität beim Glätten d. Teileklassen	-0,18	-0,17	6	-0,17	6	-0,14	22	-0,16	11	-0,16	11	-0,16	11		
15 Planungsqualität der Aufträge	-0,04	-0,03	25	-0,03	25	-0,01	75	-0,01	75	-0,01	75	-0,01	75		
16 Variabilität der Liegezeit	0,13	0,11	15	0,13	0	0,07	46	0,02	85	0,02	85	0,02	85		
Summe der Verbesserung			145		302		586		453		453		453		339

Variable	Ausgangs- zustand		Änderung 0-07		Änderung 0-08		Änderung 0-09		Änderung 0-10		Änderung 0-11		Änderung 0-12	
	Var 10	Δ [%]	Var 12-2	Δ [%]	Var 13-2	Δ [%]	Var 13-2	Δ [%]	Var 13-3	Δ [%]	Var 14	Δ [%]	Var 15-1	Δ [%]
1 Mitarbeiterproduktivität	0,09	0,11	22	0,11	22	0,1	11	0,11	22	0,1	11	0,1	11	
1-2 Varianz bei der Ausführung der Aufgaben	-0,13	-0,23	77	-0,22	69	-0,14	8	-0,19	46	-0,14	8	-0,14	8	
3 Flächenproduktivität	0,06	0,07	17	0,06	0	0,1	67	0,1	67	0,11	83	0,1	67	
4 Planbarkeit der Aufträge - Zuverlässigkeit	-0,15	-0,1	33	-0,12	20	-0,13	13	-0,09	40	0,06	140	0,03	120	
5 Liefertreue	0,01	0,03	200	0,02	100	0,02	100	0,04	300	0,03	200	0,02	100	
6 Anlagenproduktivität	0,15	0,17	13	0,17	13	0,19	27	0,19	27	0,19	27	0,17	13	
7 Produktionsflexibilität	0,01	0,19	1800	0,02	100	0,12	1100	0,09	800	0,12	1100	0,07	600	
8 5S-Niveau der Fertigung	0,16	0,17	6	0,17	6	0,19	19	0,18	13	0,19	19	0,18	13	
9 Umlaufbestand	-0,07	-0,11	57	-0,09	29	-0,19	171	-0,18	157	-0,22	214	-0,18	157	
11 Durchlaufzeit	-0,04	-0,17	325	-0,1	150	-0,1	150	-0,21	425	-0,17	325	-0,09	125	
12 Leistungsniveau der Logistik	0,21	0,48	129	0,48	129	0,21	0	0,37	76	0,21	0	0,21	0	
13 Qualität beim Glätten d. Teileklassen	-0,18	-0,14	22	-0,16	11	0,11	161	0,04	122	0,14	178	0	100	
15 Planungsqualität der Aufträge	-0,04	0,04	200	-0,03	25	-0,01	75	0,08	300	0,11	375	0,2	600	
16 Variabilität der Liegezeit	0,13	-0,16	223	0,12	8	0,04	69	-0,35	369	-0,25	292	0,07	46	
Summe der Verbesserung			295		166		311		509		454		283	

Tabelle 76: Simulationsläufe Stufe 2

Stufe 2: Optimierung Var. 6-2 Qualität Rüsttablauf		Ausgangs-Änderung 1-03												Änderung 1-04												Änderung 1-05												Änderung 1-06											
Variable	Ausgangszustand	Var 1-3	Änderung 1-03	Var 1-6	Änderung 1-02	Var 6-2	Änderung 1-03	Var 6-3	Änderung 1-04	Var 8-2	Änderung 1-05	Var 10	Änderung 1-06	Var 1-3	Änderung 1-03	Var 1-6	Änderung 1-02	Var 6-2	Änderung 1-03	Var 6-3	Änderung 1-04	Var 8-2	Änderung 1-05	Var 10	Änderung 1-06	Var 1-3	Änderung 1-03	Var 1-6	Änderung 1-02	Var 6-2	Änderung 1-03	Var 6-3	Änderung 1-04	Var 8-2	Änderung 1-05	Var 10	Änderung 1-06												
1 Mitarbeiterproduktivität	0,1	0,15	50	0,34	240	0,11	10	0,11	10	0,11	10	0,11	10	0,12	20	0,15	50	0,34	240	0,11	10	0,11	10	0,11	10	0,12	20	0,15	50	0,34	240	0,11	10	0,11	10	0,11	10	0,12	20										
1-2 Varianz bei der Ausführung der Aufgaben	-0,15	-0,42	180	0,01	-107	-0,19	27	-0,19	27	-0,19	27	-0,22	47	-0,24	60	-0,15	-0,42	180	0,01	-107	-0,19	27	-0,19	27	-0,22	47	-0,24	60	-0,15	-0,42	180	0,01	-107	-0,19	27	-0,19	27	-0,22	47										
3 Flächenproduktivität	0,16	0,17	6	0,18	13	0,23	44	0,23	44	0,23	44	0,24	50	0,18	13	0,16	0,17	6	0,18	13	0,23	44	0,23	44	0,24	50	0,18	13	0,16	0,17	6	0,18	13	0,23	44	0,23	44	0,24	50										
4 Planbarkeit der Aufträge - Zuverlässigkeit	-0,11	-0,1	9	-0,11	0	-0,09	18	-0,09	18	-0,09	18	-0,09	18	-0,07	36	-0,11	-0,1	9	-0,11	0	-0,09	18	-0,09	18	-0,09	18	-0,07	36	-0,11	-0,1	9	-0,11	0	-0,09	18	-0,09	18												
5 Liefertreue	0,03	0,03	0	0,03	0	0,04	33	0,04	33	0,04	33	0,04	33	0,06	100	0,03	0,03	0	0,03	0	0,04	33	0,04	33	0,04	33	0,06	100	0,03	0,03	0	0,04	33	0,04	33	0,04	33												
6 Anlagenproduktivität	0,11	0,16	45	0,07	-36	0,37	236	0,37	236	0,37	236	0,27	145	0,13	18	0,11	0,16	45	0,07	-36	0,37	236	0,37	236	0,27	145	0,13	18	0,11	0,16	45	0,07	-36	0,37	236	0,37	236												
7 Produktionsflexibilität	0,01	0,02	100	0,01	0	0,07	600	0,07	600	0,07	600	0,05	400	0,19	1800	0,01	0,02	100	0,01	0	0,07	600	0,07	600	0,05	400	0,19	1800	0,01	0,02	100	0,01	0	0,07	600	0,07	600												
8 5S-Niveau der Fertigung	0,22	0,22	0	0,22	0	0,4	82	0,4	82	0,4	82	0,5	127	0,23	5	0,22	0,22	0	0,22	0	0,4	82	0,4	82	0,5	127	0,23	5	0,22	0,22	0	0,4	82	0,4	82														
9 Umlaufbestand	-0,35	-0,38	9	-0,38	9	-0,45	29	-0,45	29	-0,45	29	-0,42	20	-0,39	11	-0,35	-0,38	9	-0,38	9	-0,45	29	-0,45	29	-0,42	20	-0,39	11	-0,35	-0,38	9	-0,38	9	-0,45	29	-0,45	29												
11 Durchlaufzeit	-0,15	-0,16	7	-0,16	7	-0,21	40	-0,21	40	-0,21	40	-0,21	40	-0,28	87	-0,15	-0,16	7	-0,16	7	-0,21	40	-0,21	40	-0,21	40	-0,28	87	-0,15	-0,16	7	-0,16	7	-0,21	40	-0,21	40												
12 Leistungsniveau der Logistik	0,22	0,22	0	0,22	0	0,26	18	0,26	18	0,26	18	0,28	27	0,49	123	0,22	0,22	0	0,22	0	0,26	18	0,26	18	0,28	27	0,49	123	0,22	0,22	0	0,26	18	0,26	18														
13 Qualität beim Glätten d. Teileklassen	-0,14	-0,14	0	-0,14	0	-0,12	14	-0,12	14	-0,12	14	-0,12	14	-0,1	29	-0,14	-0,14	0	-0,14	0	-0,12	14	-0,12	14	-0,12	14	-0,1	29	-0,14	-0,14	0	-0,12	14	-0,12	14														
15 Planungsqualität der Aufträge	-0,01	-0,01	0	-0,01	0	0,02	300	0,02	300	0,02	300	0,02	300	0,06	700	-0,01	-0,01	0	-0,01	0	0,02	300	0,02	300	0,02	300	0,06	700	-0,01	-0,01	0	0,02	300	0,02	300														
16 Variabilität der Liegezeit	0,07	0,05	29	0,06	14	-0,05	171	-0,05	171	-0,05	171	-0,04	157	-0,23	429	0,07	0,05	29	0,06	14	-0,05	171	-0,05	171	-0,04	157	-0,23	429	0,07	0,05	29	0,06	14	-0,05	171														
Summe der Verbesserung			106		216		313		313		313		212		151			106		216		313		313		212		151			106		216		313														

Variable	Ausgangszustand	Änderung 1-07	Änderung 1-08	Änderung 1-09	Änderung 1-10	Änderung 1-11					
Variable	Ausgangszustand	Var 12-2	Änderung 1-07	Var 13-2	Änderung 1-08	Var 13-3	Änderung 1-09	Var 14	Änderung 1-10	Var 15	Änderung 1-11
1 Mitarbeiterproduktivität	0,1	0,12	20	0,1	0,11	10	0,1	0,1	0,1	0,1	0
1-2 Varianz bei der Ausführung der Aufgaben	-0,15	-0,24	60	-0,15	0	-0,21	40	-0,15	0	-0,15	0
3 Flächenproduktivität	0,16	0,17	6	0,21	31	0,2	25	0,22	38	0,2	25
4 Planbarkeit der Aufträge - Zuverlässigkeit	-0,11	-0,09	18	-0,09	18	-0,05	55	0,09	182	0,07	164
5 Liefertreue	0,03	0,04	33	0,04	33	0,06	100	0,06	100	0,04	33
6 Anlagenproduktivität	0,11	0,13	18	0,14	27	0,14	27	0,14	27	0,12	9
7 Produktionsflexibilität	0,01	0,02	100	0,12	1100	0,09	800	0,13	1200	0,08	700
8 5S-Niveau der Fertigung	0,22	0,22	0	0,24	9	0,24	9	0,25	14	0,24	9
9 Umlaufbestand	-0,35	-0,37	6	-0,46	31	-0,46	31	-0,49	40	-0,46	31
11 Durchlaufzeit	-0,15	-0,21	40	-0,21	40	-0,31	107	-0,28	87	-0,2	33
12 Leistungsniveau der Logistik	0,22	0,49	123	0,22	0	0,38	73	0,23	5	0,22	0
13 Qualität beim Glätten d. Teileklassen	-0,14	-0,12	14	0,15	207	0,07	150	0,17	221	0,04	129
15 Planungsqualität der Aufträge	-0,01	0	100	0,02	300	0,1	1100	0,13	1400	0,22	2300
16 Variabilität der Liegezeit	0,07	0,05	29	-0,03	143	-0,41	686	-0,31	543	0	100
Summe der Verbesserung			78		93		170		169		74

Tabelle 77: Simulationsläufe Stufe 3

Stufe 3: Optimierung Var. 1-6 Grad der Mehrmaschinenbedienung		Ausgangs- Änderung 2-01		Änderung 2-02		Änderung 2-03		Änderung 2-04		Änderung 2-05		Änderung 2-06		
		zustand	Var 1-3 Δ [%]	Var 1-6 Δ [%]	Var 6-3 Δ [%]	Var 8-2 Δ [%]	Var 10 Δ [%]	Var 12- Δ [%]	zustand	Var 1-3 Δ [%]	Var 1-6 Δ [%]	Var 6-3 Δ [%]	Var 8-2 Δ [%]	Var 10 Δ [%]
1	Mitarbeiterproduktivität	0,11	0,16	45	0,35	218	0,12	9	0,12	9	0,13	18	0,13	18
1-2	Varianz bei der Ausführung der Aufgaben	-0,19	-0,47	147	-0,04	79	-0,24	26	-0,27	42	-0,29	53	-0,29	53
3	Flächenproduktivität	0,23	0,24	4	0,25	9	0,31	35	0,31	35	0,25	9	0,24	4
4	Planbarkeit der Aufträge - Zuverlässigkeit	-0,09	-0,08	11	-0,08	11	-0,06	33	-0,07	22	-0,04	56	-0,07	22
5	Liefertreue	0,04	0,05	25	0,05	25	0,06	50	0,05	25	0,07	75	0,06	50
6	Anlagenproduktivität	0,37	0,42	14	0,33	-11	0,64	73	0,54	46	0,39	5	0,39	5
7	Produktionsflexibilität	0,07	0,09	29	0,07	0	0,13	86	0,11	57	0,25	257	0,09	29
8	5S-Niveau der Fertigung	0,4	0,4	0	0,41	3	0,58	45	0,68	70	0,41	3	0,4	0
9	Umlaufbestand	-0,45	-0,48	7	-0,49	9	-0,56	24	-0,52	16	-0,49	9	-0,47	4
11	Durchlaufzeit	-0,21	-0,23	10	-0,23	10	-0,28	33	-0,27	29	-0,34	62	-0,28	33
12	Leistungsniveau der Logistik	0,26	0,26	0	0,26	0	0,29	12	0,31	19	0,53	104	0,53	104
13	Qualität beim Glätten d. Teileklassen	-0,12	-0,11	8	-0,11	8	-0,1	17	-0,1	17	-0,08	33	-0,1	17
15	Planungsqualität der Aufträge	0,02	0,03	50	0,02	0	0,05	150	0,05	150	0,09	350	0,03	50
16	Variabilität der Liegezeit	-0,05	-0,07	40	-0,05	0	-0,16	220	-0,16	220	-0,34	580	-0,06	20
	Summe der Verbesserung			92		245		158		97		109		79

Stufe 3: Optimierung Var. 1-6 Grad der Mehrmaschinenbedienung		Ausgangs- Änderung 2-07		Änderung 2-08		Änderung 2-09		Änderung 2-10				
		zustand	Var 13-1 Δ [%]	Var 13-3 Δ [%]	Var 14 Δ [%]	Var 15-1 Δ [%]	zustand	Var 13-1 Δ [%]	Var 13-3 Δ [%]	Var 14 Δ [%]	Var 15-1 Δ [%]	
1	Mitarbeiterproduktivität	0,11	0,11	0	0,12	9	0,11	0	0,11	0	0,11	0
1-2	Varianz bei der Ausführung der Aufgaben	-0,19	-0,2	5	-0,25	32	-0,2	5	-0,2	5	-0,2	5
3	Flächenproduktivität	0,23	0,28	22	0,28	22	0,29	26	0,28	22	0,28	22
4	Planbarkeit der Aufträge - Zuverlässigkeit	-0,09	-0,07	22	-0,03	67	0,12	233	0,09	200	0,09	200
5	Liefertreue	0,04	0,05	25	0,08	100	0,07	75	0,05	25	0,05	25
6	Anlagenproduktivität	0,37	0,41	11	0,41	11	0,41	11	0,39	5	0,39	5
7	Produktionsflexibilität	0,07	0,18	157	0,15	114	0,19	171	0,14	100	0,14	100
8	5S-Niveau der Fertigung	0,4	0,42	5	0,42	5	0,43	8	0,42	5	0,42	5
9	Umlaufbestand	-0,45	-0,57	27	-0,56	24	-0,6	33	-0,56	24	-0,56	24
11	Durchlaufzeit	-0,21	-0,27	29	-0,38	81	-0,34	62	-0,27	29	-0,27	29
12	Leistungsniveau der Logistik	0,26	0,26	0	0,42	62	0,26	0	0,26	0	0,26	0
13	Qualität beim Glätten d. Teileklassen	-0,12	0,17	242	0,1	183	0,2	267	0,06	150	0,06	150
15	Planungsqualität der Aufträge	0,02	0,05	150	0,13	550	0,16	700	0,25	1150	0,25	1150
16	Variabilität der Liegezeit	-0,05	-0,14	180	-0,53	960	-0,43	760	-0,11	120	-0,11	120
	Summe der Verbesserung			63		146		120		63		55

Tabelle 78: Simulationsläufe Stufe 4

Stufe 4: Optimierung Var. 6-3 Qualität der Wartungsaktivitäten												
Variable	Ausgangs- zustand		Änderung 3-01		Änderung 3-02		Änderung 3-03		Änderung 3-04		Änderung 3-05	
	Var 1-3	Δ [%]	Var 6-3	Δ [%]	Var 8-2	Δ [%]	Var 10	Δ [%]	Var 12-2	Δ [%]	Var 13-1	Δ [%]
1 Mitarbeiterproduktivität	0,35	0,4	14	0,36	3	0,36	3	0,37	6	0,37	6	0,35
1-2 Varianz bei der Ausführung der Aufgaben	-0,04	-0,31	675	-0,09	125	-0,11	175	-0,13	225	-0,13	225	-0,04
3 Flächenproduktivität	0,25	0,26	4	0,32	28	0,33	32	0,26	4	0,25	0	0,29
4 Planbarkeit der Aufträge - Zuverlässigkeit	-0,08	-0,08	0	-0,06	25	-0,06	25	-0,04	50	-0,06	25	-0,06
5 Liefertreue	0,05	0,05	0	0,06	20	0,06	20	0,07	40	0,06	20	0,06
6 Anlagenproduktivität	0,33	0,38	15	0,6	82	0,5	52	0,35	6	0,35	6	0,37
7 Produktionsflexibilität	0,07	0,08	14	0,13	86	0,11	57	0,25	257	0,08	14	0,17
8 5S-Niveau der Fertigung	0,41	0,41	0	0,59	44	0,69	68	0,41	0	0,41	0	0,43
9 Umlaufbestand	-0,49	-0,52	6	-0,59	20	-0,56	14	-0,53	8	-0,51	4	-0,61
11 Durchlaufzeit	-0,23	-0,24	4	-0,29	26	-0,29	26	-0,35	52	-0,29	26	-0,29
12 Leistungsniveau der Logistik	0,26	0,26	0	0,29	12	0,31	19	0,53	104	0,53	104	0,26
13 Qualität beim Glätten d. Teileklassen	-0,11	-0,11	0	-0,09	18	-0,1	9	-0,07	36	-0,09	18	0,18
15 Planungsqualität der Aufträge	0,02	0,03	50	0,05	150	0,05	150	0,1	400	0,03	50	0,05
16 Variabilität der Liegezeit	-0,05	-0,07	40	-0,17	240	-0,16	220	-0,35	600	-0,06	20	-0,14
Summe der Verbesserung			36		127		90		60		36	57

Stufe 4: Optimierung Var. 6-3 Qualität der Wartungsaktivitäten												
Variable	Ausgangs- zustand		Änderung 3-07		Änderung 3-08		Änderung 3-09		Änderung 3-10		Änderung 3-11	
	Var 13-3	Δ [%]	Var 14	Δ [%]	Var 15-1	Δ [%]						
1 Mitarbeiterproduktivität	0,35	0,36	3	0,35	0	0,35	0	0,35	0	0,35	0	0,35
1-2 Varianz bei der Ausführung der Aufgaben	-0,04	-0,1	150	-0,04	0	-0,04	0	-0,04	0	-0,04	0	-0,04
3 Flächenproduktivität	0,25	0,29	16	0,3	20	0,29	16	0,29	16	0,29	16	0,29
4 Planbarkeit der Aufträge - Zuverlässigkeit	-0,08	-0,03	63	0,12	250	0,1	225	0,1	225	0,1	225	0,1
5 Liefertreue	0,05	0,08	60	0,07	40	0,06	20	0,06	20	0,06	20	0,06
6 Anlagenproduktivität	0,33	0,37	12	0,37	12	0,35	6	0,35	6	0,35	6	0,35
7 Produktionsflexibilität	0,07	0,15	114	0,18	157	0,13	86	0,13	86	0,13	86	0,13
8 5S-Niveau der Fertigung	0,41	0,43	5	0,44	7	0,43	5	0,43	5	0,43	5	0,43
9 Umlaufbestand	-0,49	-0,6	22	-0,64	31	-0,6	22	-0,6	22	-0,6	22	-0,6
11 Durchlaufzeit	-0,23	-0,39	70	-0,35	52	-0,28	22	-0,28	22	-0,28	22	-0,28
12 Leistungsniveau der Logistik	0,26	0,42	62	0,26	0	0,26	0	0,26	0	0,26	0	0,26
13 Qualität beim Glätten d. Teileklassen	-0,11	0,1	191	0,2	282	0,06	155	0,06	155	0,06	155	0,06
15 Planungsqualität der Aufträge	0,02	0,14	600	0,17	750	0,26	1200	0,26	1200	0,26	1200	0,26
16 Variabilität der Liegezeit	-0,05	-0,53	960	-0,43	760	-0,12	140	-0,12	140	-0,12	140	-0,12
Summe der Verbesserung			98		83		49		83		49	49

Tabelle 79: Simulationsläufe Stufe 5

Stufe 5: Optimierung Var. 13-3 Harmonisierung der Losdauer													
Variable	Ausgangsänderung 4-0												
	zustand	Var 1-3 Δ [%]	Var 8-2 Δ [%]	Var 10 Δ [%]	Var 12-1 Δ [%]	Var 13-1 Δ [%]	Var 13-2 Δ [%]	Var 13-3 Δ [%]	Var 13-4 Δ [%]	Var 13-5 Δ [%]	Var 13-6 Δ [%]	Var 13-7 Δ [%]	
1 Mitarbeiterproduktivität	0,36	0,41	14	0,37	3	0,38	6	0,38	6	0,36	0	0,37	3
1-2 Varianz bei der Ausführung der Aufgaben	-0,09	-0,36	300	-0,16	78	-0,18	100	-0,18	100	-0,09	0	-0,15	67
3 Flächenproduktivität	0,32	0,33	3	0,4	25	0,33	3	0,33	3	0,36	13	0,36	13
4 Planbarkeit der Aufträge - Zuverlässigkeit	-0,06	-0,06	0	-0,04	33	-0,02	67	-0,04	33	-0,04	33	0	100
5 Liefertreue	0,06	0,06	0	0,07	17	0,08	33	0,07	17	0,07	17	0,09	50
6 Anlagenproduktivität	0,6	0,65	8	0,76	27	0,62	3	0,62	3	0,64	7	0,63	5
7 Produktionsflexibilität	0,13	0,14	8	0,17	31	0,31	138	0,14	8	0,24	85	0,21	62
8 5S-Niveau der Fertigung	0,59	0,59	0	0,87	47	0,59	0	0,59	0	0,61	3	0,61	3
9 Umlaufbestand	-0,59	-0,63	7	-0,67	14	-0,63	7	-0,61	3	-0,71	20	-0,7	19
11 Durchlaufzeit	-0,29	-0,31	7	-0,35	21	-0,42	45	-0,36	24	-0,35	21	-0,46	59
12 Leistungsniveau der Logistik	0,29	0,29	0	0,35	21	0,57	97	0,57	97	0,3	3	0,46	59
13 Qualität beim Glätten d. Teileklassen	-0,09	-0,09	0	-0,07	22	-0,05	44	-0,07	22	0,2	322	0,12	233
15 Planungsqualität der Aufträge	0,05	0,06	20	0,08	60	0,13	160	0,06	20	0,08	60	0,17	240
16 Variabilität der Liegezeit	-0,17	-0,18	6	-0,27	59	-0,46	171	-0,18	6	-0,26	53	-0,64	276
Summe der Verbesserung			29		60		49		29		44		77

Ausgangsänderung 4-07													
Variable	Ausgangsänderung 4-08												
	zustand	Var 14 Δ [%]	Var 15-1 Δ [%]	Var 15-2 Δ [%]	Var 15-3 Δ [%]	Var 15-4 Δ [%]	Var 15-5 Δ [%]	Var 15-6 Δ [%]	Var 15-7 Δ [%]	Var 15-8 Δ [%]	Var 15-9 Δ [%]	Var 15-10 Δ [%]	
1 Mitarbeiterproduktivität	0,36	0,36	0	0,36	0	0,36	0	0,36	0	0,36	0	0,36	0
1-2 Varianz bei der Ausführung der Aufgaben	-0,09	-0,09	0	-0,09	0	-0,09	0	-0,09	0	-0,09	0	-0,09	0
3 Flächenproduktivität	0,32	0,38	19	0,36	13	0,36	13	0,36	13	0,36	13	0,36	13
4 Planbarkeit der Aufträge - Zuverlässigkeit	-0,06	0,14	333	0,12	300	0,12	300	0,12	300	0,12	300	0,12	300
5 Liefertreue	0,06	0,08	33	0,07	17	0,07	17	0,07	17	0,07	17	0,07	17
6 Anlagenproduktivität	0,6	0,63	5	0,61	2	0,61	2	0,61	2	0,61	2	0,61	2
7 Produktionsflexibilität	0,13	0,24	85	0,19	46	0,19	46	0,19	46	0,19	46	0,19	46
8 5S-Niveau der Fertigung	0,59	0,62	5	0,61	3	0,61	3	0,61	3	0,61	3	0,61	3
9 Umlaufbestand	-0,59	-0,74	25	-0,71	20	-0,71	20	-0,71	20	-0,71	20	-0,71	20
11 Durchlaufzeit	-0,29	-0,42	45	-0,35	21	-0,35	21	-0,35	21	-0,35	21	-0,35	21
12 Leistungsniveau der Logistik	0,29	0,3	3	0,3	3	0,3	3	0,3	3	0,3	3	0,3	3
13 Qualität beim Glätten d. Teileklassen	-0,09	0,22	344	0,09	200	0,09	200	0,09	200	0,09	200	0,09	200
15 Planungsqualität der Aufträge	0,05	0,2	300	0,29	480	0,29	480	0,29	480	0,29	480	0,29	480
16 Variabilität der Liegezeit	-0,17	-0,54	218	-0,23	35	-0,23	35	-0,23	35	-0,23	35	-0,23	35
Summe der Verbesserung			64		39		39		64		39		39

Tabelle 80: Simulationsläufe Stufe 6

Stufe 6: Optimierung Var. 14 Grad der Priorisierung der Aufträge		Ausgangs-Änderung 5-06																	
Variable	Ausgangs- zustand	Var 1-3	Δ [%]	Änderung 5-01	Var 8-2	Δ [%]	Änderung 5-02	Var 10	Δ [%]	Änderung 5-03	Var 12-1	Δ [%]	Änderung 5-04	Var 13-1	Δ [%]	Änderung 5-05	Var 14	Δ [%]	
1 Mitarbeiterproduktivität	0,37	0,42	14	0,38	3	0,39	5	0,39	5	0,39	5	0,37	0	0,37	0	0,37	0	0,37	0
1-2 Varianz bei der Ausführung der Aufgaben	-0,15	-0,42	180	-0,22	47	-0,24	60	-0,24	60	-0,24	60	-0,15	0	-0,15	0	-0,15	0	-0,15	0
3 Flächenproduktivität	0,36	0,37	3	0,44	22	0,38	6	0,37	6	0,37	6	0,41	14	0,42	17	0,41	14	0,42	17
4 Planbarkeit der Aufträge - Zuverlässigkeit	0	0	0	0,02	200	0,04	400	0,02	200	0,02	200	0,02	200	0,02	200	0,02	200	0,02	2000
5 Liefertreue	0,09	0,09	0	0,1	11	0,12	33	0,1	11	0,12	33	0,1	11	0,1	11	0,1	11	0,12	33
6 Anlagenproduktivität	0,63	0,68	8	0,8	27	0,65	3	0,65	3	0,65	3	0,67	6	0,67	6	0,67	6	0,67	6
7 Produktionsflexibilität	0,21	0,22	5	0,25	19	0,39	86	0,22	5	0,32	52	0,32	52	0,32	52	0,32	52	0,32	52
8 5S-Niveau der Fertigung	0,61	0,62	2	0,9	48	0,62	2	0,61	2	0,61	2	0,63	3	0,63	3	0,63	3	0,64	5
9 Umlaufbestand	-0,7	-0,74	6	-0,78	11	-0,74	6	-0,72	6	-0,72	6	-0,82	17	-0,82	17	-0,82	17	-0,85	21
11 Durchlaufzeit	-0,46	-0,47	2	-0,52	13	-0,59	28	-0,52	13	-0,52	13	-0,52	13	-0,52	13	-0,52	13	-0,59	28
12 Leistungsniveau der Logistik	0,46	0,46	0	0,52	13	0,73	59	0,73	59	0,73	59	0,46	0	0,46	0	0,46	0	0,46	0
13 Qualität beim Glätten d. Teileklassen	0,12	0,13	8	0,14	17	0,17	42	0,17	42	0,15	25	0,42	250	0,44	267	0,42	250	0,44	267
15 Planungsqualität der Aufträge	0,17	0,17	0	0,2	18	0,24	41	0,18	6	0,18	6	0,19	12	0,31	82	0,19	12	0,31	82
16 Variabilität der Liegezeit	-0,64	-0,66	3	-0,75	17	-0,94	47	-0,66	3	-0,66	3	-0,74	16	-1,02	59	-0,74	16	-1,02	59
Summe der Verbesserung			28		53		48		23		35		61		61		35		61

Stufe 6: Optimierung Var. 14 Grad der Priorisierung der Aufträge		Ausgangs-Änderung 5-07																	
Variable	Ausgangs- zustand	Var 15-1	Δ [%]	Änderung 5-01	Var 8-2	Δ [%]	Änderung 5-02	Var 10	Δ [%]	Änderung 5-03	Var 12-1	Δ [%]	Änderung 5-04	Var 13-1	Δ [%]	Änderung 5-05	Var 14	Δ [%]	
1 Mitarbeiterproduktivität	0,37	0,37	0	0,38	3	0,39	5	0,39	5	0,39	5	0,37	0	0,37	0	0,37	0	0,37	0
1-2 Varianz bei der Ausführung der Aufgaben	-0,15	-0,15	0	-0,22	47	-0,24	60	-0,24	60	-0,24	60	-0,15	0	-0,15	0	-0,15	0	-0,15	0
3 Flächenproduktivität	0,36	0,4	11	0,44	22	0,38	6	0,37	6	0,37	6	0,41	14	0,42	17	0,41	14	0,42	17
4 Planbarkeit der Aufträge - Zuverlässigkeit	0	0,17	1700	0,02	200	0,04	400	0,02	200	0,02	200	0,02	200	0,02	200	0,02	200	0,02	2000
5 Liefertreue	0,09	0,1	11	0,1	11	0,12	33	0,1	11	0,12	33	0,1	11	0,1	11	0,1	11	0,12	33
6 Anlagenproduktivität	0,63	0,65	3	0,8	27	0,65	3	0,65	3	0,65	3	0,67	6	0,67	6	0,67	6	0,67	6
7 Produktionsflexibilität	0,21	0,27	29	0,25	19	0,39	86	0,22	5	0,32	52	0,32	52	0,32	52	0,32	52	0,32	52
8 5S-Niveau der Fertigung	0,61	0,63	3	0,9	48	0,62	2	0,61	2	0,61	2	0,63	3	0,63	3	0,63	3	0,64	5
9 Umlaufbestand	-0,7	-0,82	17	-0,78	11	-0,74	6	-0,72	6	-0,72	6	-0,82	17	-0,82	17	-0,82	17	-0,85	21
11 Durchlaufzeit	-0,46	-0,51	11	-0,52	13	-0,59	28	-0,52	13	-0,52	13	-0,52	13	-0,52	13	-0,52	13	-0,59	28
12 Leistungsniveau der Logistik	0,46	0,46	0	0,52	13	0,73	59	0,73	59	0,73	59	0,46	0	0,46	0	0,46	0	0,46	0
13 Qualität beim Glätten d. Teileklassen	0,12	0,3	150	0,14	17	0,17	42	0,17	42	0,15	25	0,42	250	0,44	267	0,42	250	0,44	267
15 Planungsqualität der Aufträge	0,17	0,4	135	0,2	18	0,24	41	0,18	6	0,18	6	0,19	12	0,31	82	0,19	12	0,31	82
16 Variabilität der Liegezeit	-0,64	-0,71	11	-0,64	3	-0,75	17	-0,66	3	-0,66	3	-0,74	16	-1,02	59	-0,74	16	-1,02	59
Summe der Verbesserung			32		53		48		23		35		61		61		35		61

Tabelle 81: Simulationsläufe Stufe 7

Stufe 7: Optimierung Var. 8-2 Bewusstseins + Aktivität für 5S		Ausgangs-		Änderung 6-01		Änderung 6-02		Änderung 6-03		Änderung 6-04		Änderung 6-05		Änderung 6-06		
		zustand	Var 1-3	Δ [%]	Var 8-2	Δ [%]	Var 10	Δ [%]	Var 12	Δ [%]	Var 13	Δ [%]	Var 15	Δ [%]	Var 15	Δ [%]
1	Mitarbeiterproduktivität	0,37	0,43	16	0,39	5	0,39	5	0,39	5	0,37	0	0,37	0	0,37	0
1-2	Varianz bei der Ausführung der Aufgaben	-0,15	-0,43	187	-0,23	53	-0,25	67	-0,25	67	-0,16	7	-0,16	7	-0,16	7
3	Flächenproduktivität	0,42	0,43	2	0,5	19	0,43	2	0,43	2	0,46	10	0,46	10	0,46	10
4	Planbarkeit der Aufträge - Zuverlässigkeit	0,2	0,2	0	0,22	10	0,24	20	0,22	10	0,22	10	0,22	10	0,38	90
5	Liefertreue	0,12	0,12	0	0,13	8	0,14	17	0,13	8	0,13	8	0,13	8	0,13	8
6	Anlagenproduktivität	0,67	0,72	7	0,83	24	0,69	3	0,69	3	0,7	4	0,68	1	0,68	1
7	Produktionsflexibilität	0,32	0,33	3	0,36	13	0,5	56	0,33	3	0,43	34	0,39	22	0,66	3
8	5S-Niveau der Fertigung	0,64	0,64	0	0,92	44	0,65	2	0,64	0	0,66	3	0,66	3	0,66	3
9	Umlaufbestand	-0,85	-0,88	4	-0,92	8	-0,89	5	-0,87	2	-0,97	14	-0,97	14	-0,97	14
11	Durchlaufzeit	-0,59	-0,6	2	-0,64	8	-0,71	20	-0,65	10	-0,65	10	-0,65	10	-0,64	8
12	Leistungsniveau der Logistik	0,46	0,46	0	0,52	13	0,74	61	0,74	61	0,47	2	0,47	2	0,47	2
13	Qualität beim Glätten d. Teileklassen	0,44	0,44	0	0,46	5	0,48	9	0,46	5	0,73	66	0,62	41	0,62	41
15	Planungsqualität der Aufträge	0,31	0,32	3	0,34	10	0,39	26	0,32	3	0,34	10	0,55	77	0,55	77
16	Variabilität der Liegezeit	-1,02	-1,04	2	-1,13	11	-1,31	28	-1,03	1	-1,11	9	-1,09	7	-1,09	7
	Summe der Verbesserung			28		46		30		19		27		24		24

Tabelle 82: Simulationsläufe Stufe 8

Variable	Stufe 8: Optimierung Var. 13-2 Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters																
	Ausgangszustand	Änderung 7-01	Änderung 7-02	Änderung 7-03	Änderung 7-04	Änderung 7-05	Änderung 7-06	Änderung 7-07	Änderung 7-08	Änderung 7-09	Änderung 7-10	Änderung 7-11	Änderung 7-12	Änderung 7-13	Änderung 7-14	Änderung 7-15	
	Var 1-3	Var 1-3	Var 10	Var 10	Var 12	Var 12	Var 13	Var 13	Var 15								
1 Mitarbeiterproduktivität	0,39	0,44	1,3	0,4	3	0,4	3	0,39	0	0,39	0	0,39	0	0,39	0	0,39	0
1-2 Varianz bei der Ausführung der Aufgaben	-0,23	-0,5	1,17	-0,32	39	-0,32	39	-0,24	4	-0,24	4	-0,24	4	-0,24	4	-0,24	4
3 Flächenproduktivität	0,5	0,51	2	0,51	2	0,51	2	0,54	8	0,54	8	0,54	8	0,54	8	0,54	8
4 Planbarkeit der Aufträge - Zuverlässigkeit	0,22	0,22	0	0,26	18	0,24	9	0,24	9	0,24	9	0,24	9	0,24	9	0,24	9
5 Liefertreue	0,13	0,13	0	0,15	15	0,14	8	0,14	8	0,14	8	0,14	8	0,14	8	0,14	8
6 Anlagenproduktivität	0,83	0,88	6	0,85	2	0,85	2	0,87	5	0,85	2	0,87	5	0,85	2	0,85	2
7 Produktionsflexibilität	0,36	0,37	3	0,54	50	0,37	3	0,47	31	0,47	31	0,47	31	0,47	31	0,47	31
8 SS-Niveau der Fertigung	0,92	0,93	1	0,93	1	0,93	1	0,95	3	0,95	3	0,95	3	0,95	3	0,95	3
9 Umlaufbestand	-0,92	-0,96	4	-0,96	4	-0,94	2	-1,04	13	-1,04	13	-1,04	13	-1,04	13	-1,04	13
11 Durchlaufzeit	-0,64	-0,66	3	-0,77	20	-0,71	11	-0,7	9	-0,7	9	-0,7	9	-0,7	9	-0,7	9
12 Leistungsniveau der Logistik	0,52	0,52	0	0,79	52	0,79	52	0,79	52	0,79	52	0,79	52	0,79	52	0,79	52
13 Qualität beim Glätten d. Teileklassen	0,46	0,46	0	0,5	9	0,48	4	0,75	63	0,75	63	0,75	63	0,75	63	0,75	63
15 Planungsqualität der Aufträge	0,34	0,35	3	0,41	21	0,35	3	0,37	9	0,37	9	0,37	9	0,37	9	0,37	9
16 Variabilität der Liegezeit	-1,13	-1,15	2	-1,42	26	-1,14	1	-1,22	8	-1,22	8	-1,22	8	-1,22	8	-1,22	8
Summe der Verbesserung			24		25		15		26		26		26		26		23

Tabelle 83: Simulationsläufe Stufe 9

Variable	Stufe 9: Optimierung Var. 10 Qualität des Fertigungsflusses															
	Ausgangszustand	Änderung Var 1-3 Δ [%]	Änderung 8-0 Δ [%]	Änderung 8-02 Δ [%]	Änderung 8-03 Δ [%]	Änderung 8-04 Δ [%]	Var 10 Δ [%]	Änderung 8-02 Δ [%]	Änderung 8-03 Δ [%]	Änderung 8-04 Δ [%]	Var 15 Δ [%]	Änderung 8-04 Δ [%]	Var 15 Δ [%]	Änderung 8-04 Δ [%]	Var 15 Δ [%]	Änderung 8-04 Δ [%]
1 Mitarbeiterproduktivität	0,39	0,44	13	0,41	5	0,41	5	0,41	5	0,41	5	0,39	0			
1-2 Varianz bei der Ausführung der Aufgaben	-0,24	-0,51	113	-0,33	38	-0,33	38	-0,33	38	-0,33	38	-0,24	0			
3 Flächenproduktivität	0,54	0,56	4	0,56	4	0,55	4	0,55	2	0,59	9					
4 Planbarkeit der Aufträge - Zuverlässigkeit	0,24	0,24	0	0,28	17	0,26	8	0,42	75							
5 Liefertreue	0,14	0,14	0	0,17	21	0,15	7	0,15	7							
6 Anlagenproduktivität	0,87	0,92	6	0,89	2	0,89	2	0,89	2	0,88	1					
7 Produktionsflexibilität	0,47	0,48	2	0,65	38	0,48	2	0,95	0	0,97	2					
8 5S-Niveau der Fertigung	0,95	0,95	0	0,96	1	0,95	0	0,95	0	0,97	2					
9 Umlaufbestand	-1,04	-1,07	3	-1,08	4	-1,06	2	-1,15	11							
11 Durchlaufzeit	-0,7	-0,72	3	-0,83	19	-0,77	10	-0,76	9							
12 Leistungsniveau der Logistik	0,53	0,53	0	0,8	51	0,8	51	0,53	0							
13 Qualität beim Glätten d. Teileklassen	0,75	0,76	1	0,79	5	0,77	3	0,93	24							
15 Planungsqualität der Aufträge	0,37	0,37	0	0,44	19	0,38	3	0,6	62							
16 Variabilität der Liegezeit	-1,22	-1,24	2	-1,52	25	-1,23	1	-1,29	6							
Summe der Verbesserung			22		33		17		19							

Tabelle 84: Simulationsläufe Stufe 10

Variable	Stufe 10: Optimierung Var. 1-3 Bewusstsein und Aktivität für Standardisierung					
	Ausgangszustand	Änderung Var 1-3 Δ [%]	Änderung 9-01 Δ [%]	Änderung 9-02 Δ [%]	Änderung 9-03 Δ [%]	Änderung 9-04 Δ [%]
1 Mitarbeiterproduktivität	0,41	0,46	12	0,42	2	0,41
1-2 Varianz bei der Ausführung der Aufgaben	-0,33	-0,6	82	-0,42	27	-0,34
3 Flächenproduktivität	0,56	0,57	2	0,57	2	0,6
4 Planbarkeit der Aufträge - Zuverlässigkeit	0,28	0,29	4	0,3	7	0,46
5 Liefertreue	0,17	0,17	0	0,18	6	0,18
6 Anlagenproduktivität	0,89	0,94	6	0,91	2	0,9
7 Produktionsflexibilität	0,65	0,66	2	0,66	2	0,71
8 5S-Niveau der Fertigung	0,96	0,96	0	0,96	0	0,98
9 Umlaufbestand	-1,08	-1,11	3	-1,1	2	-1,19
11 Durchlaufzeit	-0,83	-0,85	2	-0,89	7	-0,88
12 Leistungsniveau der Logistik	0,8	0,8	0	1,07	34	0,8
13 Qualität beim Glätten d. Teileklassen	0,79	0,8	1	0,82	4	0,97
15 Planungsqualität der Aufträge	0,44	0,44	0	0,45	2	0,67
16 Variabilität der Liegezeit	-1,52	-1,53	1	-1,53	1	-1,58
Summe der Verbesserung			21		13	17

Tabelle 85: Simulationsläufe Stufe 11

Variable	Ausgangs- zustand		Änderung 10-1		Änderung 10-2	
	Var 12- Δ [%]	Var 15- Δ [%]	Var 12- Δ [%]	Var 15- Δ [%]	Var 15- Δ [%]	Var 15- Δ [%]
1 Mitarbeiterproduktivität	0,46	0,48	0,46	0,48	4	0,46
1-2 Varianz bei der Ausführung der Aufgaben	-0,61	-0,7	-0,6	-0,7	17	-0,61
3 Flächenproduktivität	0,61	0,62	0,57	0,58	2	0,61
4 Planbarkeit der Aufträge - Zuverlässigkeit	0,47	0,49	0,29	0,31	7	0,47
5 Liefertreue	0,18	0,19	0,17	0,18	6	0,18
6 Anlagenproduktivität	0,95	0,97	0,94	0,96	2	0,95
7 Produktionsflexibilität	0,72	0,73	0,66	0,67	2	0,72
8 5S-Niveau der Fertigung	0,98	0,99	0,96	0,97	1	0,98
9 Umlaufbestand	-1,22	-1,24	-1,11	-1,13	2	-1,22
11 Durchlaufzeit	-0,9	-0,96	-0,85	-0,91	7	-0,9
12 Leistungsniveau der Logistik	0,8	1,08	0,8	1,07	34	0,8
13 Qualität beim Glätten d. Teileklassen	0,98	1	0,8	0,82	3	0,98
15 Planungsqualität der Aufträge	0,68	0,69	0,44	0,45	2	0,68
16 Variabilität der Liegezeit	-1,6	-1,61	-1,53	-1,55	1	-1,6
Summe der Verbesserung					14	
						17

Tabelle 86: Simulationsläufe Stufe 12

Variable	Ausgangs- zustand		Änderung 11-1	
	Var 12- Δ [%]	Var 11- Δ [%]	Var 12- Δ [%]	Var 11- Δ [%]
1 Mitarbeiterproduktivität	0,46	0,48	4	4
1-2 Varianz bei der Ausführung der Aufgaben	-0,61	-0,7	15	15
3 Flächenproduktivität	0,61	0,62	2	2
4 Planbarkeit der Aufträge - Zuverlässigkeit	0,47	0,49	4	4
5 Liefertreue	0,18	0,19	6	6
6 Anlagenproduktivität	0,95	0,97	2	2
7 Produktionsflexibilität	0,72	0,73	1	1
8 5S-Niveau der Fertigung	0,98	0,99	1	1
9 Umlaufbestand	-1,22	-1,24	2	2
11 Durchlaufzeit	-0,9	-0,96	7	7
12 Leistungsniveau der Logistik	0,8	1,08	35	35
13 Qualität beim Glätten d. Teileklassen	0,98	1	2	2
15 Planungsqualität der Aufträge	0,68	0,69	1	1
16 Variabilität der Liegezeit	-1,6	-1,61	1	1
Summe der Verbesserung			14	14

9.9 Simulationsergebnisse zur Reihenfolge 2 für die mehrstufige TF

Tabelle 87: Simulationsläufe Stufe 1

Stufe 1: Optimierung Var. 13-3 Harmonisierung der Losdauer															
Variable	Ausgangs- zustand		Änderung 0-01		Änderung 0-02		Änderung 0-03		Änderung 0-04		Änderung 0-05		Änderung 0-06		
	Var 1-3	Var 1-6	Var 1-6	Var 2-2	Var 2-2	Var 2-2	Var 6-2	Var 6-3	Var 6-2	Var 6-3	Var 6-2	Var 6-3	Var 8-2	Var 8-2	
1	0,09	0,15	67	0,33	267	0,1	11	0,1	11	0,1	11	0,1	11	0,11	22
1-2	-0,13	-0,4	208	0,03	123	-0,15	15	-0,18	38	-0,18	38	-0,18	38	-0,21	62
3	0,06	0,07	17	0,07	17	0,16	167	0,13	117	0,13	117	0,13	117	0,14	133
4	-0,15	-0,14	7	-0,14	7	-0,11	27	-0,12	20	-0,12	20	-0,12	20	-0,13	13
5	0,01	0,01	0	0,01	0	0,03	200	0,02	100	0,02	100	0,02	100	0,02	100
6	0,15	0,2	33	0,11	-27	0,11	-27	0,42	180	0,42	180	0,42	180	0,32	113
7	0,01	0,02	100	0	-100	0,01	0	0,07	600	0,07	600	0,07	600	0,05	400
8	0,16	0,17	6	0,17	6	0,22	38	0,34	113	0,34	113	0,34	113	0,45	181
9	-0,07	-0,1	43	-0,11	57	-0,35	400	-0,18	157	-0,18	157	-0,18	157	-0,14	100
11	-0,04	-0,05	25	-0,05	25	0,22	275	-0,11	175	-0,11	175	-0,11	175	-0,1	150
12	0,21	0,21	0	0,21	0	0,22	5	0,24	14	0,24	14	0,24	14	0,27	29
13	-0,18	-0,17	6	-0,17	6	-0,14	22	-0,16	11	-0,16	11	-0,16	11	-0,16	11
15	-0,04	-0,03	25	-0,03	25	-0,01	75	-0,01	75	-0,01	75	-0,01	75	-0,01	75
16	0,13	0,11	15	0,13	0	0,07	46	0,02	85	0,02	85	0,02	85	0,02	85
Summe			68		82		875		432		432		432		350

Variable	Ausgangs- zustand		Änderung 0-07		Änderung 0-08		Änderung 0-09		Änderung 0-10		Änderung 0-11		Änderung 0-12	
	Var 10	Var 12-2	Var 12-2	Var 13-2	Var 13-2	Var 13-3	Var 13-3	Var 14	Var 14	Var 15-1	Var 15-1	Var 15-1	Var 15-1	
1	0,09	0,11	22	0,11	22	0,1	11	0,11	22	0,1	11	0,1	11	
1-2	-0,13	-0,23	77	-0,22	69	-0,14	8	-0,19	46	-0,14	8	-0,14	8	
3	0,06	0,07	17	0,06	0	0,1	67	0,1	67	0,11	83	0,1	67	
4	-0,15	-0,1	33	-0,12	20	-0,13	13	-0,09	40	0,06	140	0,03	120	
5	0,01	0,03	200	0,02	100	0,02	100	0,04	300	0,03	200	0,02	100	
6	0,15	0,17	13	0,17	13	0,19	27	0,19	27	0,19	27	0,17	13	
7	0,01	0,19	1800	0,02	100	0,12	1100	0,09	800	0,12	1100	0,07	600	
8	0,16	0,17	6	0,17	6	0,19	19	0,18	13	0,19	19	0,18	13	
9	-0,07	-0,11	57	-0,09	29	-0,19	171	-0,18	157	-0,22	214	-0,18	157	
11	-0,04	-0,17	325	-0,1	150	-0,1	150	-0,21	425	-0,17	325	-0,09	125	
12	0,21	0,48	129	0,48	129	0,21	0	0,37	76	0,21	0	0,21	0	
13	-0,18	-0,14	22	-0,16	11	0,11	161	0,04	122	0,14	178	0	100	
15	-0,04	0,04	200	-0,03	25	-0,01	75	0,08	300	0,11	375	0,2	600	
16	0,13	-0,16	223	0,12	8	0,04	69	-0,35	369	-0,25	292	0,07	46	
Summe			582		279		421		882		739		382	

Tabelle 88: Simulationsläufe Stufe 2

Stufe 2: Optimierung Var. 2-2 Umfang eingesetzter Pull-Methoden																	
Variable	Ausgangszustand	Änderung 1-01	Änderung 1-02	Änderung 1-03	Änderung 1-04	Änderung 1-05	Änderung 1-06	Änderung 1-07	Änderung 1-08	Änderung 1-09	Änderung 1-10	Änderung 1-11	Änderung 1-12	Änderung 1-13	Änderung 1-14	Änderung 1-15	
	Var 1-3 Δ [%]	Var 1-6 Δ [%]	Var 2-2 Δ [%]	Var 2-2 Δ [%]	Var 6-2 Δ [%]	Var 6-3 Δ [%]	Var 8-2 Δ [%]	Var 10 Δ [%]	Var 12-2 Δ [%]	Var 13-2 Δ [%]	Var 14 Δ [%]	Var 15 Δ [%]	Var 10 Δ [%]	Var 12-2 Δ [%]	Var 13-2 Δ [%]	Var 15 Δ [%]	
1	0,11	0,16	45	0,35	218	0,11	0	0,12	9	0,12	9	0,12	9	0,12	9	0,12	9
1-2	-0,19	-0,47	147	-0,03	-84	-0,21	11	-0,24	26	-0,24	26	-0,24	26	-0,24	26	-0,24	26
3	0,1	0,11	10	0,11	10	0,2	100	0,17	70	0,17	70	0,17	70	0,17	70	0,17	70
4	-0,09	-0,09	0	-0,09	0	-0,05	44	-0,07	22	-0,07	22	-0,07	22	-0,07	22	-0,07	22
5	0,04	0,04	0	0,04	0	0,06	50	0,05	25	0,05	25	0,05	25	0,05	25	0,05	25
6	0,19	0,24	26	0,15	-21	0,14	-26	0,45	137	0,45	137	0,45	137	0,45	137	0,45	137
7	0,09	0,1	11	0,08	-11	0,09	0	0,15	67	0,15	67	0,15	67	0,15	67	0,15	67
8	0,18	0,19	6	0,19	6	0,24	33	0,37	106	0,37	106	0,37	106	0,37	106	0,37	106
9	-0,18	-0,21	17	-0,22	22	-0,46	156	-0,29	61	-0,29	61	-0,29	61	-0,29	61	-0,29	61
11	-0,21	-0,22	5	-0,22	5	-0,31	48	-0,27	29	-0,27	29	-0,27	29	-0,27	29	-0,27	29
12	0,37	0,37	0	0,37	0	0,38	3	0,41	11	0,41	11	0,41	11	0,41	11	0,41	11
13	0,04	0,04	0	0,04	0	0,07	75	0,06	50	0,06	50	0,06	50	0,06	50	0,06	50
15	0,08	0,08	0	0,08	0	0,1	25	0,11	38	0,11	38	0,11	38	0,11	38	0,11	38
16	-0,35	-0,36	3	-0,35	0	-0,41	17	-0,46	31	-0,46	31	-0,46	31	-0,46	31	-0,46	31
Summe			21				253		115		115		115		115		88

Variable	Ausgangszustand	Änderung 1-07	Änderung 1-08	Änderung 1-09	Änderung 1-10	Änderung 1-11
	Var 10 Δ [%]	Var 12-2 Δ [%]	Var 13-2 Δ [%]	Var 14 Δ [%]	Var 15 Δ [%]	Var 15 Δ [%]
1	0,11	0,13	18	0,13	18	0,11
1-2	-0,19	-0,29	53	-0,29	53	-0,2
3	0,1	0,11	10	0,11	10	0,15
4	-0,09	-0,05	44	-0,07	22	-0,07
5	0,04	0,07	75	0,05	25	0,07
6	0,19	0,21	11	0,2	5	0,22
7	0,09	0,27	200	0,1	11	0,2
8	0,18	0,19	6	0,19	6	0,21
9	-0,18	-0,22	22	-0,2	11	-0,3
11	-0,21	-0,33	57	-0,27	29	-0,26
12	0,37	0,65	76	0,65	76	0,38
13	0,04	0,08	100	0,06	50	0,33
15	0,08	0,15	88	0,09	13	0,1
16	-0,35	-0,64	83	-0,36	3	-0,44
Summe			154		65	115

Tabelle 89: Simulationsläufe Stufe 3

Stufe 3: Optimierung Var. 14 Grad der Priorisierung der Aufträge															
Variable	Ausgangszustand	Änderung 2-01	Änderung 2-02	Änderung 2-03	Änderung 2-04	Änderung 2-05	Änderung 2-06	Änderung 2-07	Änderung 2-08	Änderung 2-09	Änderung 2-10	Änderung 2-11	Änderung 2-12	Änderung 2-13	Änderung 2-14
		Var 1-3	Var 1-6	Var 6-2	Var 6-3	Var 8-2	Var 10	Var 12	Var 13-2	Var 14	Var 15-1	Var 15-2	Var 15-3	Var 15-4	Var 15-5
		Δ [%]													
1	0,11	0,16	45	0,35	218	0,12	9	0,12	9	0,12	9	0,12	9	0,12	9
1-2	-0,21	-0,48	129	-0,05	-76	-0,25	19	-0,25	19	-0,25	19	-0,28	33	-0,3	43
3	0,2	0,21	5	0,22	10	0,28	40	0,28	40	0,28	40	0,28	40	0,22	10
4	-0,05	-0,05	0	-0,05	0	-0,03	40	-0,03	40	-0,03	40	-0,03	40	-0,01	80
5	0,06	0,07	17	0,07	17	0,08	33	0,08	33	0,08	33	0,07	17	0,09	50
6	0,14	0,19	36	0,1	-29	0,41	193	0,41	193	0,41	193	0,31	121	0,16	14
7	0,09	0,11	22	0,09	0	0,15	67	0,15	67	0,15	67	0,13	44	0,27	200
8	0,24	0,25	4	0,25	4	0,42	75	0,42	75	0,42	75	0,53	121	0,25	4
9	-0,46	-0,49	7	-0,49	7	-0,56	22	-0,56	22	-0,56	22	-0,53	15	-0,5	9
11	-0,31	-0,33	6	-0,33	6	-0,38	23	-0,38	23	-0,38	23	-0,37	19	-0,44	42
12	0,38	0,39	3	0,39	3	0,42	11	0,42	11	0,42	11	0,44	16	0,66	74
13	0,07	0,08	14	0,08	14	0,1	43	0,1	43	0,1	43	0,09	29	0,12	71
15	0,1	0,11	10	0,11	10	0,13	30	0,13	30	0,13	30	0,13	30	0,18	80
16	-0,41	-0,43	5	-0,41	0	-0,53	29	-0,53	29	-0,53	29	-0,52	27	-0,7	71
Summe			30		30		78		78		78		51		101

Variable	Ausgangszustand	Änderung 2-07	Änderung 2-08	Änderung 2-09	Änderung 2-10
		Var 12	Var 13-2	Var 14	Var 15-1
		Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]
1	0,11	0,13	18	0,11	0
1-2	-0,21	-0,3	43	-0,21	0
3	0,2	0,21	5	0,25	30
4	-0,05	-0,03	40	-0,03	400
5	0,06	0,08	33	0,07	17
6	0,14	0,16	14	0,18	29
7	0,09	0,1	11	0,2	133
8	0,24	0,24	0	0,26	8
9	-0,46	-0,48	4	-0,57	24
11	-0,31	-0,38	23	-0,37	19
12	0,38	0,66	74	0,39	3
13	0,07	0,1	43	0,37	429
15	0,1	0,11	10	1	150
16	-0,41	-0,42	2	0,13	93
Summe			60		122

Tabelle 90: Simulationsläufe Stufe 4

Stufe 4: Optimierung Var. 10 Qualität des Fertigungsflusses

Variable	Ausgangszustand	Änderung 3-01	Änderung 3-02	Änderung 3-03	Änderung 3-04	Änderung 3-05	Änderung 3-06		
	Var 1-3	Var 1-6	Var 6-2	Var 6-3	Var 8-2	Var 10	Var 10		
	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]		
1	0,11	0,17	55	0,35	218	0,12	9	0,13	18
1-2	-0,21	-0,49	133	-0,06	-71	-0,26	24	-0,29	38
3	0,26	0,27	4	0,27	4	0,33	27	0,34	31
4	0,15	0,15	0	0,15	0	0,17	13	0,17	13
5	0,09	0,09	0	0,09	0	0,1	11	0,1	11
6	0,18	0,23	28	0,14	-22	0,44	144	0,34	89
7	0,21	0,22	5	0,2	-5	0,27	29	0,25	19
8	0,27	0,27	0	0,28	4	0,45	67	0,56	107
9	-0,16	-0,63	5	-0,64	7	-0,71	18	-0,68	13
11	-0,44	-0,46	5	-0,45	2	-0,51	16	-0,51	14
12	0,39	0,39	0	0,39	0	0,43	10	0,43	15
13	0,39	0,39	0	0,39	0	0,41	5	0,41	5
15	0,25	0,25	0	0,25	0	0,28	12	0,28	12
16	-0,79	-0,81	3	-0,79	0	-0,9	14	-0,9	14
Summe			10		9		45		38

Variable	Ausgangszustand	Änderung 3-07	Änderung 3-08	Änderung 3-09
	Var 12	Var 13-2	Var 15-1	Var 15-1
	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]
1	0,11	0,13	18	0,11
1-2	-0,21	-0,31	48	-0,22
3	0,26	0,27	4	0,3
4	0,15	0,17	13	0,17
5	0,09	0,1	11	0,1
6	0,18	0,2	11	0,21
7	0,21	0,22	5	0,31
8	0,27	0,27	0	0,29
9	-0,6	-0,62	3	-0,72
11	-0,44	-0,5	14	-0,5
12	0,39	0,66	69	0,39
13	0,39	0,41	5	0,68
15	0,25	0,26	4	0,27
16	-0,79	-0,8	1	-0,88
Summe			28	45

Tabelle 91: Simulationsläufe Stufe 5

Stufe 5: Optimierung Var. 13-2 Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters															
Variable	Ausgangszustand	Änderung 4-01	Änderung 4-02	Änderung 4-03	Änderung 4-04	Änderung 4-05	Änderung 4-06	Änderung 4-07	Änderung 4-08	Änderung 4-09	Änderung 4-10	Änderung 4-11	Änderung 4-12	Änderung 4-13	Änderung 4-14
	Var 1-3	Var 1-3	Var 1-6	Var 6-2	Var 6-3	Var 8-2	Var 12-1	Var 13	Var 15-1	Var 16	Var 17	Var 18	Var 19	Var 20	Var 21
	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]
1	0,13	0,18	38	0,37	185	0,14	8	0,14	8	0,15	15	0,15	15	0,15	15
1-2	-0,31	-0,58	87	-0,15	-52	-0,36	16	-0,36	16	-0,39	26	-0,39	26	-0,4	29
3	0,27	0,29	7	0,29	7	0,35	30	0,35	30	0,36	33	0,36	33	0,28	4
4	0,19	0,2	5	0,2	5	0,22	16	0,22	16	0,21	11	0,21	11	0,21	11
5	0,11	0,12	9	0,12	9	0,13	18	0,13	18	0,13	18	0,13	18	0,13	18
6	0,2	0,25	25	0,16	-20	0,46	130	0,46	130	0,36	80	0,36	80	0,21	5
7	0,39	0,4	3	0,38	-3	0,45	15	0,45	15	0,43	10	0,43	10	0,4	3
8	0,28	0,28	0	0,28	0	0,46	64	0,46	64	0,56	100	0,56	100	0,28	0
9	-0,64	-0,67	5	-0,68	6	-0,75	17	-0,75	17	-0,72	13	-0,72	13	-0,66	3
11	-0,57	-0,58	2	-0,58	2	-0,63	11	-0,63	11	-0,63	11	-0,63	11	-0,63	11
12	0,66	0,66	0	0,66	0	0,7	6	0,7	6	0,72	9	0,72	9	0,94	42
13	0,43	0,44	2	0,44	2	0,46	7	0,46	7	0,45	5	0,45	5	0,45	5
15	0,32	0,33	3	0,32	0	0,35	9	0,35	9	0,35	9	0,35	9	0,33	3
16	-1,08	-1,1	2	-1,08	0	-1,2	11	-1,2	11	-1,19	10	-1,19	10	-1,09	1
Summe			16		17		46		46		41		41		32

Ausgangs-Änderung 4-07			Änderung 4-08			
Variable	Ausgangszustand	Änderung 4-07	Änderung 4-08	Änderung 4-09	Änderung 4-10	Änderung 4-11
	Var 13	Var 13	Var 15-1	Var 16	Var 17	Var 21
	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]
1	0,13	0,13	0	0,13	0	0
1-2	-0,31	-0,32	3	-0,31	0	0
3	0,27	0,32	19	0,32	19	19
4	0,19	0,21	11	0,37	95	95
5	0,11	0,13	18	0,12	9	9
6	0,2	0,23	15	0,21	5	5
7	0,39	0,49	26	0,45	15	15
8	0,28	0,3	7	0,3	7	7
9	-0,64	-0,76	19	-0,76	19	19
11	-0,57	-0,63	11	-0,62	9	9
12	0,66	0,67	2	0,67	2	2
13	0,43	0,73	70	0,61	42	42
15	0,32	0,35	9	0,56	75	75
16	-1,08	-1,18	9	-1,15	6	6
Summe			47		37	37

Tabelle 92: Simulationsläufe Stufe 6

Stufe 6: Optimierung Var. 6-2 Qualität Rüstablauf															
Variable	Ausgangszustand	Änderung 5-01	Änderung 5-02	Änderung 5-03	Änderung 5-04	Änderung 5-05	Änderung 5-06	Änderung 5-07	Änderung 5-08	Änderung 5-09	Änderung 5-10	Änderung 5-11	Änderung 5-12	Änderung 5-13	Änderung 5-14
	Var 1-3	Var 1-3	Var 1-6	Var 6-2	Var 6-3	Var 8-2	Var 12-1	Var 15							
	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]
1	0,13	0,19	46	0,37	185	0,14	8	0,14	8	0,15	15	0,15	15	0,15	15
1-2	-0,32	-0,59	84	-0,16	-50	-0,36	13	-0,36	13	-0,39	22	-0,41	28	-0,41	28
3	0,32	0,33	3	0,33	3	0,39	22	0,39	22	0,4	25	0,33	3	0,33	3
4	0,21	0,22	5	0,22	5	0,24	14	0,24	14	0,23	10	0,24	14	0,24	14
5	0,13	0,13	0	0,13	0	0,14	8	0,14	8	0,14	8	0,14	8	0,14	8
6	0,23	0,28	22	0,19	-17	0,5	117	0,5	117	0,4	74	0,25	9	0,25	9
7	0,49	0,5	2	0,49	0	0,55	12	0,55	12	0,53	8	0,5	2	0,5	2
8	0,3	0,31	3	0,31	3	0,48	60	0,48	60	0,59	97	0,3	0	0,3	0
9	-0,76	-0,79	4	-0,8	5	-0,87	14	-0,87	14	-0,83	9	-0,78	3	-0,78	3
11	-0,63	-0,64	2	-0,64	2	-0,69	10	-0,69	10	-0,68	8	-0,69	10	-0,69	10
12	0,67	0,67	0	0,67	0	0,7	4	0,7	4	0,73	9	0,74	40	0,74	40
13	0,73	0,73	0	0,73	0	0,75	3	0,75	3	0,73	9	0,75	3	0,75	3
15	0,35	0,35	0	0,35	0	0,38	9	0,38	9	0,38	9	0,38	9	0,38	9
16	-1,18	-1,19	1	-1,18	0	-1,29	9	-1,29	9	-1,28	8	-1,19	1	-1,19	1
Summe			6		7		32		32		25		20		20

Variable	Ausgangszustand	Änderung 5-07	Änderung 5-08	Änderung 5-09
	Var 15	Var 15	Var 15	Var 15
	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]
1	0,13	0,13	0	0
1-2	-0,32	-0,32	0	0
3	0,32	0,36	13	13
4	0,21	0,39	86	86
5	0,13	0,14	8	8
6	0,23	0,25	9	9
7	0,49	0,56	14	14
8	0,3	0,32	7	7
9	-0,76	-0,87	14	14
11	-0,63	-0,68	8	8
12	0,67	0,67	0	0
13	0,73	0,9	23	23
15	0,35	0,58	66	66
16	-1,18	-1,24	5	5
Summe			30	30

Tabelle 93: Simulationsläufe Stufe 7

Stufe 7: Optimierung Var. 6-3 Qualität der Wartungsaktivitäten																	
Variable	Ausgangszustand	Änderung 6-0	Änderung 6-1	Änderung 6-2	Änderung 6-3	Änderung 6-4	Änderung 6-5	Änderung 6-6	Änderung 6-7	Änderung 6-8	Änderung 6-9	Änderung 6-10	Änderung 6-11	Änderung 6-12	Änderung 6-13	Änderung 6-14	Änderung 6-15
	Var 1-3	Var 1-3	Var 1-6	Var 1-6	Var 6-3	Var 8-2	Var 8-2	Var 12-1	Var 12-1	Var 15-1	Var 15-1	Var 15-1	Var 15-1				
1	0,14	0,2	43	0,38	171	0,15	7	0,16	14	0,16	14	0,16	14	0,14	0	0	0
1-2	-0,36	-0,64	78	-0,21	-42	-0,41	14	-0,44	22	-0,46	28	-0,46	28	-0,37	3	3	3
3	0,39	0,4	3	0,41	5	0,46	18	0,47	21	0,4	3	0,4	3	0,43	10	10	10
4	0,24	0,24	0	0,24	0	0,26	8	0,26	8	0,26	8	0,26	8	0,41	71	71	71
5	0,14	0,14	0	0,14	0	0,15	7	0,15	7	0,15	7	0,15	7	0,15	7	7	7
6	0,5	0,55	10	0,46	-8	0,76	52	0,66	32	0,52	4	0,52	4	0,51	2	2	2
7	0,55	0,57	4	0,55	0	0,61	11	0,59	7	0,56	2	0,56	2	0,62	13	13	13
8	0,48	0,49	2	0,49	2	0,66	38	0,77	60	0,49	2	0,49	2	0,5	4	4	4
9	-0,87	-0,9	3	-0,9	3	-0,97	11	-0,94	8	-0,89	2	-0,89	2	-0,98	13	13	13
11	-0,69	-0,71	3	-0,71	3	-0,76	10	-0,75	9	-0,76	10	-0,76	10	-0,75	9	9	9
12	0,7	0,71	1	0,71	1	0,74	6	0,76	9	0,76	9	0,98	40	0,71	1	1	1
13	0,75	0,75	0	0,75	0	0,77	3	0,77	3	0,77	3	0,77	3	0,93	24	24	24
15	0,38	0,38	0	0,38	0	0,41	8	0,41	8	0,41	8	0,39	3	0,61	61	61	61
16	-1,29	-1,31	2	-1,29	0	-1,41	9	-1,4	9	-1,3	1	-1,3	1	-1,36	5	5	5
Summe			6		6		29		24		20		20		28		28

Tabelle 94: Simulationsläufe Stufe 8

Stufe 8: Optimierung Var. 15-1 Qualität der Planzeiten													
Variable	Ausgangszustand	Var 1-3 Δ [%]	Var 1-6 Δ [%]	Var 8-2 Δ [%]	Var 12-13 Δ [%]	Var 15-16 Δ [%]	Var 17-18 Δ [%]	Var 19-20 Δ [%]	Var 21-22 Δ [%]	Var 23-24 Δ [%]	Var 25-26 Δ [%]	Var 27-28 Δ [%]	Var 29-30 Δ [%]
1	0,15	0,21	40	0,39	160	0,17	13	0,17	13	0,15	0		
1-2	-0,41	-0,69	68	-0,25	-39	-0,49	20	-0,51	24	-0,42	2		
3	0,46	0,47	2	0,48	4	0,54	17	0,47	2	0,51	11		
4	0,26	0,26	0	0,26	0	0,28	8	0,28	8	0,44	69		
5	0,15	0,15	0	0,15	0	0,16	7	0,16	7	0,16	7		
6	0,76	0,81	7	0,72	-5	0,93	22	0,78	3	0,78	3		
7	0,61	0,63	3	0,61	0	0,65	7	0,63	3	0,68	11		
8	0,66	0,67	2	0,67	2	0,95	44	0,67	2	0,69	5		
9	-0,97	-1	3	-1,01	4	-1,04	7	-0,99	2	-1,09	12		
11	-0,76	-0,77	1	-0,77	1	-0,82	8	-0,82	8	-0,81	7		
12	0,74	0,74	0	0,74	0	0,8	8	1,01	36	0,75	1		
13	0,77	0,78	1	0,77	0	0,79	3	0,79	3	0,95	23		
15	0,41	0,41	0	0,41	0	0,44	7	0,42	2	0,64	56		
16	-1,41	-1,42	1	-1,41	0	-1,51	7	-1,42	1	-1,47	4		
Summe			4		5		22		17		26		

Tabelle 95: Simulationsläufe Stufe 9

Stufe 9: Optimierung Var. 12-2 Niveau Trennung Wertschöpfung und Logistik										
Variable	Ausgangszustand	Änderung 8-0								
	Var 1-3	Var 1-6								
	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]
1	0,15	0,21	40	0,39	160	0,17	13	0,17	13	0,17
1-2	-0,42	-0,69	64	-0,26	-38	-0,5	19	-0,51	21	0,51
3	0,51	0,52	2	0,52	2	0,59	16	0,51	0	0,51
4	0,44	0,44	0	0,44	0	0,46	5	0,46	5	0,46
5	0,16	0,17	6	0,17	6	0,17	6	0,18	13	0,18
6	0,78	0,83	6	0,74	-5	0,94	21	0,8	3	0,8
7	0,68	0,69	1	0,67	-1	0,72	6	0,69	1	0,69
8	0,69	0,69	0	0,69	0	0,97	41	0,69	0	0,69
9	-1,09	-1,12	3	-1,12	3	-1,16	6	-1,1	1	-1,1
11	-0,81	-0,83	2	-0,83	2	-0,87	7	-0,88	9	-0,88
12	0,75	0,75	0	0,75	0	0,8	7	1,02	36	1,02
13	0,95	0,95	0	0,95	0	0,97	2	0,97	2	0,97
15	0,64	0,65	2	0,64	0	0,67	5	0,65	2	0,65
16	-1,47	-1,49	1	-1,47	0	-1,58	7	-1,48	1	-1,48
Summe			11		11		20		25	

Tabelle 96: Simulationsläufe Stufe 10

Stufe 10: Optimierung Var. 8-2 Bewusstsein und Aktivität für 5S										
Variable	Ausgangszustand	Änderung 9-0								
	Var 1-3	Var 1-6								
	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]
1	0,17	0,23	35	0,41	141	0,19	12	0,19	12	0,19
1-2	-0,51	-0,79	55	-0,35	-31	-0,59	16	-0,59	16	-0,59
3	0,51	0,52	2	0,53	4	0,59	16	0,51	0	0,51
4	0,46	0,46	0	0,46	0	0,48	4	0,48	4	0,48
5	0,18	0,18	0	0,18	0	0,19	6	0,19	6	0,19
6	0,8	0,84	5	0,76	-5	0,96	20	0,96	20	0,96
7	0,69	0,7	1	0,68	-1	0,73	6	0,73	6	0,73
8	0,69	0,7	1	0,7	1	0,98	42	0,98	42	0,98
9	-1,1	-1,14	4	-1,14	4	-1,18	7	-1,18	7	-1,18
11	-0,88	-0,89	1	-0,89	1	-0,93	6	-0,93	6	-0,93
12	1,02	1,02	0	1,02	0	1,08	6	1,08	6	1,08
13	0,97	0,97	0	0,97	0	0,99	2	0,99	2	0,99
15	0,65	0,66	2	0,65	0	0,68	5	0,68	5	0,68
16	-1,48	-1,5	1	-1,49	1	-1,59	7	-1,59	7	-1,59
Summe			5		5		19		19	

Tabelle 97: Simulationsläufe Stufe 11

Stufe 11: Optimierung Var. 1-3 Bewusstsein + Aktivität für Standardisierung

Variable	Ausgangszustand	Änderung Var 1-3 Δ [%]	10-0 Änderung Var 1-6 Δ [%]	10-0 Änderung Var 1-6 Δ [%]
1	0,19	0,24	26	0,43
1-2	-0,59	-0,86	46	-0,43
3	0,59	0,61	3	0,61
4	0,48	0,48	0	0,48
5	0,19	0,19	0	0,19
6	0,96	1,01	5	0,92
7	0,73	0,74	1	0,72
8	0,98	0,98	0	0,98
9	-1,18	-1,21	3	-1,21
11	-0,93	-0,95	2	-0,95
12	1,08	1,08	0	1,08
13	0,99	0,99	0	0,99
15	0,68	0,69	1	0,68
16	-1,59	-1,61	1	-1,59
Summe			5	5

Tabelle 98: Simulationsläufe Stufe 12

Stufe 12: Optimierung Var. 1-6 Grad der Mehrmaschinenbedienung

Variable	Ausgangszustand	Änderung Var 12-Δ [%]	11-0 Änderung Var 12-Δ [%]
1	0,24	0,48	100
1-2	-0,86	-0,7	-19
3	0,61	0,62	2
4	0,48	0,49	2
5	0,19	0,19	0
6	1,01	0,97	-4
7	0,74	0,73	-1
8	0,98	0,99	1
9	-1,21	-1,24	2
11	-0,95	-0,96	1
12	1,08	1,08	0
13	0,99	1	1
15	0,69	0,69	0
16	-1,61	-1,61	0
Summe			4

9.10 Gesprächsleitfaden für Experten-Interviews

Abschnitt A: zur Person und Hintergründe		Fragebogen zum Experteninterview		
1.	Alter des Interviewpartners	<input type="checkbox"/> 20-29	<input type="checkbox"/> 30-39	<input type="checkbox"/> 40-49 <input type="checkbox"/> ≥50
2.	Größe des aktuellen Unternehmens (KMU-Definition)	<input type="checkbox"/> Klein	<input type="checkbox"/> Mittel	<input type="checkbox"/> Groß
3.	aktuelle Position	<input type="checkbox"/> Operativ	<input type="checkbox"/> Projektleitung	<input type="checkbox"/> mittleres Management <input type="checkbox"/> oberes Management / Geschäftsführung
4.	aktuelle Funktion	<input type="checkbox"/> Logistik	<input type="checkbox"/> Fertigung	<input type="checkbox"/> Montage <input type="checkbox"/> Planung <input type="checkbox"/> Berater
5.	theoretische Auseinandersetzung mit Lean	<input type="checkbox"/> ≤ 5 Jahre	<input type="checkbox"/> 5-10 Jahre	<input type="checkbox"/> > 10 Jahre
6.	praktische Erfahrung mit Lean	<input type="checkbox"/> ≤ 5 Jahre	<input type="checkbox"/> 5-10 Jahre	<input type="checkbox"/> > 10 Jahre
7.	bereits für eine mehrstufige TF gearbeitet?	<input type="checkbox"/> ja und aktuell	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein
8.	Wie groß war/ist diese TF, gemessen in Anzahl Mitarbeiter?	<input type="checkbox"/> ≤ 20 Mitarbeiter	<input type="checkbox"/> 21-50 Mitarbeiter	<input type="checkbox"/> 51-100 Mitarbeiter <input type="checkbox"/> 101-200 Mitarbeiter <input type="checkbox"/> ≥201 Mitarbeiter
9.	Welche Position in der TF eingenommen?	<input type="checkbox"/> Operativ	<input type="checkbox"/> Projektleitung	<input type="checkbox"/> mittleres Management <input type="checkbox"/> oberes Management / Geschäftsführung
10.	Welche Funktion in der TF eingenommen?	<input type="checkbox"/> Logistik	<input type="checkbox"/> Fertigung	<input type="checkbox"/> Montage <input type="checkbox"/> Planung <input type="checkbox"/> Berater
11.	Versuche Lean in der TF einzuführen?	<input type="checkbox"/> ja und erfolgreich	<input type="checkbox"/> ja aber mit geringen Erfolgen	<input type="checkbox"/> nein
12.	Welche Art der Produktionsauslösung lag/liegt vor?	<input type="checkbox"/> Auftragsproduktion mit Einzelbestellung	<input type="checkbox"/> Auftragsproduktion mit Rahmenvertrag	<input type="checkbox"/> Vorratsproduktion
13.	Welche Fertigungsauftragsgröße lag/liegt vor?	<input type="checkbox"/> Serienfertigung	<input type="checkbox"/> Einzelfertigung	<input type="checkbox"/> Massenfertigung
14.	Welche Organisationsform lag/liegt in der TF vor? mehrere Antworten möglich	<input type="checkbox"/> Werkstattfertigung	<input type="checkbox"/> Gruppenfertigung	<input type="checkbox"/> Reihenfertigung <input type="checkbox"/> Einzelplatzfertigung
15.	In welcher Branche ist die TF einzuordnen?	<input type="checkbox"/> Herstellung von Metallwerkzeugen	<input type="checkbox"/> Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagen-	<input type="checkbox"/> Maschinenbau <input type="checkbox"/> Elektronik Industrie <input type="checkbox"/> Sonstige

Abbildung 61: Fragenkatalog Experten-Interviews Teil 1

16. Welche Ziele sind in der TF wichtig?	<input type="checkbox"/> sehr hoch	<input type="checkbox"/> mittel	<input type="checkbox"/> sehr niedrig	<input type="checkbox"/> weiß nicht
höhere Produktivität	<input type="checkbox"/> sehr hoch	<input type="checkbox"/> mittel	<input type="checkbox"/> sehr niedrig	<input type="checkbox"/> weiß nicht
Liefertreue	<input type="checkbox"/> sehr hoch	<input type="checkbox"/> mittel	<input type="checkbox"/> sehr niedrig	<input type="checkbox"/> weiß nicht
Kosteneinsparungen	<input type="checkbox"/> sehr hoch	<input type="checkbox"/> mittel	<input type="checkbox"/> sehr niedrig	<input type="checkbox"/> weiß nicht
Reduzierung der Durchlaufzeit	<input type="checkbox"/> sehr hoch	<input type="checkbox"/> mittel	<input type="checkbox"/> sehr niedrig	<input type="checkbox"/> weiß nicht
Flexibilität	<input type="checkbox"/> sehr hoch	<input type="checkbox"/> mittel	<input type="checkbox"/> sehr niedrig	<input type="checkbox"/> weiß nicht
Materialflussoptimierung	<input type="checkbox"/> sehr hoch	<input type="checkbox"/> mittel	<input type="checkbox"/> sehr niedrig	<input type="checkbox"/> weiß nicht
reibungslose Produktion	<input type="checkbox"/> sehr hoch	<input type="checkbox"/> mittel	<input type="checkbox"/> sehr niedrig	<input type="checkbox"/> weiß nicht
höhere Qualität	<input type="checkbox"/> sehr hoch	<input type="checkbox"/> mittel	<input type="checkbox"/> sehr niedrig	<input type="checkbox"/> weiß nicht
Vermeidung von Verschwendung	<input type="checkbox"/> sehr hoch	<input type="checkbox"/> mittel	<input type="checkbox"/> sehr niedrig	<input type="checkbox"/> weiß nicht
Transparenz	<input type="checkbox"/> sehr hoch	<input type="checkbox"/> mittel	<input type="checkbox"/> sehr niedrig	<input type="checkbox"/> weiß nicht
Vermeidung von Fehlerquellen	<input type="checkbox"/> sehr hoch	<input type="checkbox"/> mittel	<input type="checkbox"/> sehr niedrig	<input type="checkbox"/> weiß nicht
Bestandsreduzierung	<input type="checkbox"/> sehr hoch	<input type="checkbox"/> mittel	<input type="checkbox"/> sehr niedrig	<input type="checkbox"/> weiß nicht
Reduzierung der Reklamationen	<input type="checkbox"/> sehr hoch	<input type="checkbox"/> mittel	<input type="checkbox"/> sehr niedrig	<input type="checkbox"/> weiß nicht
Rüstzeitminimierung	<input type="checkbox"/> sehr hoch	<input type="checkbox"/> mittel	<input type="checkbox"/> sehr niedrig	<input type="checkbox"/> weiß nicht
gleichmäßige Auslastung	<input type="checkbox"/> sehr hoch	<input type="checkbox"/> mittel	<input type="checkbox"/> sehr niedrig	<input type="checkbox"/> weiß nicht
Mitarbeiterzufriedenheit	<input type="checkbox"/> sehr hoch	<input type="checkbox"/> mittel	<input type="checkbox"/> sehr niedrig	<input type="checkbox"/> weiß nicht
höherer Umsatz	<input type="checkbox"/> sehr hoch	<input type="checkbox"/> mittel	<input type="checkbox"/> sehr niedrig	<input type="checkbox"/> weiß nicht
Umweltbewusstsein	<input type="checkbox"/> sehr hoch	<input type="checkbox"/> mittel	<input type="checkbox"/> sehr niedrig	<input type="checkbox"/> weiß nicht
Abschnitt B: zur Lösung (Schulnotensystem 1-5)				
17. Wie gut ist der Lösungsansatz zu verstehen?	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
18. Wie gut ist der Lösungsansatz ohne Lean-Kenntnisse zu verstehen?	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
19. Welche Reihenfolge würden Sie in Ihrer TF wählen?	<input type="checkbox"/> Verfahren 1	<input type="checkbox"/> Verfahren 2	<input type="checkbox"/> keines	
20. Wie gut schätzen Sie die Realisierbarkeit von Reihenfolge 1 ein?	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
21. Wie schätzen Sie die Erfolgsaussichten für Reihenfolge 1 ein, eine Lean-Teilfertigung zu schaffen?	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
22. Wie hoch schätzen Sie die erforderliche Umsetzungsdauer für Reihenfolge 1 ein?	<input type="checkbox"/> bis zu 6 Monate	<input type="checkbox"/> 6-12 Monate	<input type="checkbox"/> 12-18 Monate	<input type="checkbox"/> 1,5-3 Jahre
23. Wie gut schätzen Sie die Realisierbarkeit von Reihenfolge 2 ein?	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
24. Wie schätzen Sie die Erfolgsaussichten für Reihenfolge 2 ein, eine Lean-Teilfertigung zu schaffen?	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
25. Wie hoch schätzen Sie die erforderliche Umsetzungsdauer für Reihenfolge 2 ein?	<input type="checkbox"/> bis zu 6 Monate	<input type="checkbox"/> 6-12 Monate	<input type="checkbox"/> 12-18 Monate	<input type="checkbox"/> 1,5-3 Jahre
				<input type="checkbox"/> > 3 Jahre

Abbildung 62: Fragenkatalog Experten-Interviews Teil 2

26. Wie schätzen Sie die einzelnen Methoden hinsichtlich Ihrer Anwendbarkeit in der Teilefertigung ein?									
Arbeiten im Takt: Harmonisierung der Losdauer	1	2	3	4	5				
Kanban und Pull: Conwip	1	2	3	4	5				
Heijunka: keine Priorisierung von Aufträgen	1	2	3	4	5				
U-Linie: Fertigungszelle	1	2	3	4	5				
Heijunka: Glätten nach Teilklassen	1	2	3	4	5				
SMED	1	2	3	4	5				
TPM	1	2	3	4	5				
Arbeiten im Takt: Planzeiten aktualisieren	1	2	3	4	5				
JIT/JIS: Trennung Wertschöpfung und Logistik	1	2	3	4	5				
5S	1	2	3	4	5				
Standardisierung	1	2	3	4	5				
U-Linie: Mehrmaschinenbedienung	1	2	3	4	5				
27. Welche Methoden haben Sie bereits in der eigenen TF umgesetzt? Schulnote gibt Grad der Umsetzung an 1= sehr gut und umfangreich; 5 = überhaupt nicht									
Arbeiten im Takt: Harmonisierung der Losdauer	1	2	3	4	5				
Kanban und Pull: Conwip	1	2	3	4	5				
Heijunka: keine Priorisierung von Aufträgen	1	2	3	4	5				
U-Linie: Fertigungszelle	1	2	3	4	5				
Heijunka: Glätten nach Teilklassen	1	2	3	4	5				
SMED	1	2	3	4	5				
TPM	1	2	3	4	5				
Arbeiten im Takt: Planzeiten aktualisieren	1	2	3	4	5				
JIT/JIS: Trennung Wertschöpfung und Logistik	1	2	3	4	5				
5S	1	2	3	4	5				
Standardisierung	1	2	3	4	5				
U-Linie: Mehrmaschinenbedienung	1	2	3	4	5				
Abschnitt C: offene Fragen									
28. Warum haben Sie sich für diese Reihenfolge entschieden?									
29. Welche Probleme und Hürden sehen Sie bei der Umsetzung des Konzeptes?									
30. Was wäre Ihr nächster Schritt in Ihrer Teilefertigung?									
31. Möchten Sie mir sonst noch etwas mitteilen?									
Danke für Ihre Zeit!									

Abbildung 63: Fragenkatalog Experten-Interviews Teil 3

9.11 Vorbereitungsunterlage für Experten-Interviews

ENTWICKLUNG EINES LEAN-VERFAHRENS FÜR EINE MEHRSTUFIGE TEILEFERTIGUNG UNTER ANWENDUNG DER LEAN-PRINZIPIEN

VORBEREITUNGSUNTERLAGEN FÜR
EXPERTENINTERVIEWS

29. NOVEMBER 2015

Dieses Dokument ist ausschließlich für ausgewählte Interviewpartner der Evaluierungsphase des Promotionsvorhabens vorgesehen.
Die Rechte an den Inhalten dieser Arbeit liegen ausschließlich beim Autor. Jede Form der Verteilung, Zitierung und Vervielfältigung
zum Zwecke der Weitergabe an Dritte ist nur mit vorheriger schriftlicher Genehmigung durch den Autor gestattet.

ABGRENZUNG EINFACHE SYSTEME UND VIELSTUFIGE TEILEFERTIGUNG

Gerichtete Systeme

- Mehrheit der Produkte hat gleichen Produktionsablauf, ggf. wird ein Prozess ausgelassen oder noch zusätzlich durchlaufen
- Einfacher gerichteter Materialfluss: z.B. Wareneingang; Fertigung von Teilen in einer Kunststoffspritzerei; Fertigung von Motoren; Montage; Versand
- Wenige Produktionsstufen erforderlich, um ein Teil zu fertigen bzw. ein Produkt komplett für Verkauf fertig zu stellen
- Viele Veröffentlichungen zur Vorgehensweise oder Fallbeispiele zur Einführung vorhanden (vgl. Takeda; Liker; Rother; Monden; Ohno; Womack; uvm.)

Mehrstufige Teilefertigung

- Produkte haben vielfältige Produktionsabläufe, die sich nur schwer zu wenigen Produktgruppen klassifizieren lassen
- Materialfluss ist wechselnd divergierend und oder konvergierend
- Häufig anzutreffen in Drehereien oder Blechfertigung von KMU's
- Viele Produktionsstufen erforderlich, um ein Teil zu fertigen bzw. ein Produkt für den Verkauf komplett fertig zu stellen
- Hohe Teilevielfalt mit unterschiedlichen Bedarfssituationen gestalten eine Einführung von Lean-Prinzipien als echte Herausforderung

Wie kann man die Lean-Prinzipien in einer mehrstufigen Teilefertigung zur Anwendung bringen?

05.12.2014 - Vorbereitungsunterlage Experteninterviews – Doreen Liebig

Folie 2

THEMA

Hypothesen

- Ein Teil der bekannten Lean-Methoden kann auch in einer mehrstufigen Teilefertigung angewandt werden, da die Herausforderungen vergleichbar sind.
- Für ein Verfahren zur Einführung der Lean-Prinzipien in einer mehrstufigen Teilefertigung sind eine Methodenauswahl erforderlich, die von der Methodenauswahl der einfachen Produktionssysteme abweicht, da hier andere Herausforderungen und Rahmenbedingungen vorliegen.

Ziele der Arbeit

- **Verfahren zur Gestaltung einer mehrstufigen Teilefertigung nach den Lean-Prinzipien**
- Identifikation der Herausforderungen einer mehrstufigen Teilefertigung
- Identifikation der für eine mehrstufige Teilefertigung **geeigneten Lean-Methoden**
- Aufzeigen der **Wirkungen der Lean-Methoden** in einer mehrstufigen Teilefertigung

05.12.2014 - Vorbereitungsunterlage Experteninterviews – Doreen Liebig

Folie 3

ZUSAMMENFASSENDER FORSCHUNGSANSATZ DER ARBEIT

1 Gerichtete Systeme

- Lean-Methoden recherchieren (meist verbreitetste) und Wirkung beschreiben
- Fallbeispiele recherchieren: Ausgangssituation, Herausforderungen, Vorgehen und Ergebnisse zusammenfassen
- Modell bilden für Ausgangssituation mittels Fallbeispiele
- Modell modifizieren für Methodeneinsatz
- Wirkungsweise der Methoden im Modell mit den Ergebnissen der recherchierten Methodenwirkungen qual. evaluieren
- Ermittlung eines Verfahrens zur Einführung von Lean basierend auf Zielstellung und Prioritäten

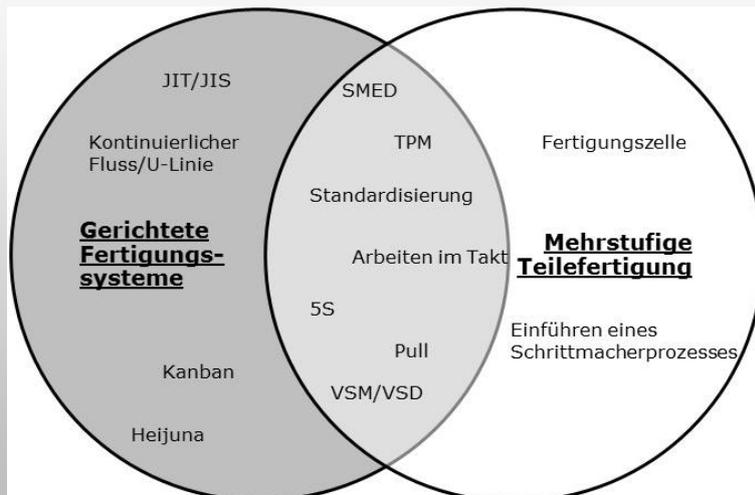
2 Mehrstufige Teilefertigung

- Fallbeispiele recherchieren: Identifikation der Ausgangssituation und Herausforderungen
- Lean-Methoden recherchieren und adaptieren von einfachen Systemen
- Modell bilden für Ausgangssituation mittels Fallbeispiele
- Modell modifizieren für Methodeneinsatz
- Ermittlung eines Verfahrens zur Einführung von Lean basierend auf Zielstellung und Prioritäten
- Evaluierung des Verfahrens durch Experteninterviews

Kontinuierlicher Vergleich der Systeme

LEAN-METHODEN FÜR EINFACHE PRODUKTIONSSYSTEME

Ergebnisse einer ausführlichen Literaturrecherche



LEAN-METHODEN FÜR MEHRSTUFIGE TEILEFERTIGUNG

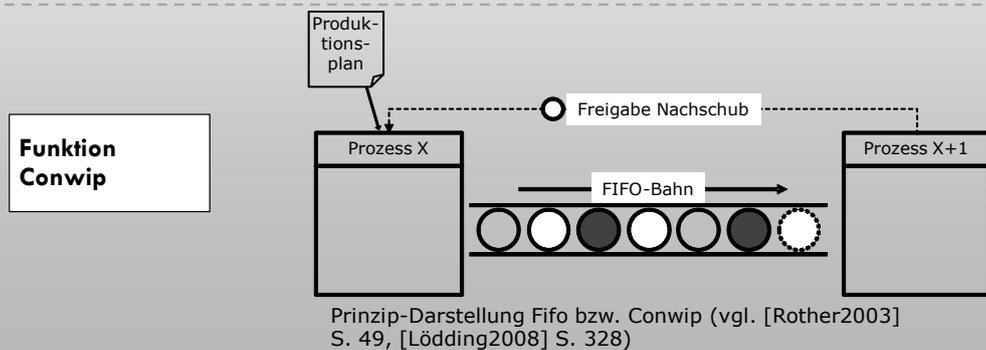
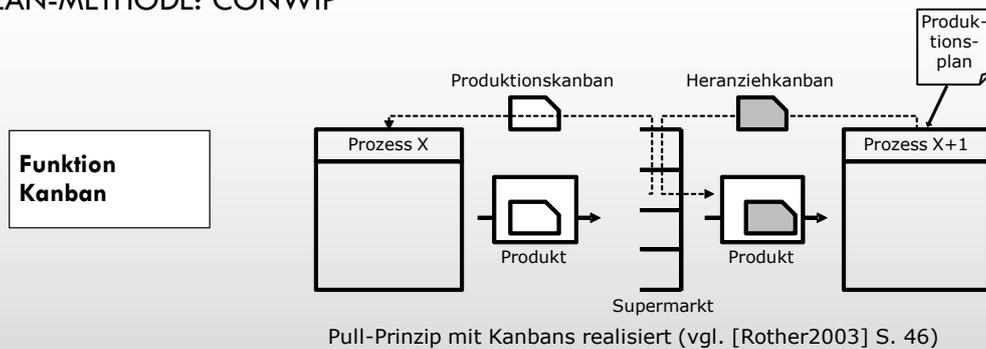
Ergebnisse aus Analyse der Herausforderungen und bekannten Lean-Methoden

Methode gerichtete Systeme	Eignung mehrstufige TF*	Methodeneinsatz TF* laut Literaturrecherche	Ausgewählte Lean-Methoden für vielstufige TF*
SMED	✓	SMED	SMED
Kontinuierlicher Fluss / U-Linie	✓	Fertigungszelle	Fertigungszelle
TPM	✓	TPM	TPM
Pull	✓	Conwip	Conwip**
Standardisierung	✓	Standardisierung	Standardisierung
JIT/JIS	✓		JIT/JIS
Heijunka	✗	Heijunka, Nivellierung Umlaufbestand	Glätten nach Teileklassen**
5S	✓	5S	5S
Arbeiten im Takt	✗	Feste Taktung in der Produktion	Harmonisierung der Losdauer**

* TF = Teilefertigung

** Erklärung hierzu auf nachfolgenden Folien

LEAN-METHODE: CONWIP



LEAN-METHODE: HARMONISIERUNG DER LOSDAUER

Alternative Methode für Arbeiten im Takt

Teilenr.	Losgröße [Stck.]	Bearbeitungszeit [s/Stck.]	Auftragszeit [min.]	Teileklasse [A;B;C]
4711	500	20	166,6	A
2307	50	35	29,2	C
0815	130	24	52	B
6944	180	19	57	B

Beispiel

Teilenr.	Losgröße [Stck.]	Bearbeitungszeit [s/Stck.]	Auftragszeit [min.]	Teileklasse [A;B;C]
4711	100	20	33,3	A
2307	50	35	29,2	C
0815	75	24	30	B
6944	90	19	28,5	B

Ziel

- Angleichen der Auftragsdauer über das gesamte Teilespektrum, um lange Belegungszeiten durch A-Teile zu vermeiden
- Reduziert Wartezeiten vor den Maschinen für Aufträge der Teileklassen B oder C
- Schafft eine Gleichmäßigkeit bei den Wartezeiten vor den Maschinen (durch Taktung der Auftragslängen) und damit eine Gleichmäßigkeit bei Durchlaufzeiten
- Erhöht die Rüsthäufigkeit bei Teilen mit hohen Losgrößen und erhöht damit den Druck die Rüstzeiten drastisch zu reduzieren

HERAUSFORDERUNGEN EINER TEILEFERTIGUNG

Zusammenfassung der Analyseergebnisse untersuchter Fallbeispiele

Einzelne Arbeitsplätze

- Maschinenbediener mit vielfältigen Aufgaben neben reiner Maschinenbedienung (z.B. Rüsten, Teile holen oder wegbringen, uvm.)
- Lange Rüstzeiten auf den Anlagen
- Vorbeugende Instandhaltung fehlt
- Planzeiten für Rüsten und Bearbeiten stimmen nicht mit Realzeiten überein

Fertigungsfluss

- Funktionsorientierte Werkstattfertigung führt zu häufigen Unterbrechungen im Fertigungsfluss der Teile
- lange Wartezeiten der Teile vor Anlagen führt zu langen Durchlaufzeiten

Organisation

- Stark unterschiedliche Losgrößen führen zu unterschiedlich langen Wartezeiten vor den Maschinen für die nachfolgenden Aufträge
- Unbegrenzt Einlasten der Aufträge in die Fertigung ohne Berücksichtigung vom Füllgrad der Fertigung bzw. verfügbarer Kapazitäten
- Manuelle Priorisierung einzelner Aufträge auf Grund schlechter Termintreue

HERAUSFORDERUNGEN EINER TEILEFERTIGUNG

Zusammenfassung der Analyseergebnisse untersuchter Fallbeispiele

- | | |
|-------------------------------|--|
| Einzelne Arbeitsplätze | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Maschinenbediener mit vielfältigen Aufgaben neben reiner Maschinenbedienung (z.B. Rüsten, Teile holen oder wegbringen, uvm.) ▪ Lange Rüstzeiten auf den Anlagen ▪ Vorbeugende Instandhaltung fehlt ▪ Planzeiten für Rüsten und Bearbeiten stimmen nicht mit Realzeiten überein |
| Fertigungsfluss | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Funktionsorientierte Werkstattfertigung führt zu häufigen Unterbrechungen im Fertigungsfluss der Teile ▪ lange Wartezeiten der Teile vor Anlagen führt zu langen Durchlaufzeiten |
| Organisation | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Stark unterschiedliche Losgrößen führen zu unterschiedlich langen Wartezeiten vor den Maschinen für die nachfolgenden Aufträge ▪ Unbegrenzt Einlasten der Aufträge in die Fertigung ohne Berücksichtigung vom Füllgrad der Fertigung bzw. verfügbarer Kapazitäten ▪ Manuelle Priorisierung einzelner Aufträge auf Grund schlechter Termintreue |

MODELLANSATZ

Grundmodell für mehrstufige Teilefertigung

Nr.	Variablenname	Variable																									
		1	1-2	1-3	1-6	3	4	5	6	6-2	6-3	7	8	8-2	9	2-2	10	11	12	12-2	13	13-2	13-3	14	15	15-1	16
1	Mitarbeiterproduktivität																										
1-2	Varianz bei der Ausführung der Aufgaben	-1/2							-1/2						-1/2												
1-3	Bewußtsein+Aktivität für Standardisierung		-2/1																								
1-6	Grad der Mehrmaschinenbedienung	2/1	1/1																								
3	Flächenproduktivität																										
4	Planbarkeit der Aufträge - Zuverlässigkeit																									2/1	
5	Liefertreue																										
6	Anlagenproduktivität																										
6-2	Qualität Rüstablauf							2/1			1/2		1/1		-2/1												-1/2
6-3	Qualität der Wartungsaktivitäten							2/2				1/1															
7	Produktionsflexibilität																										
8	5S-Niveau der Fertigung		-1/1			1/2													1/1								-1/2
8-2	Bewußtsein+Aktivität für 5S							1/1				2/1															
9	Umlaufbestand					-2/1		1/2				-1/2					2/2										1/1
2-2	Umfang eingesetzter Pull-Methoden														-2/2												
10	Qualität des Fertigungsflusses/Segmentierung										1/2									2/1							-2/2
11	Durchlaufzeit						-2/2	-1/2												2/1		-2/1					
12	Leistungsniveau der Logistik																			-1/2							
12-2	Niveau Trennung von Wertschöpfung und Logistik		-2/1																	2/2							
13	Qualität beim Glätten der Teileklassen								1/1		2/1				-2/1												
13-2	Wiederholhaftigkeit des Produktionsmusters																				2/1						-1/1
13-3	Harmonisierung der Losdauer																			1/1		1/1					-3/3
14	Grad der Priorisierung für Aufträge						-1/2															-2/2					2/2
15	Planungsqualität der Aufträge (gefühlte Sicherheit)														-1/2												
15-1	Qualität der Planzeiten (Vorgabez. = Realz.)						1/2															1/2				1/2	
16	Variabilität der Liegezeit																				-1/2					1/2	

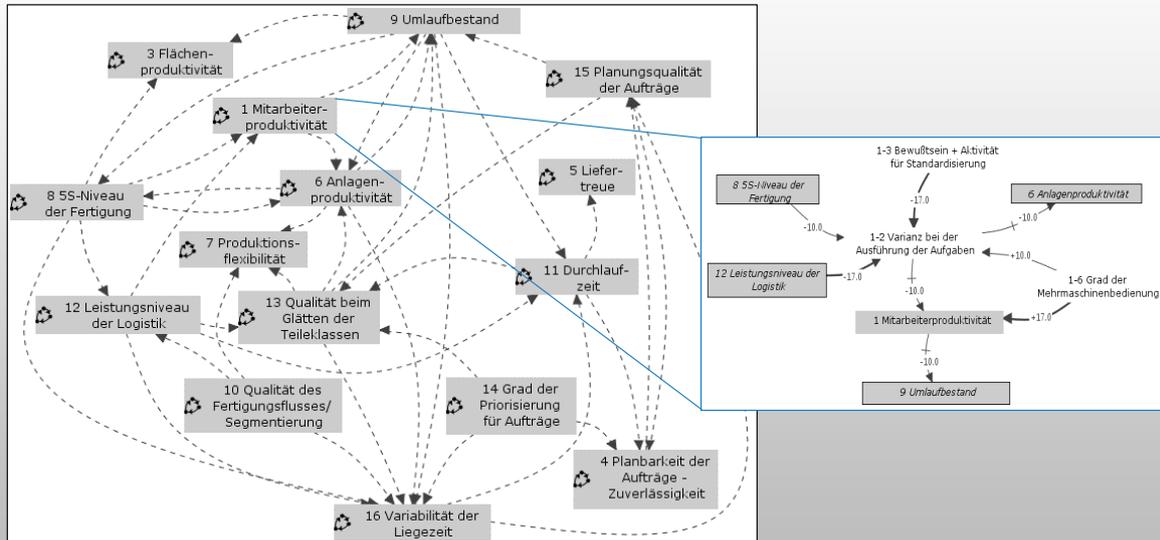
Anmerkungen: Leserichtung von links nach rechts;

erster Wert der Zelle ist Wirkungsstärke und zweiter Wert die Wirkungsverzögerung;
zum ersten Wert: ein positiver Wert bedeutet verstärkende ein negativer Wert mindernde Wirkung auf die andere Variable; 1 bedeutet schwache Wirkung, 2 steht für starke Wirkung und die 3 bedeutet eine sehr starke Wirkung;

der zweite Wert der Zelle ist zeitliche Verzögerung der Wirkung; 1 bedeutet kurzfristige Wirkung, 2 steht für eine mittelfristige Wirkung und 3 signalisiert eine langfristige Wirkung

MODELLANSATZ

Visualisierung des Modells



05.12.2014 - Vorbereitungsunterlage Experteninterviews – Doreen Liebig

Folie 12

ZIELSTELLUNG DER KMU VS. MEHRSTUFIGER TEILEFERTIGUNG

Ergebnisse einer Umfrage im KMU und Recherche der Fallbeispiele

Ziele KMU *

- Prioritäten liegen bei: höherer Produktivität, verbesserter Liefertreue und Reduzierung der Durchlaufzeit
- Gewichtete kumulierte Bewertung der Größen im Modell: basierend auf der Veränderung der Variablen
- Gewichtung ergibt sich aus Umfrageergebnissen
- Variable 1 und 6 (Produktivität) * Faktor 1,019; Variable 5 (Liefertreue) * Faktor 1,008 und Variable 9 (Durchlaufzeit) * Faktor 1
- Verfahren ergibt sich aus der Zielstellung und dem Veränderungsgrad der Variablen

Ziele Mehrstufige Teilefertigung

- Schwerpunkte für Veränderungsprozess liegen bei: Steigerung der Liefertreue, Reduzierung von Durchlaufzeit und Bestand
- Keine Information vorliegend zur Gewichtung der Ziele untereinander
- Variable 5 (Liefertreue), Variable 9 (Umlaufbestand) und Variable 11 (Durchlaufzeit)
- Die Summe der priorisierten Variablen hinsichtlich ihrer Veränderung bei Einführung von Lean-Methoden gibt das Verfahren vor

* Quelle: Jödicke, Janine: Ganzheitliche Produktionssysteme in mittelständischen Unternehmen: Eine empirische Untersuchung in Nordrhein-Westfalen, Verlag Dr. Kovač, Hamburg, 2013

05.12.2014 - Vorbereitungsunterlage Experteninterviews – Doreen Liebig

Folie 13

REIHENFOLGE I ZUR EINFÜHRUNG VON LEAN-METHODEN IN TEILEFERTIGUNG

Ergebnisse der Simulationsläufe mit unterschiedlichen Gewichtungen

Ziele KMU *

- Prioritäten liegen bei: höherer Produktivität, verbesserter Liefertreue und Reduzierung der Durchlaufzeit
- Gewichtete kumulierte Bewertung der Größen im Modell: basierend auf der Veränderung der Variablen
- Gewichtung ergibt sich aus Umfrageergebnissen
- Variable 1 und 6 (Produktivität) * Faktor 1,019; Variable 5 (Liefertreue) * Faktor 1,008 und Variable 9 (Durchlaufzeit) * Faktor 1
- Verfahren ergibt sich aus der Zielstellung und dem Veränderungsgrad der Variablen

Reihenfolge 1:

1. Pull: Conwip
2. SMED
3. U-Linie: Mehrmaschinenbedienung
4. TPM
5. Arbeiten im Takt: Harmonisierung Losdauer
6. Heijunka: keine einzelne Priorisierung von Aufträgen
7. 5S
8. Heijunka: Glätten nach Teileklassen
9. U-Linie: Fertigungszelle
10. Standardisierung
11. Arbeiten im Takt: Planzeiten aktualisieren
12. JIT/JIS: Trennung Wertschöpfung und Logistik

* Quelle: Jödicke, Janine: Ganzheitliche Produktionssysteme in mittelständischen Unternehmen: Eine empirische Untersuchung in Nordrhein-Westfalen, Verlag Dr. Kovač, Hamburg, 2013

05.12.2014 - Vorbereitungsunterlage Experteninterviews – Doreen Liebig

Folie 14

REIHENFOLGE II ZUR EINFÜHRUNG VON LEAN-METHODEN IN TEILEFERTIGUNG

Ergebnisse der Simulationsläufe mit unterschiedlichen Gewichtungen

Ziele Vielstufige Teilefertigung

- Schwerpunkte für Veränderungsprozess liegen bei: Steigerung der Liefertreue, Reduzierung von Durchlaufzeit und Bestand
- Keine Information vorliegend zur Gewichtung der Ziele untereinander
- Variable 5 (Liefertreue), Variable 9 (Umlaufbestand) und Variable 11 (Durchlaufzeit)
- Die Summe der priorisierten Variablen hinsichtlich ihrer Veränderung bei Einführung von Lean-Methoden gibt das Verfahren vor

Reihenfolge 2:

1. Arbeiten im Takt: Harmonisierung Losdauer
2. Pull: Conwip
3. Heijunka: keine einzelne Priorisierung von Aufträgen
4. U-Linie: Fertigungszelle
5. Heijunka: Glätten nach Teileklassen
6. SMED
7. TPM
8. Arbeiten im Takt: Planzeiten aktualisieren
9. JIT/JIS: Trennung Wertschöpfung und Logistik
10. 5S
11. Standardisierung
12. U-Linie: Mehrmaschinenbedienung

* Quelle: Jödicke, Janine: Ganzheitliche Produktionssysteme in mittelständischen Unternehmen: Eine empirische Untersuchung in Nordrhein-Westfalen, Verlag Dr. Kovač, Hamburg, 2013

05.12.2014 - Vorbereitungsunterlage Experteninterviews – Doreen Liebig

Folie 15

ZIELSTELLUNG DER EXPERTENINTERVIEWS

Welche Praxisrelevanz besitzen die Reihenfolgen zur Einführung von Lean in der mehrstufigen Teilefertigung?

Welche Erfolgsaussichten hat die Einführung eines der Methodenreihenfolgen in der mehrstufigen Teilefertigung?



DURCHFÜHRUNG DER EXPERTENINTERVIEWS

Planung

- Expertenauswahl: Hierarchie, Funktion, Unternehmen, Erfahrungsbereich, Lean-Kenntnisse
- Fragenkatalog: quantitative Fragen (Entscheidungsfragen mit detaillierter Bewertung im Schulnotensystem), qualitative Fragen (offene Fragen)
- Dokumentation: Unterlagen zur Vorabinformation und Erläuterung des Themengebietes für Interviewpartner, Fragenkatalog zur effizienten Durchführung und Dokumentation des Interviews

Durchführung

- Phase 1: Vorabinformation dem Interviewpartner bis zu 2 Wochen im Voraus zur Verfügung stellen zur Vorbereitung auf das Thema, Vorstellen der Problemstellung und der Lösungsansätze, Klären von Verständnisfragen
- Phase 2: Durchführung der quantitativen und qualitativen Befragung
- Phase 3: Dokumentation der Befragungsergebnisse

Auswertung

- Auswertung quantitativer Fragen mit grafischer Aufbereitung der Ergebnisse
- Identifikation der Kernaussagen der qualitativen Befragung
- Interpretation der Ergebnisse und Ableiten von Implikationen für die Arbeit

9.12 Auswertung zu Experten-Interviews

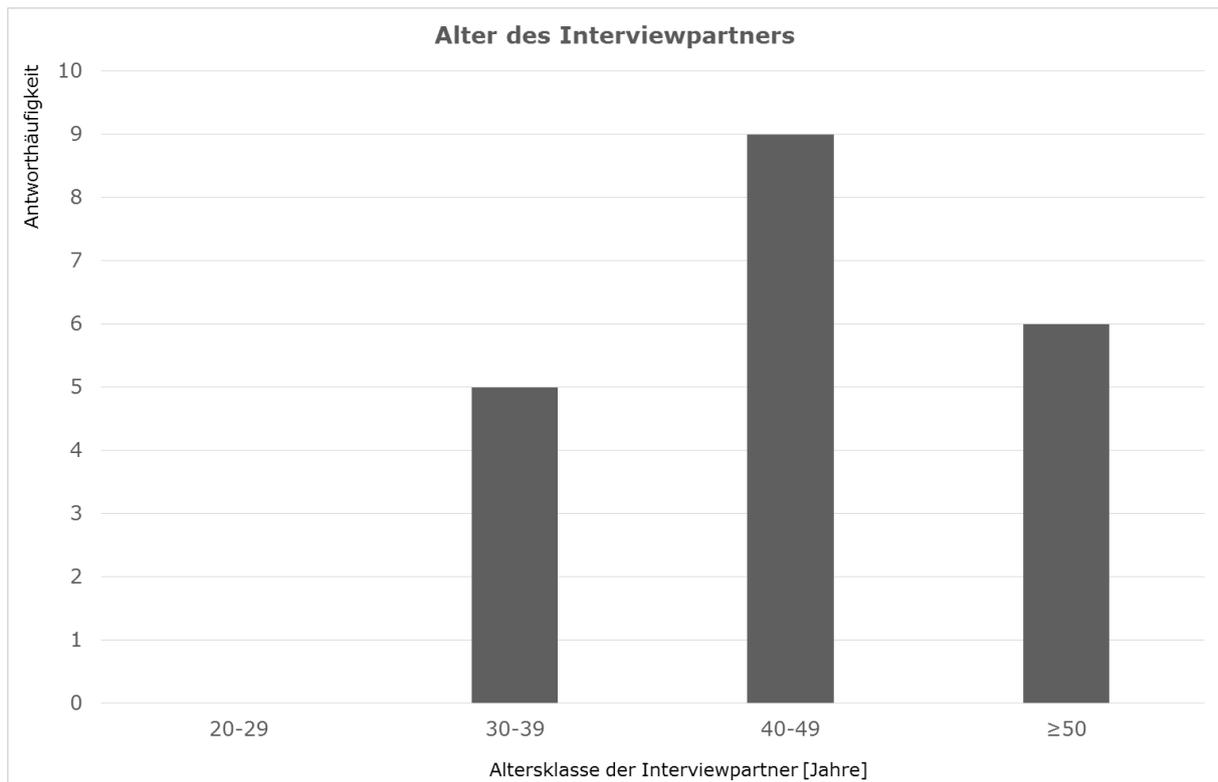


Abbildung 64: Auswertung Experten-Interviews Alter der Teilnehmer

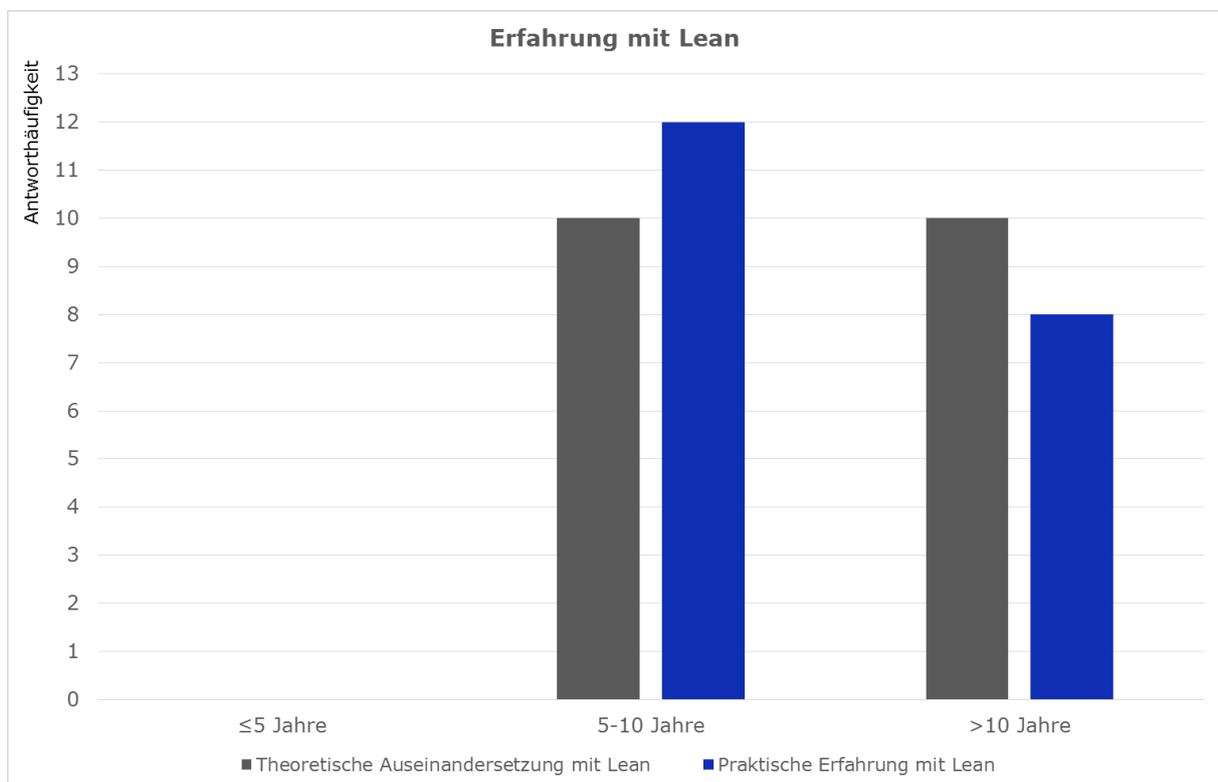


Abbildung 65: Auswertung Experten-Interviews Erfahrung zum Thema Lean

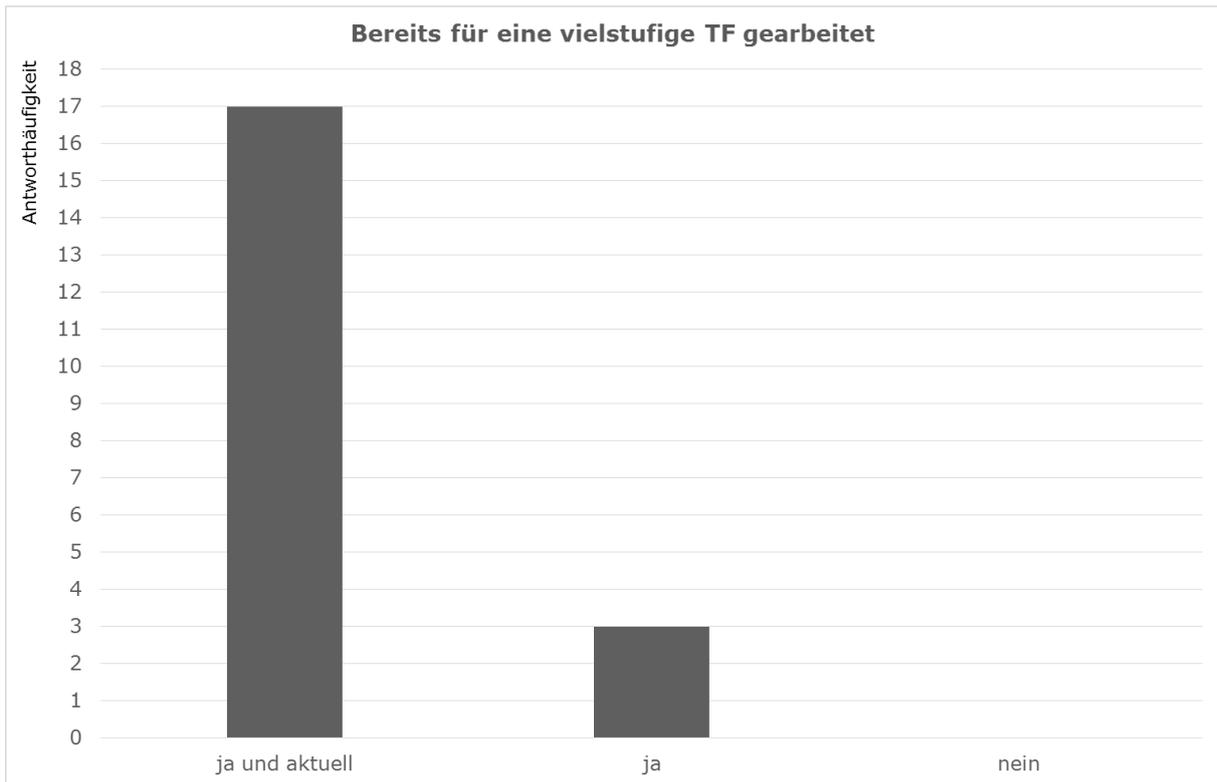


Abbildung 66: Auswertung Experten-Interviews Erfahrung mit mehrstufiger TF

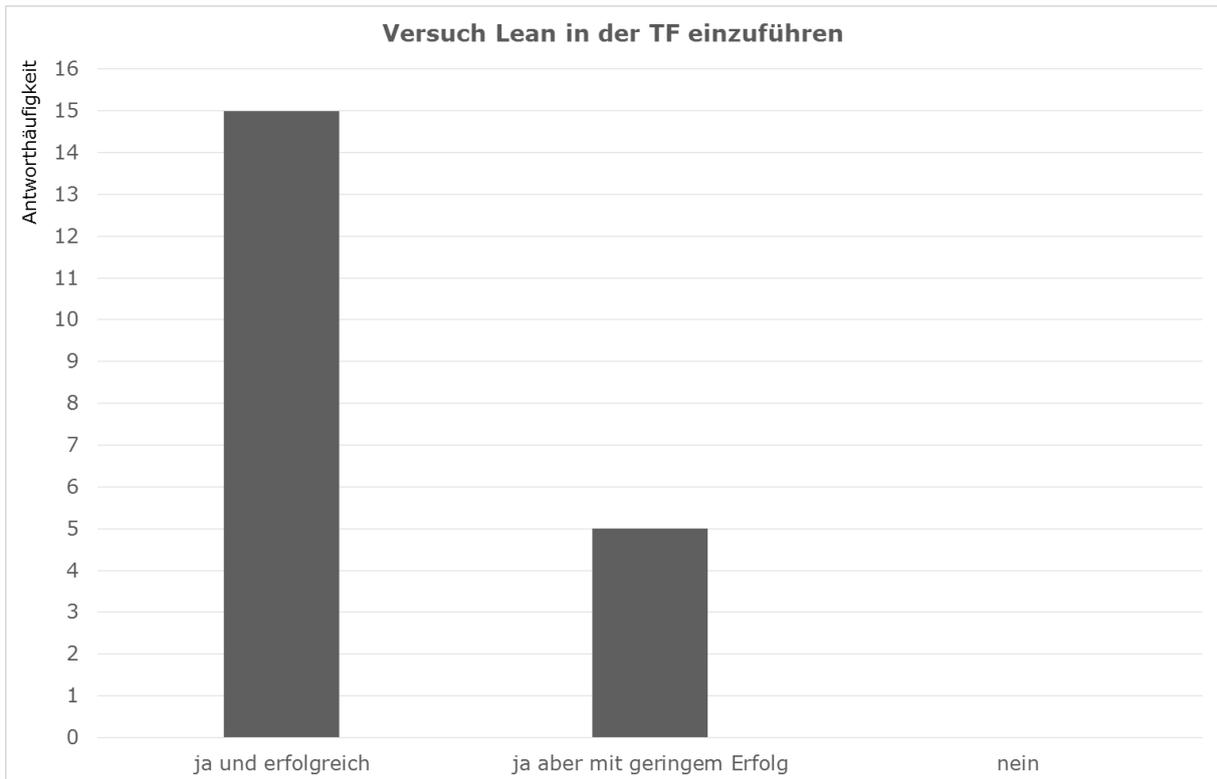


Abbildung 67: Auswertung Experten-Interviews Einführung Lean in der TF

9.13 Entwicklung Methodenreihenfolge nach Priorisierung Experten

Tabelle 99: Simulationsläufe Stufe 1

Stufe 1: Optimierung Var. 13-3 Harmonisierung der Losdauer															
Variable	Ausgangszustand		Änderung 0-01		Änderung 0-02		Änderung 0-03		Änderung 0-04		Änderung 0-05		Änderung 0-06		
	Var 1-3	Δ [%]	Var 1-6	Δ [%]	Var 2-2	Δ [%]	Var 2-2	Δ [%]	Var 6-2	Δ [%]	Var 6-3	Δ [%]	Var 8-2	Δ [%]	
1	0,09	0,15	67	0,33	267	0,1	11	0,1	11	0,1	11	0,1	11	0,11	22
1-2	-0,13	-0,4	208	0,03	123	-0,15	15	-0,18	38	-0,18	38	-0,18	38	-0,21	62
3	0,06	0,07	17	0,07	17	0,16	167	0,13	117	0,13	117	0,13	117	0,14	133
4	-0,15	-0,14	7	-0,14	7	-0,11	27	-0,12	20	-0,12	20	-0,12	20	-0,13	13
5	0,01	0,01	0	0,01	0	0,03	200	0,02	100	0,02	100	0,02	100	0,02	100
6	0,15	0,2	33	0,11	27	0,11	27	0,42	180	0,42	180	0,42	180	0,32	113
7	0,01	0,02	100	0,02	0	100	0,01	0	0,07	600	0,07	600	0,05	400	
8	0,16	0,17	6	0,17	6	0,22	38	0,34	113	0,34	113	0,34	113	0,45	181
9	-0,07	-0,1	43	-0,11	57	-0,35	400	-0,18	157	-0,18	157	-0,18	157	-0,14	100
11	-0,04	-0,05	25	-0,05	25	-0,15	275	-0,11	175	-0,11	175	-0,11	175	-0,1	150
12	0,21	0,21	0	0,21	0	0,22	5	0,24	14	0,24	14	0,24	14	0,27	29
13	-0,18	-0,17	6	-0,17	6	-0,14	22	-0,16	11	-0,16	11	-0,16	11	-0,16	11
15	-0,04	-0,03	25	-0,03	25	-0,01	75	-0,01	75	-0,01	75	-0,01	75	-0,01	75
16	0,13	0,11	15	0,13	0	0,07	46	0,02	85	0,02	85	0,02	85	0,02	85
Summe			126		319		553		487		487		487		406

Stufe 1: Optimierung Var. 13-3 Harmonisierung der Losdauer														
Variable	Ausgangszustand		Änderung 0-07		Änderung 0-08		Änderung 0-09		Änderung 0-10		Änderung 0-11		Änderung 0-12	
	Var 10	Δ [%]	Var 12-2	Δ [%]	Var 12-2	Δ [%]	Var 13-2	Δ [%]	Var 13-3	Δ [%]	Var 14	Δ [%]	Var 15-1	Δ [%]
1	0,09	0,11	22	0,11	22	0,1	11	0,11	22	0,1	11	0,1	11	0,1
1-2	-0,13	-0,23	77	-0,22	69	-0,14	8	-0,19	46	-0,14	8	-0,14	8	-0,14
3	0,06	0,07	17	0,06	0	0,1	67	0,1	67	0,11	83	0,1	83	0,1
4	-0,15	-0,1	33	-0,12	20	-0,13	13	-0,09	40	0,06	140	0,03	120	0,03
5	0,01	0,03	200	0,02	100	0,02	100	0,04	300	0,03	200	0,02	100	0,02
6	0,15	0,17	13	0,17	13	0,19	27	0,19	27	0,19	27	0,17	13	0,17
7	0,01	0,19	1800	0,02	100	0,12	1100	0,09	800	0,12	1100	0,07	600	0,07
8	0,16	0,17	6	0,17	6	0,19	19	0,18	13	0,19	19	0,18	13	0,18
9	-0,07	-0,11	57	-0,09	29	-0,19	171	-0,18	157	-0,22	214	-0,18	157	-0,18
11	-0,04	-0,17	325	-0,1	150	-0,1	150	-0,21	425	-0,17	325	-0,09	125	-0,09
12	0,21	0,48	129	0,48	129	0,21	0	0,37	76	0,21	0	0,21	0	0,21
13	-0,18	-0,14	22	-0,16	11	0,11	161	0,04	122	0,14	178	0	100	0
15	-0,04	0,04	200	-0,03	25	-0,01	75	0,08	300	0,11	375	0,2	600	0,2
16	0,13	-0,16	223	0,12	8	0,04	69	-0,35	369	-0,25	292	0,07	46	0,07
Summe			602		306		308		834		604		269	

Tabelle 100: Simulationsläufe Stufe 2

Stufe 2: Optimierung Var. 1-6 Grad der Mehrmaschinenbedienung

Variable	Ausgangs- zustand	Änderung 1-01 Var 1-3 Δ [%]	Änderung 1-02 Var 1-6 Δ [%]	Änderung 1-03 Var 2-2 Δ [%]	Änderung 1-04 Var 6-2 Δ [%]	Änderung 1-05 Var 6-3 Δ [%]	Änderung 1-06 Var 8-2 Δ [%]				
1	0,11	0,16	45	0,35	218	0,11	0	0,12	9	0,12	9
1-2	-0,19	-0,47	147	-0,03	84	-0,21	11	-0,24	26	-0,24	26
3	0,1	0,11	10	0,11	10	0,2	100	0,17	70	0,17	70
4	-0,09	-0,09	0	-0,09	0	-0,05	44	-0,07	22	-0,07	22
5	0,04	0,04	0	0,04	0	0,06	50	0,05	25	0,05	25
6	0,19	0,24	26	0,15	21	0,14	26	0,45	137	0,45	137
7	0,09	0,1	11	0,08	11	0,09	0	0,15	67	0,15	67
8	0,18	0,19	6	0,19	6	0,24	33	0,37	106	0,37	106
9	-0,18	-0,21	17	-0,22	22	-0,46	156	-0,29	61	-0,29	61
11	-0,21	-0,22	5	-0,22	5	-0,31	48	-0,27	29	-0,27	29
12	0,37	0,37	0	0,37	0	0,38	3	0,41	11	0,41	11
13	0,04	0,04	0	0,04	0	0,07	75	0,06	50	0,06	50
15	0,08	0,08	0	0,08	0	0,1	25	0,11	38	0,11	38
16	-0,35	-0,36	3	-0,35	0	-0,41	17	-0,46	31	-0,46	31
Summe			77		244		133		204		204

Variable	Ausgangs- zustand	Änderung 1-07 Var 10 Δ [%]	Änderung 1-08 Var 12-2 Δ [%]	Änderung 1-09 Var 13-2 Δ [%]	Änderung 1-10 Var 14 Δ [%]	Änderung 1-11 Var 15 Δ [%]
1	0,11	0,13	18	0,11	0	0,11
1-2	-0,19	-0,29	53	-0,2	5	-0,2
3	0,1	0,11	10	0,14	40	0,15
4	-0,09	-0,05	44	-0,07	22	0,11
5	0,04	0,07	75	0,05	25	0,07
6	0,19	0,21	11	0,2	5	0,22
7	0,09	0,27	200	0,1	11	0,2
8	0,18	0,19	6	0,19	6	0,21
9	-0,18	-0,22	22	-0,2	11	-0,3
11	-0,21	-0,33	57	-0,27	29	-0,33
12	0,37	0,65	76	0,65	76	0,38
13	0,04	0,08	100	0,06	50	0,33
15	0,08	0,15	88	0,09	13	0,1
16	-0,35	-0,64	83	-0,36	3	-0,44
Summe			174		82	

Tabelle 101: Simulationsläufe Stufe 3

Stufe 3: Optimierung Var. 6-2 Qualität Rüsttablauf															
Variable	Ausgangs-	Änderung 2-01	Änderung 2-02	Änderung 2-03	Änderung 2-04	Änderung 2-05	Änderung 2-06	Var 1-3	Var 2-2	Var 6-2	Var 6-3	Var 8-2	Var 10		
	zustand	Δ [%]							Δ [%]						
1	0,35	0,4	14	0,35	0	0,36	3	0,36	3	0,36	3	0,36	3	0,37	6
1-2	-0,03	-0,31	933	-0,05	67	-0,08	167	-0,08	167	-0,08	167	-0,11	267	-0,13	333
3	0,11	0,12	9	0,22	10	0,18	64	0,18	64	0,18	64	0,19	73	0,13	18
4	-0,09	-0,08	11	-0,05	44	-0,06	33	-0,06	33	-0,06	33	-0,07	22	-0,04	56
5	0,04	0,05	25	0,07	75	0,06	50	0,06	50	0,06	50	0,06	50	0,07	75
6	0,15	0,2	33	0,1	33	0,41	173	0,41	173	0,41	173	0,31	107	0,17	13
7	0,08	0,1	25	0,09	13	0,14	75	0,14	75	0,14	75	0,12	50	0,26	225
8	0,19	0,2	5	0,25	32	0,37	95	0,37	95	0,37	95	0,48	153	0,2	5
9	-0,22	-0,23	14	-0,49	123	-0,32	45	-0,32	45	-0,32	45	-0,29	32	-0,26	18
11	-0,22	-0,23	5	-0,33	50	-0,28	27	-0,28	27	-0,28	27	-0,28	27	-0,35	59
12	0,37	0,38	3	0,39	5	0,41	11	0,41	11	0,41	11	0,43	16	0,65	76
13	0,04	0,05	25	0,08	100	0,06	50	0,06	50	0,06	50	0,06	50	0,09	125
15	0,08	0,09	13	0,11	38	0,11	38	0,11	38	0,11	38	0,11	38	0,15	88
16	-0,35	-0,37	6	-0,41	17	-0,46	31	-0,46	31	-0,46	31	-0,46	31	-0,64	83
Summe			81		171		262		262		262		195		167

Stufe 3: Optimierung Var. 6-2 Qualität Rüsttablauf													
Variable	Ausgangs-	Änderung 2-07	Änderung 2-08	Änderung 2-09	Änderung 2-10	Var 12	Var 13-2	Var 14	Var 15-1	Var 15-2	Var 15-3	Var 15-4	Var 15-5
	zustand	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]	Δ [%]								
1	0,35	0,37	6	0,35	0	0,35	0	0,35	0	0,35	0	0,35	0
1-2	-0,03	-0,13	333	-0,04	33	-0,04	33	-0,04	33	-0,04	33	-0,04	33
3	0,11	0,12	9	0,16	45	0,17	55	0,16	45	0,16	45	0,16	45
4	-0,09	-0,06	33	-0,07	22	0,12	233	0,09	200	0,09	200	0,09	200
5	0,04	0,06	50	0,06	50	0,07	75	0,05	25	0,05	25	0,05	25
6	0,15	0,17	13	0,18	20	0,18	20	0,18	20	0,16	7	0,16	7
7	0,08	0,1	25	0,19	138	0,2	150	0,15	88	0,15	88	0,15	88
8	0,19	0,2	5	0,22	16	0,22	16	0,21	11	0,21	11	0,21	11
9	-0,22	-0,24	9	-0,34	55	-0,37	68	-0,33	50	-0,33	50	-0,33	50
11	-0,22	-0,28	27	-0,28	27	-0,35	59	-0,27	23	-0,27	23	-0,27	23
12	0,37	0,65	76	0,38	3	0,38	3	0,38	3	0,38	3	0,38	3
13	0,04	0,06	50	0,33	725	0,36	800	0,22	450	0,22	450	0,22	450
15	0,08	0,09	13	0,11	38	0,23	188	0,31	288	0,31	288	0,31	288
16	-0,35	-0,36	3	-0,44	26	-0,73	109	-0,41	17	-0,41	17	-0,41	17
Summe			105		106		168		59		59		59

Tabelle 102: Simulationsläufe Stufe 4

Stufe 4: Optimierung Var. 6-3 Qualität der Wartungsaktivitäten

Variable	Ausgangs- zustand	Änderung 3-01 Var 1-3 Δ [%]	Änderung 3-02 Var 2-2 Δ [%]	Änderung 3-03 Var 6-3 Δ [%]	Änderung 3-04 Var 8-2 Δ [%]	Änderung 3-05 Var 10 Δ [%]	Änderung 3-06 Var 12- Δ [%]
1	0,36	0,41	14	0,36	0	0,37	3
1-2	-0,08	-0,36	350	-0,1	25	-0,13	63
3	0,18	0,2	11	0,29	61	0,26	44
4	-0,06	-0,06	0	-0,03	50	-0,04	33
5	0,06	0,06	0	0,08	33	0,07	17
6	0,41	0,46	12	0,37	10	0,68	66
7	0,14	0,16	14	0,15	7	0,21	50
8	0,37	0,38	3	0,43	16	0,55	49
9	-0,32	-0,35	9	-0,6	88	-0,43	34
11	-0,28	-0,3	7	-0,39	39	-0,35	25
12	0,41	0,41	0	0,42	2	0,45	10
13	0,06	0,07	17	0,1	67	0,09	50
15	0,11	0,12	9	0,14	27	0,14	27
16	-0,46	-0,48	4	-0,53	15	-0,58	26
Summe			33		89		114

Variable	Ausgangs- zustand	Änderung 3-07 Var 13 Δ [%]	Änderung 3-08 Var 14 Δ [%]	Änderung 3-09 Var 15-1 Δ [%]
1	0,36	0,36	0	0,36
1-2	-0,08	-0,09	13	-0,09
3	0,18	0,23	28	0,24
4	-0,06	-0,04	33	0,14
5	0,06	0,07	17	0,08
6	0,41	0,45	10	0,45
7	0,14	0,25	79	0,26
8	0,37	0,4	8	0,4
9	-0,32	-0,44	38	-0,47
11	-0,28	-0,34	21	-0,41
12	0,41	0,42	2	0,42
13	0,06	0,36	500	0,38
15	0,11	0,14	27	0,26
16	-0,46	-0,56	22	-0,84
Summe			51	96

Tabelle 103: Simulationsläufe Stufe 5

Stufe 5: Optimierung Var. 10 Qualität des Fertigungsflusses

Variable	Ausgangszustand	Änderung 4-01 Var 1-3 Δ [%]	Änderung 4-02 Var 2-2 Δ [%]	Änderung 4-02 Var 8-2 Δ [%]	Änderung 4-03 Var 10 Δ [%]	Änderung 4-04 Var 12-Δ [%]	Änderung 4-05 Var 13-Δ [%]	Änderung 4-06 Var 13-Δ [%]
1	0,37	0,42	14	0,37	0	0,38	3	0,37
1-2	-0,13	-0,4	208	-0,15	15	-0,21	62	-0,23
3	0,26	0,27	4	0,36	38	0,34	31	0,27
4	-0,04	-0,04	0	0	100	-0,02	50	0
5	0,07	0,07	0	0,09	29	0,08	14	0,1
6	0,68	0,73	7	0,63	-7	0,84	24	0,7
7	0,21	0,22	5	0,21	0	0,24	14	0,38
8	0,55	0,56	2	0,61	11	0,84	53	0,56
9	-0,43	-0,46	7	-0,7	63	-0,5	16	-0,47
11	-0,35	-0,37	6	-0,46	31	-0,41	17	-0,48
12	0,45	0,45	0	0,46	2	0,5	11	0,72
13	0,09	0,09	0	0,12	33	0,11	22	0,13
15	0,14	0,15	7	0,17	21	0,17	21	0,22
16	-0,58	-0,6	3	-0,64	10	-0,69	19	-0,87
Summe			27		58		60	96

Variable	Ausgangszustand	Änderung 4-07 Var 14 Δ [%]	Änderung 4-08 Var 15-1 Δ [%]
1	0,37	0,37	0
1-2	-0,13	-0,14	8
3	0,26	0,31	19
4	-0,04	0,16	500
5	0,07	0,1	43
6	0,68	0,71	4
7	0,21	0,32	52
8	0,55	0,58	5
9	-0,43	-0,58	35
11	-0,35	-0,48	37
12	0,45	0,45	0
13	0,09	0,4	344
15	0,14	0,29	107
16	-0,58	-0,96	66
Summe			92

Tabelle 104: Simulationsläufe Stufe 6

Stufe 6: Optimierung Var. 14 Grad der Priorisierung

Variable	Ausgangs- zustand	Änderung 5-01 Var 1-3 Δ [%]	Änderung 5-02 Var 2-2 Δ [%]	Änderung 5-03 Var 8-2 Δ [%]	Änderung 5-04 Var 12-2 Δ [%]	Änderung 5-05 Var 13-Δ [%]	Änderung 5-06 Var 14 Δ [%]
1	0,39	0,44	13	0,39	0	0,4	3
1-2	-0,23	-0,5	117	-0,24	4	-0,3	30
3	0,27	0,28	4	0,38	41	0,35	30
4	0,0001	0,01	9900	0,04	39900	0,02	19900
5	0,1	0,1	0	0,12	20	0,11	10
6	0,7	0,75	7	0,65	-7	0,86	23
7	0,38	0,4	5	0,39	3	0,42	11
8	0,56	0,57	2	0,62	11	0,85	52
9	-0,47	-0,5	6	-0,74	57	-0,54	15
11	-0,48	-0,49	2	-0,59	23	-0,54	13
12	0,72	0,72	0	0,73	1	0,78	8
13	0,13	0,14	8	0,17	31	0,15	15
15	0,22	0,22	0	0,24	9	0,24	9
16	-0,87	-0,89	2	-0,94	8	-0,98	13
Summe			22	40		50	30

Variable	Ausgangs- zustand	Änderung 5-07 Var 15 Δ [%]
1	0,39	0,39
1-2	-0,23	-0,23
3	0,27	0,31
4	0,0001	0,18
5	0,1	0,11
6	0,7	0,71
7	0,38	0,45
8	0,56	0,58
9	-0,47	-0,58
11	-0,48	-0,53
12	0,72	0,72
13	0,13	0,31
15	0,22	0,45
16	-0,87	-0,94
Summe		24

Tabelle 105: Simulationsläufe Stufe 7

Stufe 7: Optimierung Var. 8-2 Bewusstsein + Aktivität für 5S															
Variable	Ausgangszustand		Änderung 6-01		Änderung 6-02		Änderung 6-03		Änderung 6-04		Änderung 6-05		Änderung 6-06		
	Var 1-3	Δ [%]	Var 2-2	Δ [%]	Var 8-2	Δ [%]	Var 12-2	Δ [%]	Var 13-Δ	Δ [%]	Var 15-Δ	Δ [%]	Var 15-Δ	Δ [%]	
1	0,39	0,44	13	0,39	0	0,4	3	0,41	5	0,39	0	0,39	0	0,39	
1-2	-0,23	-0,51	122	-0,25	9	-0,31	35	-0,33	43	-0,24	4	-0,24	4	-0,24	
3	0,33	0,34	3	0,43	30	0,41	24	0,34	3	0,37	12	0,37	12	0,37	
4	0,21	0,21	0	0,24	14	0,23	10	0,23	10	0,23	10	0,23	10	0,38	
5	0,12	0,12	0	0,14	17	0,13	8	0,13	8	0,13	8	0,13	8	0,13	
6	0,73	0,78	7	0,69	-5	0,9	23	0,75	3	0,77	5	0,75	3	0,75	
7	0,5	0,51	2	0,5	0	0,54	8	0,51	2	0,6	20	0,56	12	0,56	
8	0,59	0,6	2	0,65	10	0,88	49	0,6	2	0,61	3	0,61	3	0,61	
9	-0,62	-0,65	5	-0,89	44	-0,69	11	-0,64	3	-0,73	18	-0,73	18	-0,73	
11	-0,61	-0,62	2	-0,71	16	-0,66	8	-0,67	10	-0,66	8	-0,66	8	-0,66	
12	0,73	0,73	0	0,74	1	0,78	7	1	37	0,73	0	0,73	0	0,73	
13	0,45	0,45	0	0,48	7	0,47	4	0,47	4	0,74	64	0,62	38	0,62	
15	0,36	0,37	3	0,39	8	0,39	8	0,37	3	0,39	8	0,39	8	0,59	
16	-1,25	-1,27	2	-1,31	5	-1,36	9	-1,26	1	-1,34	7	-1,31	5	-1,31	
Summe			21		31		44		28		24		21		

Tabelle 106: Simulationsläufe Stufe 8

Stufe 8: Optimierung Var. 12-2 Niveau Trennung Wertschöpfung und Logistik															
Variable	Ausgangs- zustand	Var 1-3 Δ [%]	15	0,4	0	0,42	5	0,4	0	0,4	0	0,4	0	0,4	0
		Änderung 7-01 Δ [%]	87	-0,32	3	-0,4	29	-0,32	3	-0,32	3	-0,32	3	-0,32	3
		Änderung 7-02 Δ [%]	2	0,51	24	0,42	2	0,45	10	0,45	10	0,45	10	0,45	10
		Änderung 7-03 Δ [%]	0	0,26	13	0,25	9	0,25	9	0,25	9	0,25	9	0,25	9
		Änderung 7-04 Δ [%]	8	0,15	15	0,15	15	0,14	8	0,14	8	0,14	8	0,14	8
		Änderung 7-05 Δ [%]	6	0,95	-6	0,92	2	0,93	3	0,91	1	0,91	1	0,91	1
		Var 12-2 Δ [%]	2	0,54	0	0,55	2	0,64	19	0,6	11	0,6	11	0,6	11
		Var 13-2 Δ [%]	0	0,93	6	0,88	0	0,9	2	0,9	2	0,9	2	0,9	2
		Var 13-2 Δ [%]	4	-0,96	39	-0,71	3	-0,81	17	-0,8	16	-0,8	16	-0,8	16
		Var 13-2 Δ [%]	3	-0,77	17	-0,73	11	-0,72	9	-0,71	8	-0,71	8	-0,71	8
		Var 13-2 Δ [%]	0	0,79	1	1,06	36	0,79	1	0,79	1	0,79	1	0,79	1
		Var 13-2 Δ [%]	0	0,5	6	0,49	4	0,76	62	0,64	36	0,64	36	0,64	36
		Var 13-2 Δ [%]	0	0,41	5	0,4	3	0,41	5	0,62	59	0,62	59	0,62	59
		Var 13-2 Δ [%]	1	-1,42	4	-1,37	1	-1,45	7	-1,42	4	-1,42	4	-1,42	4
Summe			33		29		36		22		18		18		18

Tabelle 107: Simulationsläufe Stufe 9

Stufe 9: Optimierung Var. 1-3 Bewußtsein + Aktivität für Standardisierung									
Variable	Ausgangs- zustand	Änderung 8-01		Änderung 8-02		Änderung 8-03		Änderung 8-04	
		Var 1-3 Δ [%]	Var 2-2 Δ [%]	Var 13- Δ [%]	Var 15- Δ [%]	Var 1-3 Δ [%]	Var 2-2 Δ [%]	Var 13- Δ [%]	Var 15- Δ [%]
1	0,42	0,46	10	0,4	5	0,4	5	0,4	5
1-2	-0,4	-0,58	45	-0,32	20	-0,32	20	-0,32	20
3	0,42	0,42	0	0,51	21	0,45	7	0,45	7
4	0,25	0,23	8	0,26	4	0,25	0	0,4	60
5	0,15	0,14	7	0,15	0	0,14	7	0,14	7
6	0,92	0,95	3	0,85	8	0,93	1	0,91	1
7	0,55	0,55	0	0,54	2	0,64	16	0,6	9
8	0,88	0,88	0	0,93	6	0,9	2	0,9	2
9	-0,71	-0,72	1	-0,96	35	-0,81	14	-0,8	13
11	-0,73	-0,68	7	-0,77	5	-0,72	1	-0,71	3
12	1,06	0,78	26	0,79	25	0,79	25	0,79	25
13	0,49	0,47	4	0,5	2	0,76	55	0,64	31
15	0,4	0,39	3	0,41	3	0,41	3	0,62	55
16	-1,37	-1,38	1	-1,42	4	-1,45	6	-1,42	4
Summe			28		19		15		17

Tabelle 108: Simulationsläufe Stufe 10

Stufe 10: Optimierung Var. 2-2 Umfang eingesetzter Pull-Methode									
Variable	Ausgangs- zustand	Änderung 9-01		Änderung 9-02		Änderung 9-03		Änderung 9-04	
		Var 2-2 Δ [%]	Var 13- Δ [%]	Var 15- Δ [%]	Var 15- Δ [%]	Var 13- Δ [%]	Var 15- Δ [%]	Var 15- Δ [%]	Var 15- Δ [%]
1	0,46	0,46	0	0,46	0	0,46	0	0,46	0
1-2	-0,58	-0,6	3	-0,59	2	-0,59	2	-0,59	2
3	0,42	0,53	26	0,47	12	0,46	10	0,46	10
4	0,23	0,27	17	0,25	9	0,41	78	0,41	78
5	0,14	0,16	14	0,15	7	0,15	7	0,15	7
6	0,95	0,9	5	0,98	3	0,96	1	0,96	1
7	0,55	0,55	0	0,66	20	0,61	11	0,61	11
8	0,88	0,94	7	0,91	3	0,91	3	0,91	3
9	-0,72	-0,99	38	-0,84	17	-0,83	15	-0,83	15
11	-0,68	-0,79	16	-0,74	9	-0,73	7	-0,73	7
12	0,78	0,8	3	0,79	1	0,79	1	0,79	1
13	0,47	0,51	9	0,76	62	0,65	38	0,65	38
15	0,39	0,42	8	0,42	8	0,63	62	0,63	62
16	-1,38	-1,44	4	-1,47	7	-1,44	4	-1,44	4
Summe			38		21		17		17

Tabelle 109: Simulationsläufe Stufe 11

Stufe 11: Optimierung Var. 13-2 Wiederholungshäufigkeit des Produktionsmusters

Variable	Ausgangszustand	Änderung Var 13- Δ [%]	Wiederholungshäufigkeit 10-01	Änderung Var 15- Δ [%]	10-01
1	0,46	0,46	0	0,46	0
1-2	-0,6	-0,6	0	-0,6	0
3	0,53	0,57	8	0,57	8
4	0,27	0,29	7	0,44	63
5	0,16	0,17	6	0,17	6
6	0,9	0,94	4	0,92	2
7	0,55	0,66	20	0,62	13
8	0,94	0,96	2	0,96	2
9	-0,99	-1,11	12	-1,11	12
11	-0,79	-0,85	8	-0,84	6
12	0,8	0,8	0	0,8	0
13	0,51	0,8	57	0,68	33
15	0,42	0,44	5	0,65	55
16	-1,44	-1,53	6	-1,51	5
Summe			19		16

Tabelle 110: Simulationsläufe Stufe 12

Stufe 12: Optimierung Var. 15-1 Qualität der Planzeiten

Variable	Ausgangszustand	Änderung Var 15- Δ [%]	11-01
1	0,46	0,46	0
1-2	-0,6	-0,61	2
3	0,57	0,61	7
4	0,29	0,47	62
5	0,17	0,18	6
6	0,94	0,95	1
7	0,66	0,72	9
8	0,96	0,98	2
9	-1,11	-1,22	10
11	-0,85	-0,9	6
12	0,8	0,8	0
13	0,8	0,98	23
15	0,44	0,68	55
16	-1,53	-1,6	5
Summe			14

9.14 Entwicklung Reihenfolge nach Ausgangssituation und Priorisierung Experten

Tabelle 111: Simulationsläufe Stufe 1

Stufe 1: Optimierung Var. 13-3 Harmonisierung der Losdauer															
Variable	Ausgangs- zustand		Änderung 0-01		Änderung 0-02		Änderung 0-03		Änderung 0-04		Änderung 0-06				
	Var 1-3	Δ [%]	Var 1-6	Δ [%]	Var 2-2	Δ [%]	Var 2-2	Δ [%]	Var 6-2	Δ [%]	Var 6-3	Δ [%]	Var 8-2	Δ [%]	
1	0,28	0,3	7	0,41	46	0,28	0	0,28	0	0,28	0	0,28	0	0,28	0
1-2	-0,44	-0,56	27	-0,35	20	-0,45	2	-0,46	5	-0,46	5	-0,46	5	-0,46	5
3	0,33	0,33	0	0,33	0	0,38	15	0,36	9	0,36	9	0,36	9	0,35	6
4	0,14	0,14	0	0,14	0	0,16	14	0,15	7	0,15	7	0,15	7	0,15	7
5	0,09	0,09	0	0,09	0	0,1	11	0,09	0	0,09	0	0,09	0	0,09	0
6	0,6	0,62	3	0,58	3	0,58	3	0,72	20	0,73	22	0,73	22	0,65	8
7	0,3	0,3	0	0,3	0	0,3	0	0,33	10	0,33	10	0,33	10	0,31	3
8	0,63	0,63	0	0,63	0	0,66	5	0,71	13	0,72	14	0,72	14	0,72	14
9	-0,59	-0,6	2	-0,61	3	-0,74	25	-0,64	8	-0,64	8	-0,64	8	-0,61	3
11	-0,43	-0,44	2	-0,44	2	-0,49	14	-0,46	7	-0,47	9	-0,47	9	-0,45	5
12	0,6	0,6	0	0,6	0	0,6	0	0,61	2	0,61	2	0,61	2	0,61	2
13	0,23	0,23	0	0,23	0	0,25	9	0,24	4	0,24	4	0,24	4	0,24	4
15	0,27	0,28	4	0,28	4	0,29	7	0,29	7	0,29	7	0,29	7	0,28	4
16	-0,57	-0,57	0	-0,57	0	-0,6	5	-0,62	9	-0,62	9	-0,62	9	-0,6	5
Summe			13		52		30		27		31				13

Stufe 1: Optimierung Var. 13-3 Harmonisierung der Losdauer															
Variable	Ausgangs- zustand		Änderung 0-07		Änderung 0-08		Änderung 0-09		Änderung 0-10		Änderung 0-11		Änderung 0-12		
	Var 10	Δ [%]	Var 12-2	Δ [%]	Var 13-2	Δ [%]	Var 13-2	Δ [%]	Var 13-3	Δ [%]	Var 14	Δ [%]	Var 15-1	Δ [%]	
1	0,28	0,29	4	0,29	4	0,28	0	0,29	4	0,28	0	0,28	0	0,28	0
1-2	-0,44	-0,5	14	-0,48	9	-0,45	2	-0,49	11	-0,45	2	-0,44	0	-0,44	0
3	0,33	0,34	3	0,33	0	0,37	12	0,36	9	0,36	9	0,35	6	0,35	6
4	0,14	0,17	21	0,15	7	0,16	14	0,19	36	0,24	71	0,24	71	0,24	71
5	0,09	0,1	11	0,09	0	0,1	11	0,11	22	0,1	11	0,09	0	0,09	0
6	0,6	0,61	2	0,61	2	0,63	5	0,63	5	0,62	3	0,61	2	0,61	2
7	0,3	0,41	37	0,3	0	0,39	30	0,36	20	0,36	20	0,33	10	0,33	10
8	0,63	0,64	2	0,63	0	0,65	3	0,65	3	0,65	3	0,64	2	0,64	2
9	-0,59	-0,62	5	-0,6	2	-0,69	17	-0,68	15	-0,67	14	-0,65	10	-0,65	10
11	-0,43	-0,51	19	-0,46	7	-0,49	14	-0,56	30	-0,5	16	-0,46	7	-0,46	7
12	0,6	0,6	0	0,6	0	0,6	0	0,72	20	0,6	0	0,6	0	0,6	0
13	0,23	0,26	13	0,24	4	0,24	113	0,4	74	0,39	70	0,33	43	0,33	43
15	0,27	0,32	19	0,28	4	0,3	11	0,36	33	0,35	30	0,4	48	0,4	48
16	-0,57	-0,75	32	-0,57	0	-0,65	14	-0,94	65	-0,76	33	-0,6	5	-0,6	5
Summe			37		12		32		65		33				9

Tabelle 112: Simulationsläufe Stufe 2

Stufe 2: Optimierung Var. 1-6 Grad der Mehrmaschinenbedienung															
Variable	Ausgangs- zustand		Änderung 1-01		Änderung 1-02		Änderung 1-03		Änderung 1-04		Änderung 1-05		Änderung 1-06		
	Var 1-3	Δ [%]	Var 1-6	Δ [%]	Var 2-2	Δ [%]	Var 6-2	Δ [%]	Var 6-3	Δ [%]	Var 8-2	Δ [%]	Var 8-2	Δ [%]	
1	0,29	0,31	7	0,42	45	0,29	0	0,29	0	0,29	0	0,29	0	0,29	0
1-2	-0,49	-0,6	22	-0,4	18	-0,5	2	-0,51	4	-0,51	4	-0,51	4	-0,51	4
3	0,36	0,36	0	0,37	3	0,41	14	0,39	8	0,39	8	0,39	8	0,38	6
4	0,19	0,19	0	0,19	0	0,2	5	0,19	0	0,2	5	0,19	0	0,19	0
5	0,11	0,11	0	0,11	0	0,12	9	0,12	9	0,12	9	0,12	9	0,12	9
6	0,63	0,65	3	0,61	3	0,6	5	0,74	17	0,75	19	0,75	19	0,68	8
7	0,36	0,37	3	0,36	0	0,36	0	0,39	8	0,39	8	0,39	8	0,37	3
8	0,65	0,65	0	0,65	0	0,68	5	0,73	12	0,73	12	0,73	12	0,73	12
9	-0,68	-0,69	1	-0,7	3	-0,82	21	-0,72	6	-0,73	7	-0,73	7	0,58	185
11	-0,56	-0,57	2	-0,57	2	-0,62	11	-0,59	5	-0,59	5	-0,59	5	-0,7	25
12	0,72	0,72	0	0,72	0	0,73	1	0,74	3	0,74	3	0,74	3	0,74	3
13	0,4	0,4	0	0,4	0	0,42	5	0,41	3	0,41	3	0,41	3	0,41	3
15	0,36	0,37	3	0,37	3	0,38	6	0,38	6	0,38	6	0,38	6	0,37	3
16	-0,94	-0,94	0	-0,94	0	-0,97	3	-0,99	5	-0,99	5	-0,99	5	-0,97	3
Summe			12		50		27		33		35		35		44

Stufe 2: Optimierung Var. 1-6 Grad der Mehrmaschinenbedienung															
Variable	Ausgangs- zustand		Änderung 1-07		Änderung 1-08		Änderung 1-09		Änderung 1-10		Änderung 1-11				
	Var 10	Δ [%]	Var 12-2	Δ [%]	Var 13-2	Δ [%]	Var 14	Δ [%]	Var 15	Δ [%]					
1	0,29	0,3	3	0,3	3	0,29	0	0,29	0	0,29	0				
1-2	-0,49	-0,55	12	-0,53	8	-0,49	0	-0,49	0	-0,49	0				
3	0,36	0,37	3	0,36	0	0,4	11	0,39	8	0,38	6				
4	0,19	0,21	11	0,19	0	0,2	5	0,29	53	0,28	47				
5	0,11	0,13	18	0,12	9	0,12	9	0,13	18	0,12	9				
6	0,63	0,64	2	0,63	0	0,66	5	0,64	2	0,63	0				
7	0,36	0,47	31	0,37	3	0,46	28	0,42	17	0,4	11				
8	0,65	0,65	0	0,65	0	0,67	3	0,66	2	0,66	2				
9	-0,68	-0,7	3	-0,68	0	-0,78	15	-0,75	10	-0,74	9				
11	-0,56	-0,64	14	-0,59	5	-0,61	9	-0,63	13	-0,59	5				
12	0,72	0,89	24	0,84	17	0,73	1	0,73	1	0,73	1				
13	0,4	0,43	8	0,41	3	0,66	65	0,56	40	0,5	25				
15	0,36	0,41	14	0,37	3	0,39	8	0,44	22	0,49	36				
16	-0,94	-1,12	19	-0,94	0	-1,02	9	-1,12	19	-0,97	3				
Summe			41		19		24		35		16				

Tabelle 113: Simulationsläufe Stufe 3

Stufe 3: Optimierung Var. 10 Qualität des Fertigungsflusses														
Variable	Ausgangs- zustand		Änderung 2-01		Änderung 2-02		Änderung 2-03		Änderung 2-04		Änderung 2-05		Änderung 2-06	
	Var 1-3	Δ [%]	Var 2-2	Δ [%]	Var 6-2	Δ [%]	Var 6-3	Δ [%]	Var 8-2	Δ [%]	Var 10	Δ [%]	Var 10	Δ [%]
1	0,42	0,44	5	0,42	0	0,42	0	0,42	0	0,42	0	0,42	0	0,43
1-2	-0,4	-0,52	30	-0,41	3	-0,42	5	-0,42	5	-0,42	5	-0,42	5	-0,46
3	0,37	0,37	0	0,42	14	0,4	8	0,4	8	0,39	5	0,38	5	0,38
4	0,19	0,19	0	0,21	11	0,2	5	0,2	5	0,19	0	0,21	0	0,21
5	0,11	0,12	9	0,13	18	0,12	9	0,12	9	0,12	9	0,13	9	0,13
6	0,61	0,63	3	0,58	-5	0,72	18	0,73	20	0,65	7	0,62	2	0,62
7	0,36	0,36	0	0,36	0	0,38	6	0,39	8	0,37	3	0,47	31	0,47
8	0,65	0,65	0	0,68	5	0,73	12	0,74	14	0,74	14	0,74	14	0,66
9	-0,7	-0,71	1	-0,84	20	-0,74	6	-0,75	7	-0,72	3	-0,72	3	-0,72
11	-0,57	-0,58	2	-0,63	11	-0,6	5	-0,6	5	-0,59	4	-0,65	14	-0,65
12	0,72	0,73	1	0,73	1	0,74	3	0,74	3	0,74	3	0,74	3	0,9
13	0,4	0,4	0	0,42	5	0,41	3	0,41	3	0,41	3	0,41	3	0,43
15	0,37	0,37	0	0,38	3	0,38	3	0,38	3	0,37	0	0,41	11	0,41
16	-0,94	-0,94	0	-0,97	3	-0,99	5	-0,99	5	-0,97	3	-1,12	19	-1,12
Summe			20		27		34		36		21		40	

Stufe 3: Optimierung Var. 10 Qualität des Fertigungsflusses													
Variable	Ausgangs- zustand		Änderung 2-07		Änderung 2-08		Änderung 2-09		Änderung 2-10				
	Var 12-2	Δ [%]	Var 13-2	Δ [%]	Var 14	Δ [%]	Var 15-1	Δ [%]	Var 15-1	Δ [%]			
1	0,42	0,43	2	0,42	0	0,42	0	0,42	0	0,42			
1-2	-0,4	-0,44	10	-0,41	3	-0,41	3	-0,4	0	-0,4			
3	0,37	0,37	0	0,41	11	0,4	8	0,39	5	0,39			
4	0,19	0,2	5	0,21	11	0,29	233	0,28	200	0,28			
5	0,11	0,12	9	0,12	9	0,13	18	0,12	9	0,12			
6	0,61	0,61	0	0,64	5	0,62	2	0,61	0	0,61			
7	0,36	0,36	0	0,45	25	0,41	14	0,39	8	0,39			
8	0,65	0,65	0	0,67	3	0,67	3	0,66	2	0,66			
9	-0,7	-0,71	1	-0,8	14	-0,77	10	-0,76	9	-0,76			
11	-0,57	-0,6	5	-0,62	9	-0,63	11	-0,6	5	-0,6			
12	0,72	0,84	17	0,73	1	0,73	1	0,73	1	0,73			
13	0,4	0,41	3	0,66	65	0,56	40	0,5	25	0,5			
15	0,37	0,37	0	0,39	5	0,44	19	0,49	32	0,49			
16	-0,94	-0,94	0	-1,02	9	-1,13	20	-0,97	3	-0,97			
Summe			18		24		34		16				

Tabelle 114: Simulationsläufe Stufe 4

Stufe 4: Optimierung Var. 6-3 Qualität der Wartungsaktivitäten															
Variable	Ausgangs- zustand		Änderung 3-01		Änderung 3-02		Änderung 3-03		Änderung 3-04		Änderung 3-05		Änderung 3-06		
	Var 1-3	Δ [%]	Var 2-2	Δ [%]	Var 6-2	Δ [%]	Var 6-3	Δ [%]	Var 8-2	Δ [%]	Var 12-2	Δ [%]	Var 12-2	Δ [%]	
1	0,43	0,46	7	0,43	0	0,44	2	0,44	2	0,44	2	0,44	2	0,44	
1-2	-0,46	-0,58	26	-0,47	2	-0,48	4	-0,48	4	-0,48	4	-0,48	4	-0,5	
3	0,38	0,38	0	0,43	13	0,41	8	0,41	8	0,41	8	0,41	8	0,38	
4	0,21	0,22	5	0,23	50	0,22	5	0,23	10	0,22	5	0,22	5	0,22	
5	0,13	0,13	0	0,14	8	0,14	8	0,14	8	0,13	0	0,14	8	0,14	
6	0,62	0,64	3	0,59	10	0,73	18	0,74	19	0,67	8	0,63	2	0,63	
7	0,47	0,47	0	0,47	0	0,5	6	0,5	6	0,48	2	0,47	0	0,47	
8	0,66	0,66	0	0,69	5	0,74	12	0,74	12	0,74	12	0,66	0	0,66	
9	-0,72	-0,73	1	-0,87	21	-0,77	7	-0,77	7	-0,74	3	-0,73	1	-0,73	
11	-0,65	-0,65	0	-0,71	9	-0,68	5	-0,68	5	-0,67	3	-0,68	5	-0,68	
12	0,9	0,9	0	0,9	0	0,91	1	0,91	1	0,91	1	1,01	12	1,01	
13	0,43	0,43	0	0,45	5	0,44	2	0,44	2	0,44	2	0,44	2	0,44	
15	0,41	0,41	0	0,42	2	0,42	2	0,43	5	0,42	2	0,42	2	0,42	
16	-1,12	-1,13	1	-1,15	3	-1,17	4	-1,18	5	-1,15	3	-1,13	1	-1,13	
Summe			10		28		34		35		14		18		

Stufe 4: Optimierung Var. 6-3 Qualität der Wartungsaktivitäten															
Variable	Ausgangs- zustand		Änderung 3-07		Änderung 3-08		Änderung 3-09								
	Var 13-2	Δ [%]	Var 14	Δ [%]	Var 15-1	Δ [%]	Var 15-1	Δ [%]							
1	0,43	0,43	0	0,43	0	0,43	0	0,43							
1-2	-0,46	-0,47	2	-0,46	0	-0,46	0	-0,46							
3	0,38	0,42	11	0,4	5	0,4	5	0,4							
4	0,21	0,23	10	0,32	52	0,31	48	0,31							
5	0,13	0,14	8	0,14	8	0,14	8	0,14							
6	0,62	0,65	5	0,63	2	0,63	2	0,63							
7	0,47	0,56	19	0,53	13	0,5	6	0,5							
8	0,66	0,68	3	0,67	2	0,67	2	0,67							
9	-0,72	-0,83	15	-0,8	11	-0,78	8	-0,78							
11	-0,65	-0,7	8	-0,71	9	-0,68	5	-0,68							
12	0,9	0,9	0	0,9	0	0,9	0	0,9							
13	0,43	0,69	60	0,59	37	0,52	21	0,52							
15	0,41	0,43	5	0,48	17	0,54	32	0,54							
16	-1,12	-1,2	7	-1,31	17	-1,16	4	-1,16							
Summe			22		20		15								

Tabelle 115: Simulationsläufe Stufe 5

Stufe 5: Optimierung Var. 13-2 Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters														
Variable	Ausgangs- zustand	Änderung 4-01		Änderung 4-02		Änderung 4-03		Änderung 4-04		Änderung 4-05		Änderung 4-06		
		Var 1-3	Δ [%]	Var 2-2	Δ [%]	Var 6-2	Δ [%]	Var 8-2	Δ [%]	Var 12-2	Δ [%]	Var 13-2	Δ [%]	
1	0,44	0,46	5	0,44	0	0,44	0	0,44	0	0,44	0	0,44	0	0
1-2	-0,48	-0,6	25	-0,49	2	-0,5	4	-0,51	4	-0,52	6	-0,52	8	-0,49
3	0,41	0,42	2	0,47	15	0,44	7	0,44	7	0,41	0	0,45	10	0,45
4	0,23	0,23	0	0,24	4	0,24	4	0,23	0	0,23	0	0,24	4	0,24
5	0,14	0,14	0	0,15	7	0,14	0	0,14	0	0,14	0	0,15	7	0,15
6	0,74	0,76	3	0,72	-3	0,86	16	0,79	7	0,75	1	0,78	5	0,78
7	0,5	0,5	0	0,5	0	0,52	4	0,51	2	0,5	0	0,59	18	0,59
8	0,74	0,75	1	0,77	4	0,82	11	0,83	12	0,74	0	0,76	3	0,76
9	-0,77	-0,78	1	-0,92	19	-0,82	6	-0,79	3	-0,78	1	-0,88	14	-0,88
11	-0,68	-0,69	1	-0,74	9	-0,71	4	-0,7	3	-0,71	4	-0,73	7	-0,73
12	0,91	0,91	0	0,92	1	0,93	2	0,93	2	1,03	13	0,92	1	1,03
13	0,44	0,44	0	0,46	5	0,45	2	0,45	2	0,45	2	0,45	2	0,7
15	0,43	0,43	0	0,44	2	0,44	2	0,43	0	0,43	0	0,45	5	0,45
16	-1,18	-1,18	0	-1,21	3	-1,23	4	-1,21	3	-1,18	0	-1,26	7	-1,26
Summe			9		15		20,8		10		6		21,2	

Änderung 4-07				Änderung 4-08			
Variable	Ausgangs- zustand	Änderung 4-07		Änderung 4-08			
		Var 14	Δ [%]	Var 15-1	Δ [%]		
1	0,44	0,44	0	0,44	0		
1-2	-0,48	-0,49	2	-0,49	2		
3	0,41	0,44	7	0,43	5		
4	0,23	0,33	43	0,32	39		
5	0,14	0,15	7	0,14	0		
6	0,74	0,76	3	0,75	1		
7	0,5	0,56	12	0,53	6		
8	0,74	0,76	3	0,75	1		
9	-0,77	-0,85	10	-0,83	8		
11	-0,68	-0,74	9	-0,71	4		
12	0,91	0,92	1	0,92	1		
13	0,44	0,6	36	0,54	23		
15	0,43	0,5	16	0,55	28		
16	-1,18	-1,36	15	-1,21	3		
Summe			20		6		

Tabelle 116: Simulationsläufe Stufe 6

Stufe 6: Optimierung Var. 14 Grad der Priorisierung der Aufträge															
Variable	Ausgangs- zustand	Änderung 5-01 Var 1-3 Δ [%]	Änderung 5-02 Var 2-2 Δ [%]	Änderung 5-03 Var 6-2 Δ [%]	Änderung 5-04 Var 8-2 Δ [%]	Änderung 5-05 Var 12-2 Δ [%]	Änderung 5-06 Var 14 Δ [%]								
1	0,44	0,46	5	0,44	0	0,44	0	0,44	0	0,45	2	0,44	0	0,44	0
1-2	-0,49	-0,61	24	-0,5	2	-0,51	4	-0,51	4	-0,53	8	-0,49	0	-0,49	0
3	0,45	0,46	2	0,51	13	0,48	7	0,47	4	0,45	0	0,48	7	0,48	7
4	0,24	0,25	4	0,26	8	0,25	4	0,25	4	0,25	4	0,34	42	0,34	42
5	0,15	0,15	0	0,16	7	0,15	0	0,15	0	0,15	0	0,16	7	0,16	7
6	0,78	0,8	3	0,75	-4	0,89	14	0,82	5	0,78	0	0,79	1	0,79	1
7	0,59	0,6	2	0,59	0	0,62	5	0,6	2	0,6	2	0,65	10	0,65	10
8	0,76	0,77	1	0,79	4	0,84	11	0,85	12	0,77	1	0,78	3	0,78	3
9	-0,88	-0,89	1	-1,02	16	-0,92	5	-0,9	2	-0,88	0	-0,95	8	-0,95	8
11	-0,73	-0,74	1	-0,79	8	-0,76	4	-0,75	3	-0,76	4	-0,8	10	-0,8	10
12	0,92	0,92	0	0,92	0	0,93	1	0,93	1	1,03	12	0,92	0	0,92	0
13	0,7	0,7	0	0,72	3	0,71	1	0,71	1	0,71	1	0,86	23	0,86	23
15	0,45	0,45	0	0,46	2	0,46	2	0,46	2	0,45	0	0,52	16	0,52	16
16	-0,87	-1,27	46	-1,29	48	-1,31	51	-1,29	48	-1,26	45	-1,45	67	-1,45	67
Summe			9		12		18		8		7		19		19

Variable	Ausgangs- zustand	Änderung 5-07 Var 15-1 Δ [%]
1	0,44	0,44
1-2	-0,49	-0,49
3	0,45	0,47
4	0,24	0,34
5	0,15	0,15
6	0,78	0,78
7	0,59	0,63
8	0,76	0,78
9	-0,88	-0,94
11	-0,73	-0,76
12	0,92	0,92
13	0,7	0,79
15	0,45	0,57
16	-0,87	-1,29
Summe		4

Tabelle 117: Simulationsläufe Stufe 7

Stufe 7: Optimierung Var. 6-2 Qualität der Rüstaktivitäten															
Variable	Ausgangszustand		Änderung 6-01		Änderung 6-02		Änderung 6-03		Änderung 6-04		Änderung 6-05		Änderung 6-06		
	Var 1-3	Δ [%]	Var 2-2	Δ [%]	Var 6-2	Δ [%]	Var 6-2	Δ [%]	Var 8-2	Δ [%]	Var 12-2	Δ [%]	Var 15-1	Δ [%]	
1	0,44	0,46	5	0,44	0	0,44	0	0,44	0	0,44	0	0,45	2	0,44	0
1-2	-0,49	-0,61	24	-0,5	2	-0,51	4	-0,52	6	-0,52	6	-0,53	8	-0,5	2
3	0,48	0,48	0	0,53	10	0,51	6	0,5	4	0,48	0	0,48	0	0,5	4
4	0,34	0,35	3	0,36	6	0,35	3	0,35	3	0,35	3	0,35	3	0,44	29
5	0,16	0,16	0	0,17	6	0,17	6	0,16	0	0,16	0	0,16	0	0,16	0
6	0,79	0,81	3	0,77	-3	0,91	15	0,84	6	0,84	6	0,8	1	0,8	1
7	0,65	0,65	0	0,65	0	0,68	5	0,66	2	0,65	0	0,65	0	0,68	5
8	0,78	0,78	0	0,81	4	0,86	10	0,86	10	0,86	10	0,78	0	0,79	1
9	-0,95	-0,96	1	-1,09	15	-1	5	-0,97	2	-0,96	1	-0,96	1	-1,01	6
11	-0,8	-0,8	0	-0,85	6	-0,83	4	-0,81	1	-0,82	3	-0,82	3	-0,82	3
12	0,92	0,92	0	0,93	1	0,94	2	0,94	2	1,04	13	0,92	0	0,92	0
13	0,86	0,86	0	0,88	2	0,87	1	0,86	0	0,87	1	0,87	1	0,95	10
15	0,52	0,52	0	0,53	2	0,53	2	0,53	2	0,53	2	0,52	0	0,65	25
16	-1,45	-1,46	1	-1,48	2	-1,5	3	-1,48	2	-1,48	2	-1,45	0	-1,48	2
Summe			7		11		26		8		6		6		4

Tabelle 118: Simulationsläufe Stufe 8

Stufe 8: Optimierung Var. 2-2 Umfang eingesetzter Pull-Methode												
Variable	Ausgangszustand		Änderung 7-01		Änderung 7-02		Änderung 7-03		Änderung 7-04		Änderung 7-05	
	Var 1-3	Δ [%]	Var 2-2	Δ [%]	Var 8-2	Δ [%]	Var 12-2	Δ [%]	Var 15-1	Δ [%]	Var 15-1	Δ [%]
1	0,44	0,47	7	0,44	0	0,45	2	0,45	2	0,44	0	0
1-2	-0,51	-0,63	24	-0,52	2	-0,54	6	-0,55	8	-0,52	2	2
3	0,51	0,52	2	0,57	12	0,53	4	0,51	0	0,53	4	4
4	0,35	0,36	3	0,37	6	0,36	3	0,36	3	0,36	3	29
5	0,17	0,17	0	0,18	6	0,17	0	0,17	0	0,17	0	0
6	0,91	0,93	2	0,89	2	0,96	5	0,92	1	0,92	1	1
7	0,68	0,68	0	0,68	0	0,69	1	0,68	0	0,71	4	4
8	0,86	0,86	0	0,89	3	0,94	9	0,86	0	0,87	1	1
9	-1	-1,01	1	-1,14	14	-1,02	2	-1	0	-1,06	6	6
11	-0,83	-0,83	0	-0,88	6	-0,84	1	-0,85	2	-0,85	2	2
12	0,94	0,94	0	0,94	0	0,95	1	1,05	12	0,94	0	0
13	0,87	0,87	0	0,89	2	0,87	0	0,88	1	0,96	10	10
15	0,53	0,54	2	0,55	4	0,54	2	0,54	2	0,66	25	25
16	-1,5	-1,51	1	-1,53	2	-1,53	2	-1,5	0	-1,53	2	2
Summe			9		15		9		6		6	4

Tabelle 119: Simulationsläufe Stufe 9

Stufe 9: Optimierung Var. 1-3 Bewusstsein + Aktivität für Standardisierung										
Variable	Ausgangszustand	Änderung 8-01	Änderung 8-02	Änderung 8-03	Änderung 8-04	Var 1-3 Δ [%]	Var 8-2 Δ [%]	Var 12-2 Δ [%]	Var 15-1 Δ [%]	Var 8-04
1	0,44	0,47	7	0,45	2	0,45	2	0,45	2	0,45
1-2	-0,52	-0,64	23	-0,54	4	-0,56	8	-0,53	2	-0,53
3	0,57	0,57	0	0,59	4	0,57	0	0,59	4	0,59
4	0,37	0,38	3	0,38	3	0,38	3	0,38	3	0,38
5	0,18	0,18	0	0,18	0	0,18	0	0,18	0	0,18
6	0,89	0,91	2	0,93	4	0,89	0	0,89	0	0,89
7	0,68	0,68	0	0,69	1	0,68	0	0,71	4	0,71
8	0,89	0,89	0	0,97	9	0,89	0	0,9	1	0,9
9	-1,14	-1,15	1	-1,16	2	-1,15	1	-1,2	5	-1,2
11	-0,88	-0,89	1	-0,9	2	-0,91	3	-0,91	3	-0,91
12	0,94	0,94	0	0,96	2	1,06	13	0,94	0	0,94
13	0,89	0,89	0	0,89	0	0,9	1	0,98	10	0,98
15	0,55	0,55	0	0,56	2	0,55	0	0,57	22	0,57
16	-1,53	-1,54	1	-1,56	2	-1,54	1	-1,57	3	-1,57
Summe			10		9		6		6	

Tabelle 120: Simulationsläufe Stufe 10

Stufe 10: Optimierung Var. 8-2 Bewusstsein + Aktivität für 5S										
Variable	Ausgangszustand	Änderung 9-01	Änderung 9-02	Änderung 9-03	Var 8-2 Δ [%]	Var 12-2 Δ [%]	Var 15-1 Δ [%]	Var 8-03	Var 9-03	Var 15-1 Δ [%]
1	0,47	0,47	0	0,48	2	0,47	0	0,47	0	0,47
1-2	-0,64	-0,66	3	-0,68	6	-0,64	0	-0,64	0	-0,64
3	0,57	0,59	4	0,57	0	0,59	4	0,59	4	0,59
4	0,38	0,38	0	0,39	3	0,47	24	0,47	24	0,47
5	0,18	0,18	0	0,18	0	0,18	0	0,18	0	0,18
6	0,91	0,96	5	0,91	0	0,91	0	0,91	0	0,91
7	0,68	0,7	3	0,69	1	0,72	6	0,72	6	0,72
8	0,89	0,98	10	0,89	0	0,9	1	0,9	1	0,9
9	-1,15	-1,18	3	-1,16	1	-1,21	5	-1,21	5	-1,21
11	-0,89	-0,91	2	-0,92	3	-0,92	3	-0,92	3	-0,92
12	0,94	0,96	2	1,06	13	0,94	0	0,94	0	0,94
13	0,89	0,89	0	0,9	1	0,98	10	0,98	10	0,98
15	0,55	0,56	2	0,55	0	0,68	24	0,68	24	0,68
16	-1,54	-1,57	2	-1,54	0	-1,57	2	-1,57	2	-1,57
Summe			8		6		3		3	

Tabelle 121: Simulationsläufe Stufe 11

Stufe 11: Optimierung Var. 12-2 Niveau Trennung Wertschöpfung und Logistik

Variable	Ausgangszustand	Änderung Var 12- Δ [%]	Trennung 10-01	Änderung 10-01	Trennung 15-01	Änderung 15-01
1	0,47	0,48	2	0,47	0	0
1-2	-0,66	-0,7	6	-0,66	0	0
3	0,59	0,6	2	0,62	5	5
4	0,38	0,39	3	0,48	26	26
5	0,18	0,19	6	0,19	6	6
6	0,96	0,96	0	0,96	0	0
7	0,7	0,7	0	0,73	4	4
8	0,98	0,98	0	0,99	1	1
9	-1,18	-1,18	0	-1,24	5	5
11	-0,91	-0,93	2	-0,93	2	2
12	0,96	1,08	13	0,96	0	0
13	0,89	0,9	1	0,99	11	11
15	0,56	0,56	0	0,68	21	21
16	-1,57	-1,58	1	-1,61	3	3
Summe			11		9	9

Tabelle 122: Simulationsläufe Stufe 12

Stufe 12: Optimierung Var. 15-1 Qualität der Planzeiten

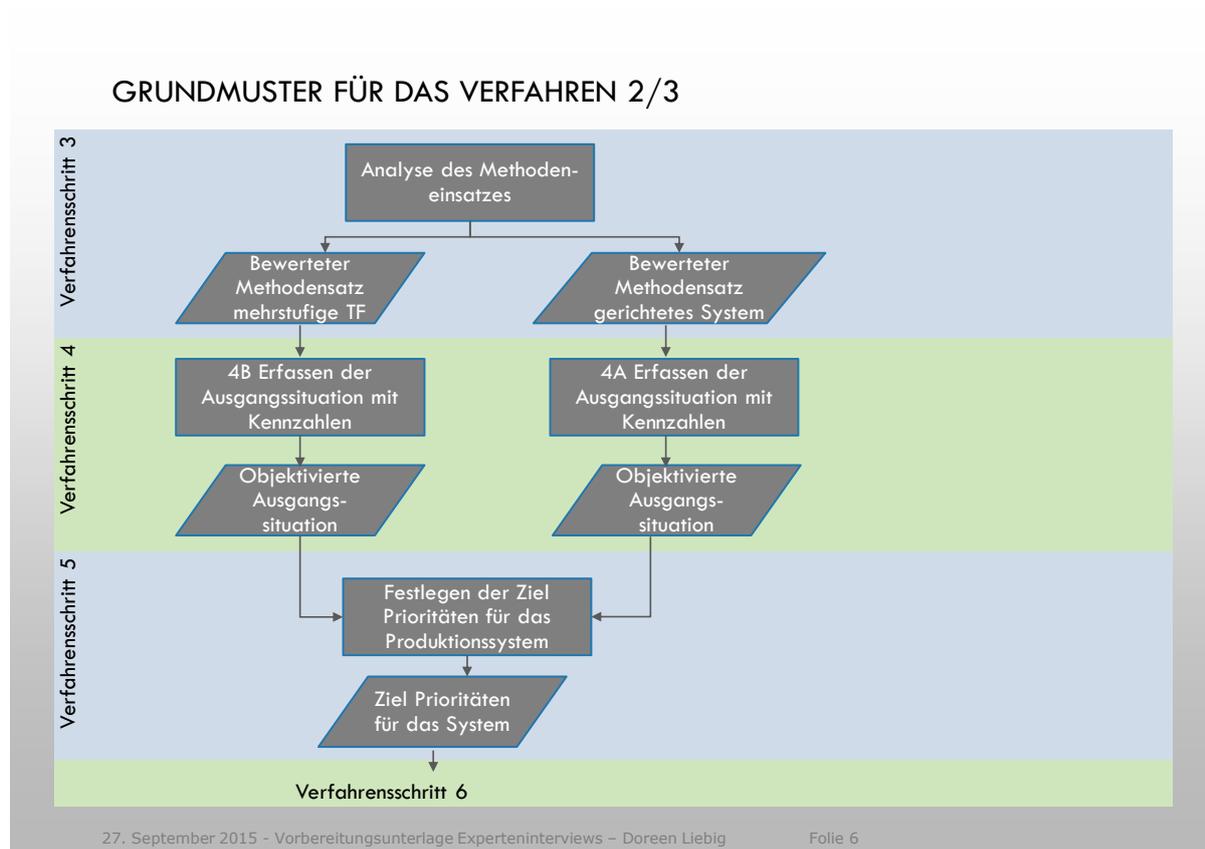
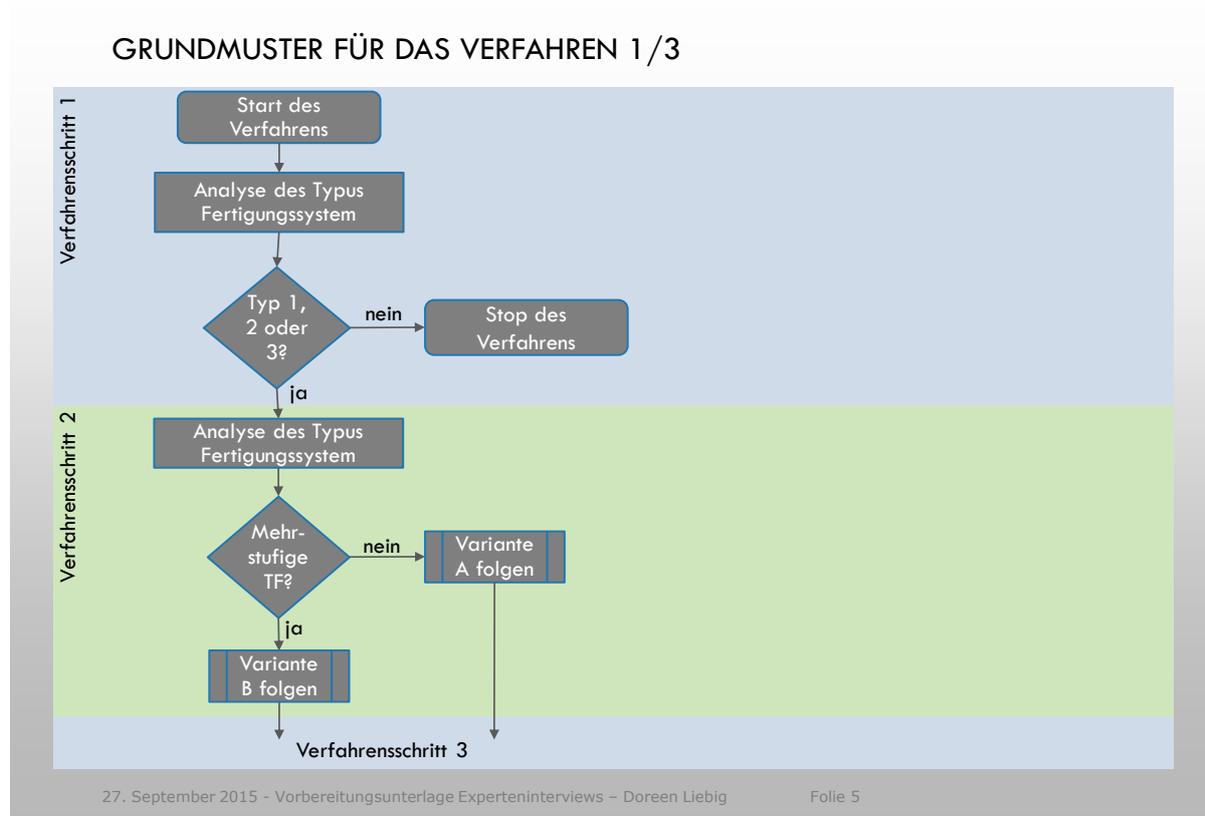
Variable	Ausgangszustand	Änderung Var 15- Δ [%]	Qualität 11-01
1	0,46	0,48	4
1-2	-0,6	-0,7	17
3	0,57	0,62	9
4	0,29	0,49	69
5	0,17	0,19	12
6	0,94	0,97	3
7	0,66	0,73	11
8	0,96	0,99	3
9	-1,11	-1,24	12
11	-0,85	-0,96	13
12	0,8	1,08	35
13	0,8	1	25
15	0,44	0,69	57
16	-1,53	-1,61	5
Summe			33

9.15 Alternative Methodenreihenfolge für gerichtete Systeme

Tabelle 123: Methodenreihenfolge für gerichtete Systeme und Ziele Liefertreue, Durchlaufzeit und Bestandsreduzierung

Optimierungs- stufe	Variable	Übergeordnete Lean- Methode
1	10 Qualität des Fertigungsflusses	kontinuierlicher Fluss / U-Linie
2	2-2 Umfang eingesetzter Pull-Methoden	Kanban und Pull
3	6-2 Qualität Rüstablauf	SMED
4	6-3 Qualität der Wartungsaktivitäten	TPM
5	13-2 Wiederholhäufigkeit des Produktionsmusters	Heijunka / Nivellieren und Glätten
6	12-2 Niveau Trennung von Wertschöpfung und Logistik	JIT/JIS
7	8-2 Bewusstsein und Aktivität für 5S	5S
8	1-3 Bewusstsein und Aktivität für Standardisierung	Standardisierung
9	1-4 Qualität der Abtaktung	Arbeiten im Takt

9.17 Visualisierung der Verfahrensschritte



GRUNDMUSTER FÜR DAS VERFAHREN 3/3

