



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Vienna University of Technology

Dissertation:

Ein Vorgehensmodell zur IT-gestützten Parametrisierung des nächsten Zielzustands eines Wertstroms am Beispiel eines dezentral organisierten Unternehmensverbunds

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der
technischen Wissenschaften unter der Leitung von

Ao.Univ.-Prof. Dr.techn. Kurt Matyas

Institut für Managementwissenschaften, Betriebstechnik und Systemplanung

Prof. Dr.-Ing. Peter Plapper

Université du Luxembourg, Faculty of Science, Technology and Communication

Univ.-Prof. Dr. habil. Herwig Winkler

BTU Cottbus-Senftenberg, Lehrstuhl für Produktionswirtschaft

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von:

Dipl.-Ing. Alexander W. Sunk

Matrikelnummer: e0525958

Studienkennzahl: E 786 740

Zehetnergasse 5/21, 1140 Wien

Wien, Dezember 2016

Alexander Sunk



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

Dissertation

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin. Ich erkläre weiters Eides statt, dass ich meine Dissertation nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, genannt habe.

Weiters erkläre ich, dass ich dieses Dissertationsthema bisher weder im Inland noch im Ausland (einer Beurteilerin/einen Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Wien, Dezember 2016

Alexander Sunk

Kurzfassung

Das traditionelle „Value Stream Mapping“ (VSM, dt. Wertstrommanagement) mittels Bleistift und Papier stößt – bei den heutigen Anforderungen an Produktionen – an seine Grenzen. Es steigen sowohl die Komplexität der Produkte und Produktionen als auch die Kundenanforderungen hinsichtlich Kosten, Qualität, Nachhaltigkeit, etc. Darüber hinaus steigen auch die Möglichkeiten der Datengenerierung und -verfügbarkeit in Produktionen. Das erweitert die Möglichkeiten von Wertstromplanern im VSM, um weitere Verbesserungspotentiale ermitteln zu können. Im traditionellen VSM spielen das Expertenwissen ebenso wie die System- und Methodenkompetenz eines Wertstromplaners die zentrale Rolle bei der Problemlösungskompetenz. Dies ist erforderlich, um Verbesserungspotentiale bewerten und erschließen zu können und um einen produktiven, industriellen Wertstrom zu planen und zu gestalten.

Die vorliegende Dissertation entwickelt ein Vorgehensmodell als zentrales Element eines IT Artefakts zur IT-gestützten Parametrisierung des nächsten Zielzustands eines Wertstroms. Im Vorgehensmodell wird Expertenwissen bezüglich Analyse und Design im VSM Top-down strukturiert aufbereitet. Anschließend werden die zur Implementierung des Vorgehensmodells in ein IT Artefakt relevanten Elemente mit der Forschungsmethodik der „Design Science Research Methodology“ (DSRM) (vgl. Peffers et al., 2007) erarbeitet und dokumentiert. Dabei handelt es sich um eine Methodik, die das „Erschaffen“ (engl. „Design“) von neuem Wissen mit Vorgehensweisen aus den Ingenieurwissenschaften unter Zuhilfenahme der Informationssystemforschung (engl. „Information Systems Research“) ermöglicht. Die Inhalte und der Aufbau der Arbeit richten sich nach der DSRM und erfüllen die Anforderungen nach HEVNER et al. (vgl. Hevner et al., 2004).

Ausgehend von einem zielorientierten Lösungsansatz der DSRM werden in Kapitel 1 die detaillierte Problemstellung und der Forschungsbedarf abgeleitet. Weiters werden darin Auswahl und Zweck der Forschungsmethodik ebenso wie Adressaten und Nutzer der Arbeit beschrieben. In Kapitel 2 werden die relevanten Grundlagen für das Vorgehensmodell und das IT Artefakt erläutert und der Untersuchungsbereich eingegrenzt. In Kapitel 3 ist der State of the Art der Design-Ansätze im VSM aufbereitet, der für das Vorgehensmodell von elementarer Bedeutung ist. In Kapitel 4 wird das Vorgehensmodell detailliert beschrieben und es wird gezeigt, wie damit die übergeordneten Zielgrößen eines VSM-Zielsystems systematisch durch IT-gestützte Parametrisierung verbessert werden. Nachfolgend werden in Kapitel 5 die Anforderungen zur Implementierung des Vorgehensmodells in ein IT Artefakt im Überblick dargestellt, wobei die Inhalte prototypisch entwickelt wurden und dies auch dementsprechend dokumentiert ist. Das Anwendungswissen (engl. „How-to-Knowledge“) des Vorgehensmodells im prototypischen IT Artefakt wird in Kapitel 6 dargelegt. Dies wird in Kapitel 7 anhand eines Use Cases evaluiert. Dabei werden die VSM-Aktivitäten der traditionellen VSM-Vorgehensweise mit Bleistift und Papier dem erschaffenen Vorgehensmodell im

prototypischen IT Artefakt gegenübergestellt und miteinander verglichen. Im abschließenden Kapitel 8 werden die Erkenntnisse, die im Rahmen der Dissertation gewonnen wurden, zusammengefasst und ein Ausblick auf zukünftige Forschungsvorhaben gegeben.

Das Vorgehensmodell als zentrales Element des (prototypischen) IT Artefakts zur IT-gestützten Parametrisierung des nächsten Zielzustands eines Wertstroms ermöglicht ein noch effektiveres und effizienteres VSM. Unabhängig von der Implementierung in ein IT Artefakt ist das Vorgehensmodell auch als „Checkliste“ mit Top-down strukturierten Aktivitäten für das traditionelle VSM mit Bleistift und Papier geeignet, wobei dann die Effizienz zu hinterfragen ist. Es beinhaltet den State of the Art an Analyse- und Design-Ansätzen aus internationaler Fachliteratur und bietet zu deren Einordnung ins VSM einen übergeordneten, Top-down strukturierten Bezugsrahmen.

Abstract

Traditional Value Stream Mapping (VSM) with paper and pen is reaching its limitations in practical improvement routines. The ever increasing complexity of products and production, and factors such as customer demands, quality, costs, and sustainability, is causing correspondingly complex value streams. Modern ICT allows companies to gather and analyze related data from value streams in order to learn the strengths and weaknesses of the elements of a value stream. For example, production management personnel may use the value stream data in order to improve productivity and meet other customer demands. To do so, expert knowledge for improving value streams (e.g. systems competency and methods competency) are vital.

This dissertation is designing a process model as a key element of an IT artifact enabling IT-based parametrization of the next current state map (CSM) of a value stream. Therefore, all relevant elements of the IT artifact need to be created based on the „Design Science Research Methodology“ (DSRM) (cp. Peffers et al., 2007). This methodology has its origin in Design Science Research in Information Systems with clearly defined guidelines for research in this fields (cp. Hevner et al., 2004). Content and structure are related to the DSRM by PEFFERS et al. and follow the guidelines stated by HEVNER et al. The entry point for this work is the objective-centered solution in DSRM, which is explained in chapter 1 together with the resulting problem statement, for which more research is needed. Furthermore, communication of the outcomes to the scientific community and practice can be found there. Chapter 2 explains the fundamentals for the process model and the IT artifact, followed by state of the art improvement practices and IT-based VSM as design principles in chapter 3. The process model created for IT-based parametrization of the next future state map (FSM) of a value stream is described in detail in chapter 4. In addition, a system of target values (STV) with performance indicators to support IT-based parametrization as well as the necessary feedback control system are presented. The IT artifact – with special focus on the IT tool „VSM Expert“ – represents a prototypic instantiation of the process model, the STV and the feedback control loop, which is highlighted in chapter 5. The following chapter 6 deals with utilizing VSM Expert containing analysis algorithms and design principles with the underlying process model. The evaluation of the process model and the IT artifact is found in chapter 7. The conclusion as well as the outlook on further research possibilities are written in last chapter.

The process model is a key element of the designed prototypical IT artifact for IT-based parametrization of the next FSM of a value stream. This instantiation enables VSM in a more effective and efficient way compared to the traditional pen and paper procedure. The strengths and weaknesses of this approach are discussed throughout the dissertation. Furthermore, the process model can also be seen as a top-down structured checklist which supports traditional, holistic VSM without IT support – based on analysis algorithms and design principles found in scientific literature.

Danksagung

Nach fast sechs Jahren als wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW der TU Wien und bei der Fraunhofer Austria Research GmbH habe ich es endlich geschafft, meine Doktorarbeit fertig zu schreiben. Dafür möchte ich mich bei allen Wegbegleitern aus Familie, Freundeskreis, Arbeitskollegen und auch Studenten sehr herzlich bedanken. Ohne Eure fachliche, organisatorische und vor allem psychologische Unterstützung wäre es mir nicht möglich gewesen fertig zu werden bzw. mich wieder auf zu richten. ☺

Besonderen Dank möchte ich den folgenden Personen und Personenkreisen aussprechen:

Meinem Doktorvater VR Prof. Dr. Kurt Matyas danke ich von ganzem Herzen für die Betreuung meiner Dissertation. Lieber Kurt, neben deinen fachlichen Qualitäten schätze ich vor allem Deine persönlichen Eigenschaften und sehe Dich in vielerlei Hinsicht als Vorbild!

Ein großes Dankeschön gebührt auch meinen beiden Gutachtern Prof. Dr.-Ing. Peter Plapper und Prof. Dr. habil. Herwig Winkler zur Sicherstellung der Qualität dieser Arbeit.

Liebe TU- und Fraunhofer-Kollegen, es war mir eine Freude mit Euch zusammen zu arbeiten! Ich darf mit meiner vollsten Überzeugung behaupten, dass ich sowohl fachlich als auch organisatorisch viel von Euch gelernt habe. Das Arbeitsklima war/ist echt spitze, vielen Dank für alles!

Davon möchte ich besonders die Kollegen Prof. Dr. Wilfried Sihn, Prof. Dr. Peter Kuhlang und DI Thomas Edtmayr hervorheben – Ihr alle wisst warum! ☺

Weiters möchte ich mich bei sämtlichen Teammitgliedern sowohl TU-seitig als auch beim Unternehmensverbands sehr herzlich bedanken. Stellvertretend dafür möchte ich Prof. Dr. Walter Schwaiger, DI Sebastian Rötzer, DI Peter Schieder, Mag. Christoph Bistricky, DI Johannes Müller, Dr. Herbert Demel, DI Albert Lidauer, DI Claudia Moisesbichler und Dr. Jörg Blechinger nennen. Vielen Dank für die konstruktive und wertschätzende Zusammenarbeit!

Am meisten möchte ich mich meiner Frau Nadine und den Familien beiderseits – also meiner Familie – bedanken. Danke fürs ständige Nachfragen, wie es mir der Dissertation stand, danke für die viele Unterstützung in allen Lebenslagen. Einfach Danke!

Danke fürs Korrekturlesen und Verbessern der Arbeit an Nadine, meine Mama, Jeff und Tom.

Abkürzungsverzeichnis

%NVA	Non Value-adding Rate (dt. Nicht-Wertschöpfungsanteil)
%VA	Value-adding Rate (dt. Wertschöpfungsanteil)
ABC	Activity-Based Costing
ATT	Adjusted Takt Time (dt. Angepasste Taktzeit je Prozess)
AZ	Netto-Arbeitszeit
BF	Balancing-Factor
BM	Benchmark-Kriterium
BOM	Bill of Materials (dt. Stückliste)
BSC	Balanced Scorecard
bspw.	beispielsweise
BZ	Bearbeitungszeit
bzw.	beziehungsweise
CDE	Carbon Dioxide Equivalents (Kohlenstoff-Äquivalente)
CFAT	Cash Flow After Taxes
CIP	Continuous Improvement Process (siehe KVP)
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CONWIP	Constant Work-in-Process
CSM	Current State Map (dt. Istzustand des Wertstroms)
CT	Cycle Time (dt. Zykluszeit)
CT _{id}	Ideal Cycle Time (dt. ideale Zykluszeit)
CTE	Cycle Time Effectiveness
CTT	Customer Takt Time (dt. lokaler Kundentakt je Prozess)
d.h.	das heißt
DEA	Data Envelope Analysis
DES	Discrete Event Simulation
DLZ	Durchlaufzeit
DMAIC	Define - Measure - Analyze - Improve - Control
DoE	Design of Experiments
DSRM	Design Science Research Methodology
DSRP	Design Science Research Process
DSS	Decision Support System (siehe EUS)
EDD	Earliest Due Date
EFEl	Every Family Every Interval
EIS	Executive Information System (siehe FIS)
EMAS	Eco Management and Audit Scheme
EOQ	Economic Order Quantity (dt. ähnlich der Losgrößenformel nach Andler)
EPEI	Every Part Every -interval
EPL	Economic Production Lot
ERP	Enterprise-Resource-Planning
ESD	Earliest Start Date
ESS	Executive Support System

etc.	Et cetera (dt. und so weiter)
EU	Europäische Union
EUR	Euro (Währungseinheit)
EUS	Entscheidungsunterstützungssysteme
FG	Flussgrad
FIFO	First In - First Out
FIS	Führungsinformationssysteme
FSM	Future State Map (dt. Zielzustand des Wertstroms)
FT	Fabriktag
GA	Genetische Algorithmen
GAE	Gesamtanlageneffektivität (siehe OEE)
ggf.	gegebenenfalls
GHG	Greenhouse Gas (Emissionen)
GPS	Ganzheitliche Produktionssysteme
GRI	Global Reporting Initiative
GT	Gutteile
h	Stunde(n)
i.e.	id est (dt. das heißt)
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik
inkl.	inklusive
IS	Informationssystem
IT	Informationstechnologie
JIS	Just-in-Sequence
JIT	Just-in-Time
kg	Kilogramm
KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
kWh	Kilowattstunde(n)
LCA	Life Cycle Assessment
LCT	Life Cycle Thinking
LT	Lead Time (siehe DLZ)
lt.	laut
LZ	Liegezeit
MCDM	Multiple-criteria Decision Matrix
MES	Manufacturing Execution System
MIS	Managementinformationssysteme
MRP	Material Requirements Planning; Manufacturing Resources Planning
MSS	Management Support System (siehe MUS)
MTM	Methods-Time Measurement
MTO	Make-to-Order (dt. Auftragsbezogene Produktion)
MTS	Make-to-Stock (dt. Produktion auf Lager)
MUS	Managementunterstützungssystem
OBC	Operator Balance Chart
OEE	Overall Equipment Effectiveness
OEM	Original Equipment Manufacturer
OFE	Overall Factory Effectiveness
o.g.	oben genannt
OPF	One-Piece-Flow (dt. Ein-Stück-Fluss)

OR	Operations Research
OTE	Overall Throughput Effectiveness
PDCA	Plan - Do - Check - Act
PEP	Produktentstehungsprozess
PERT	Program Evaluation and Review Technique (dt. Ereignis-Knoten-Darstellung)
PL0	Prädikatenlogik nullter Stufe
PL1	Prädikatenlogik erster Stufe
PLC	Product Life Cycle
POLCA	Paired-cell Overlapping Loops of Cards with Authorization
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
PS	Produktionssystem
PZ	Prozesszeit
Q	Qualität(s)
QFD	Quality Function Deployment
RR	Run Ratio
RW	Reichweite(n)
RZ	Rüstzeit
SC	Schicht (engl. Shift) - Abkürzung im VSM
SEM	Structural Equation Modeling (dt. Strukturgleichungsmodell)
SMED	Single Minute Exchange of Die (dt. Werkzeugwechsel im einstelligen Minutenbereich)
SPC	Statistical Process Control (dt. Statistische Prozesslenkung)
Stk.	Stück
STV	System of Target Values (dt. Zielsystem mit Zielgrößen)
TB	Tagesbedarf
TOC	Theory of Constraints (dt. Engpasstheorie)
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
TPM	Total Productive Maintenance bzw. Management
TPS	Toyota Produktionssystem
TQM	Total Quality Management
TZ	Transportzeit
u.v.m.	und vieles mehr
VarK	Variationskoeffizient
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
vgl.	vergleiche
VMI	Vendor managed inventory
VS	Value Stream (dt. Wertstrom)
VSC	Value Stream Costing
VSM	Value Stream Mapping (dt. Wertstrommanagement)
WBS	Wissensbasierte(s) System(e)
WBZ	Wiederbeschaffungszeit
WIP	Work-in-Progress
WLC	Workload Control (and Order Release)
z.B.	zum Beispiel

Glossar

In diesem Glossar werden vom Autor festgelegte und hier häufig verwendete Begriffe erklärt.

IT Artefakt	Der Begriff „IT Artefakt“ wird in dieser Arbeit aus der Fachliteratur 1:1 ins Deutsche übersetzt. Das IT Artefakt repräsentiert die prototypische Instanziierung des erschaffenen Vorgehensmodells in einem Satz aus prototypischen IT Elementen. Diese IT Elemente sind das „VSM Tool“, das „VSM Expert“ und die „VSM-Datenbank“. In weiterer Folge werden die Wechselwirkungen sowie die Abhängigkeiten untereinander bei der IT-gestützten Parametrisierung des nächsten Zielzustands eines Wertstroms detailliert erklärt.
VSM Tool	Das VSM Tool ist ein IT Tool zur standardisierten Analyse und Bewertung eines definierten Wertstroms. Es ist einerseits ein Visualisierungs-Tool und andererseits ein Berechnungs-Tool. Das VSM Tool benötigt Istwerte oder Durchschnittswerte von Input-Parametern und berechnet somit „statische“ VSM-Kennzahlen. Dem VSM Tool liegt eine „Formelsammlung“ zur Bewertung von ökonomischen und ökologischen VSM-Kennzahlen zugrunde.
Input-Parameter	Input-Parameter definieren den Ressourceneinsatz in den Elementen Prozess, Lagerstufe und Transport des Wertstroms; diese sind bspw. Zeit, Prozesstechnologie, Fläche, Faktorpreise etc.
VSM-Kennzahlen	Die mit dem VSM Tool ermittelbaren VSM-Kennzahlen sind aus der Fachliteratur abgeleitet und lassen sich durch Eingabe von Input-Parametern berechnen.
Parametrisierung	Der Istzustand eines Wertstroms lässt sich durch einen Satz an Input-Parametern und VSM-Kennzahlen zum Zeitpunkt t_0 bestimmen. Für den nächsten Zielzustand wird mittels Vorgehensmodell und Instanziierung im prototypischen IT Artefakt ein Zielzustand für den Zeitpunkt t_1 parametrisiert. Diese Parametrisierung bedingt eine Änderung des ursprünglichen Satzes aus Input-Parametern und VSM-Kennzahlen.
VSM Expert	Die Parametrisierung des Wertstroms für den nächsten Zielzustand in t_1 wird mittels VSM Expert durchgeführt. VSM Expert beinhaltet das erschaffende Vorgehensmodell und unterstützt den Wertstromplaner bei der effektiven und effizienten Parametrisierung des nächsten Zielzustands eines Wertstroms. Der Wertstromplaner wird bei der Entscheidungsfindung schrittweise und zielgerichtet durch eine Vielzahl an möglichen Handlungsoptionen geleitet.
VSM-Datenbank	Die VSM-Datenbank ist eine strukturierte Sammlung an Datensätzen unterschiedlicher Wertströme im Unternehmensverbund. Die Datensätze beinhalten sowohl Input-Parameter als auch VSM-Kennzahlen. Über eine Schnittstelle zu VSM Expert werden diese Daten dem Wertstromplaner aufbereitet (hier: gefiltert, strukturiert und statistisch ausgewertet).
Wertstromplaner	Der/die Wertstromplaner/in ist eine Person oder eine Personengruppe, die sich mit der operativen Verbesserung eines Wertstroms befasst oder befassen. Er/sie ist/sind somit Benutzer von VSM Expert und des IT Artefakts und treffen relevante Entscheidungen zur Steigerung der Produktivität eines Wertstroms.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	III
Abstract.....	V
Danksagung	VI
Abkürzungsverzeichnis.....	VII
Glossar.....	X
Inhaltsverzeichnis.....	XI
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation und Zielsetzung	1
1.2 Problemstellung, Forschungsbedarf und Relevanz	3
1.3 Forschungsmethodik und Aufbau der Arbeit.....	7
1.4 Adressaten und deren Nutzen der Arbeit.....	12
2 Grundlagen und Eingrenzung des Untersuchungsbereichs	14
2.1 Wertschöpfung, Produktentstehungsprozess (PEP) und Product Life Cycle (PLC)	14
2.2 Produktionssystem und Arbeitssystem	15
2.3 Wertstrom und Wertstrommanagement.....	16
2.4 Produktivität und Produktivitätsmanagement.....	18
2.5 Handlungskompetenz zum Produktivitätsmanagement	18
2.6 Istzustand, Zielzustand und Idealzustand.....	20
2.7 Kennzahlen zur Wertstrom-Analyse	22
2.8 Grundlagen der Informationswissenschaften für IT-gestütztes VSM.....	26
2.8.1 Definition und Erläuterung des Begriffs „IT Artefakt“	26
2.8.2 Grundlagen der Entscheidungstheorie und Abbildung in einem IT Artefakt	27
2.8.3 Grundlagen der diskreten Simulation (für VSM)	28
2.8.4 Wissensbasierte Systeme (WBS) als Beispiel Software-intensiver Systeme	30
2.9 Zusammenfassung und Eingrenzung des Untersuchungsbereichs	32
3 Stand der Forschung für das Wertstrom-Design.....	35
3.1 Empirische Methoden und Ansätze	36
3.1.1 VSM im Lean Manufacturing bzw. Lean Management.....	37
3.1.2 Wertstrommanagement als eigenständiges Verfahren	38
3.1.3 Kontinuierliches Streben nach dem Idealzustand	40

3.2	Ansätze und Methoden der Mathematik und Informationswissenschaften.....	43
3.2.1	Design-Ansätze unter finanziellen Aspekten	43
3.2.2	Design-Ansätze unter Kapazitätsaspekten	44
3.2.3	Design-Ansätze und Steuerungsaspekte zur Bestands- und somit Durchlaufzeitreduktion.....	45
3.2.4	Design-Ansätze mittels Simulationsstudien	47
3.2.5	Exkurs: ergänzende Design-Ansätze in Produktionssystemen	51
3.3	Zusammenfassung des Kapitels und Zwischenfazit	52
4	Zielsystem und Vorgehensmodell.....	54
4.1	Zugrundeliegendes Gedankengebäude	54
4.2	Ableitung eines geeigneten Zielsystems.....	57
4.2.1	Durchlaufzeit	58
4.2.2	Balancing-Factor (BF)	60
4.2.3	Stückkosten	65
4.2.4	CDE-Wert.....	66
4.2.5	Weitere mögliche Zielgrößen im Zielsystem	67
4.3	Regelkreis zur Verbindung von Zielsystem und Vorgehensmodell	68
4.4	Vorgehensmodell im Detail.....	69
4.4.1	STEP [0]: Vorbereitung und Szenarienbildung	70
4.4.2	STEP [1]: Grob-Parametrisierung der Elemente im Wertstrom.....	72
4.4.3	STEP [2]: Parametrisierung des Informationsflusses.....	75
4.4.4	STEP [3]: Fein-Parametrisierung der Prozesse	78
4.4.5	STEP [4]: Simulationsstudien im VSM.....	80
4.4.6	STEP [5]: Abfallbewertung als Kennzahl der ökologischen Nachhaltigkeit	83
4.4.7	STEP [6]: Bewertung des CDE-Werts der ökologischen Nachhaltigkeit	84
4.4.8	STEP [7]: Wertschöpfung und Kosten	86
4.4.9	STEP [8]: Parametrisierung abschließen und Zielzustand freigeben	88
4.4.10	Forderung nach einem allgemeingültigen Vorgehensmodell	89
4.5	Zwischenfazit / Zusammenfassung des Kapitels	90
5	Architektur des IT Artefakts	91
5.1	Elemente und Interaktionen des IT Artefakts.....	91
5.1.1	VSM Tool als externe Schnittstelle des IT Artefakts	92
5.1.2	Wissensbasis als relationale Datenbank in der IT Architektur.....	97
5.1.3	Prototyp VSM Expert als zentrales Element des IT Artefakts	99

5.2	Die Rolle des Wertstromplaners	100
6	How-to-Knowledge: Implementierung des Vorgehensmodells in VSM Expert	102
6.1	Benutzer-Schnittstelle von VSM Expert	102
6.1.1	Zielsystem mit Zielgrößen	103
6.1.2	Import-Schnittstelle	104
6.1.3	Vorgehensmodell zur Orientierung	104
6.1.4	Navigation durch das Vorgehensmodell	105
6.1.5	Interaktion mit dem Wertstromplaner.....	105
6.1.6	Protokoll.....	106
6.2	Heuristiken der IT-gestützten Parametrisierung.....	107
6.2.1	Benchmark-Kriterium zur Priorisierung der Potentiale	107
6.2.2	Einfache statistische Auswertungen und Boxplots.....	108
6.2.3	Erweiterung der Heuristiken aus der Fachliteratur im Vorgehensmodell.....	111
6.3	Prototyp der Inferenz-Maschine in „VSM-Expert“	112
7	Evaluierung mittels Use Case.....	115
7.1	Analyse des Istzustands eines Beispiel-Wertstroms.....	116
7.2	Beispielhafte Anwendung der IT-gestützten Parametrisierung mit VSM Expert	117
7.2.1	Durchlaufzeit: Art, Anzahl und Parameter der Lagerstufen	118
7.2.2	Balancing-Factor: Verbesserung der Austaktung	122
7.2.3	CDE-Wert: Verbesserungen im CO ₂ -Austoß des Wertstroms	126
7.3	Verbesserter Zielzustand des Beispiel-Wertstroms	130
7.4	Diskussion der experimentellen Evaluierung	131
8	Zusammenfassung und Ausblick.....	133
9	Literaturverzeichnis	137
10	Abbildungsverzeichnis	149
11	Formelverzeichnis.....	151
12	Tabellenverzeichnis	152
13	Anhang.....	153
13.1	Curriculum Vitae.....	153
13.2	Publikationsliste	155
13.3	CSM (Istzustand in t_0) des Beispiel-Wertstroms	157
13.4	FSM (Zielzustand in t_1) des Beispiel-Wertstroms.....	158

1 Einleitung

„(...) as IT develops and technical knowledge grows, IT is applied to new application areas that were not previously believed amenable to IT support.“ (Markus et al., 2002)

Die vorliegende Dissertation ist im Rahmen eines Auftragsforschungsprojekts eines international tätigen Tier-1-Automobilzulieferers (in weiterer Folge als Unternehmensverbund betitelt) mit dem Institut für Managementwissenschaften an der Technischen Universität Wien entstanden. Der Projekttitle lautet *„Model-based Sustainable Value Stream Optimization“*, wobei die vorgestellten Inhalte im Rahmen der Arbeitspakete zu *„Sustainable Value Stream Mapping“* (kurz: SVSM) entwickelt wurden. Die zweite¹ grundlegende Zielsetzung für das Forschungsprojekt beruht auf der Vision, mit den vorhandenen Verfahren und Möglichkeiten des Verbesserns von Produktionssystemen im speziellen Fall Wertströme *„per Knopfdruck“* zu parametrisieren, um *„Idealwertströme generieren“* zu können.

1.1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Der betrachtete Unternehmensverbund ist ein stark dezentral organisierter Konzern mit über 300 Produktionsbetrieben weltweit in acht Firmen bzw. Firmengruppen untergliedert (Stand 03/2015). Kerngeschäft des Unternehmensverbunds (Anm.: Tier-1) ist die Herstellung von Modulen bzw. Systemen für *„Original Equipment Manufacturer“* (kurz: OEM, Tier-0) der Automobilindustrie. Innerhalb des Unternehmensverbunds herrscht eine historisch gewachsene, dezentrale Organisationsform vor, die sich in der Vergangenheit aus verschiedenen betriebswirtschaftlichen Gründen bewährt hat. In den Produktionswerken gibt es jedoch teils bekannte und teils unbekannt Potentiale zur Effektivitätssteigerung, die aus zentraler, übergeordneter Perspektive ersichtlich bzw. anzunehmen sind. Beispielsweise seien Potentiale aufgrund von Standardisierung und Verbundeffekten genannt, die auch in der Produktion erschlossen werden können.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich im Allgemeinen mit der praktischen Problemstellung seitens des Unternehmensverbunds, die Potentiale zur Steigerung der Effizienz und somit Produktivität in der Produktion in geeigneter Form zu erschließen. Ein zur Verbesserung der Produktion in Fachliteratur und betrieblicher Praxis anerkannter und hier zugrundeliegender Ansatz ist das Wertstrommanagement (engl. *„Value Stream Mapping“* (VSM)). VSM ist ursprünglich eine Verfahrensweise des Toyota Produktionssystems bzw. der Lean Production und setzt die darin enthaltenen Prinzipien in geeigneter Weise um (vgl. Womack and Jones, 2003). VSM reduziert Verschwendung in allen Tätigkeiten eines Wertstroms und gleicht

¹ Die erste Zielsetzung – die Integration von Nachhaltigkeitsparametern in das Wertstrommanagement – ist Gegenstand der Dissertation von Thomas Edtmayr. Aufgrund der unterschiedlichen, aber doch zusammenhängenden Inhalte wird im Rahmen dieser Dissertation die erste Zielsetzung als abgearbeitet und somit gegeben angenommen.

Kapazitäten der Prozesse entlang eines Wertstroms ab, um entsprechend dem Kundentakt „verschwendungsfrei“ zu produzieren. Außerdem wird abgestrebt, Bestände zwischen den einzelnen Prozessen zu reduzieren, um die Durchlaufzeit und in weiterer Folge die Kapitalbindungskosten zu senken. Dies ermöglicht in Summe eine effizientere Produktion sowie eine höhere, interne Reaktionsfähigkeit bei kurzfristig geänderten Kundenwünschen. Ferner wird im VSM der Informationsfluss betrachtet und verbessert, was meist in organisatorischen Änderungen bzgl. Steuerung der Elemente (vor allem Prozesse) im Wertstrom resultiert. Zur Ermöglichung der Reduktion der Durchlaufzeit sei beispielsweise eine dezentrale PULL-Steuerung der einzelnen Prozesse genannt, um das Lean-Prinzip „Fluss“ schrittweise realisieren zu können.

Im Speziellen beschäftigt sich diese Arbeit mit dem Sichtbarmachen und der Erschließung von Verbesserungspotentialen mittels IT-gestütztem VSM. Hierfür wird auf ein IT-gestütztes Analyse-Tool (kurz: VSM Tool) als Ausgangssituation zurückgegriffen, das im Zuge der ersten Zielsetzung des Forschungsprojekts hinsichtlich ökologischer Nachhaltigkeit (engl. „Sustainability“) erweitert wurde. Mit dem VSM Tool lassen sich – nach den speziellen Anforderungen seitens des Unternehmensverbands – Wertströme und deshalb Produktionslinien standardisiert analysieren und bewerten. Die Input-Parameter und daraus berechneten VSM-Kennzahlen entsprechen dabei den gängigen Prinzipien und Vorgehensweisen der Bewertung von Wertströmen aus der Literatur. Das VSM Tool ist somit ein effektives Werkzeug bzw. ein effektives Modell, das bei der standardisierten Wertstrom-Analyse eingesetzt werden kann. Der Unternehmensverband hat damit die Basis geschaffen, dezentral organisiert Verbesserungspotentiale zu erschließen, um seine Wertströme nach ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten zu verbessern. Das VSM Tool ermöglicht dem Anwender (hier: Wertstromplaner) eine standardisierte Erfassung und Bewertung von Wertströmen. Um damit Verbesserungspotentiale ableiten zu können und diese anschließend mittels geeigneter („Design-“) Maßnahmen zu erschließen, ist Expertenwissen (engl. „Know-how“) erforderlich, das meist implizit in den Köpfen der Wertstromplaner vorhanden und sehr stark erfahrungsbasiert ist (vgl. Kapitel 3 und 5). Das Design-Wissen hinsichtlich Produktivitätssteigerungen an einem Wertstrom ist somit nicht reproduzierbar.

Die – im täglichen, realen Betrieb – erzielten Produktivitätssteigerungen verbleiben an einem (Stand-) Ort bzw. erhöhen das implizite Design-Wissen der Wertstromplaner und können nicht ad hoc auf andere Wertströme im Unternehmensverbund übertragen werden. Aufgrund der Größe, der Organisationsform des Unternehmensverbunds und der Vielzahl an Wertströmen ist es deshalb praktisch nicht möglich, das erworbene Design-Know-how sowie die erworbene Expertise an sämtlichen Wertströmen bestmöglich anzuwenden und zu erweitern. Dem Unternehmensverbund fehlen somit – zentral gesteuerte – Möglichkeiten, Vorgehensweisen, und Ansätze (z.B. in einem IT Artefakt abgebildet), um das gesamte, realisierbare Verbesserungspotential, welches schwer identifizierbar ist, zu erschließen. Im Rahmen des Wissensmanagements in der digitalen Fabrikplanung gilt es, das „*Planungswissen unabhängig vom Betreiber zu machen*“ (VDI, 2011a, sec. Blatt 2, p. 22). Es gilt auch, das Design-Wissen reproduzierbar und für menschliche Experten bei der Anwendung in einer ähnlichen Problemstellung vergleichbar zu machen (vgl. Hevner et al., 2004). Mithilfe des VSM Tools soll nun eine – für den Unternehmenverbund maßgeschneiderte – Methode bzw. Vorgehensweise erschaffen werden, welche IT-gestützt die Parametrisierung des nächsten

Zielzustands eines Wertstroms ermöglicht, um die genannten Verbesserungspotentiale für Produktivitätssteigerungen im gesamten Unternehmensverbund schrittweise zu erschließen. Die zu entwickelnde Methode bzw. Vorgehensweise soll dabei dem Wertstromplaner Anregungen und Hilfestellungen zur Entscheidungsfindung liefern. Als Beispiele seien hier Best Practice-Transfers einer lokalen Problemlösung als auch strategische Vorgabewerte – z.B. für Bestandsreichweiten – genannt. Schwer identifizierbare bzw. nicht offensichtliche Potentiale im Wertstromdesign, die über das individuelle und implizite Wissen eines (lokalen) Wertstromplaners hinausgehen, sollen somit sichtbar und quantifizierbar gemacht werden. Das dafür erforderliche Planungswissen (Design-Ansätze) ist hierfür in das zu erschaffende Vorgehensmodell (hier: Methode im IT Artefakt) zu integrieren und den darin enthaltenen Schritten bzw. Aktivitäten zuzuordnen. Die Zielsetzung der Dissertation ist somit die Steigerung von Effektivität und Effizienz im VSM unter Anwendung eines in ein Informationssystem eingebettetes IT Artefakts (vgl. Hevner et al., 2004).

1.2 Problemstellung, Forschungsbedarf und Relevanz

Aus der Ausgangssituation sowie der definierten Zielsetzung lässt sich die folgende Problemstellung (PST) definieren:

PST: *„Es existieren keine Konstrukte, Prozesse, Methoden, Modelle und Verfahrensweisen, die IT-gestütztes VSM systematisch und zielorientiert beschreiben und dabei sämtliche bekannte Design-Ansätze berücksichtigen, um diese – in einem IT Artefakt als Instanziierung umgesetzt – zur effektiven und effizienten Parametrisierung des nächsten Zielzustands eines Wertstroms nutzbar zu machen.“*

Als „effektive und effiziente Parametrisierung des nächsten Zielzustands eines Wertstroms“ wird hierbei das schnellere Anstreben bzw. Erreichen des Idealzustands in einer Produktion (vgl. Kapitel 2.6) gegenüber dem traditionellen VSM verstanden. Aufgrund der Problemstellung wird im VSM die Design-Phase hinsichtlich „*Potentiale erkennen*“ und „*Maßnahmen für den Zielzustand definieren*“, nicht aber die traditionelle Analyse-Phase bezogen auf „*Wertstrom aufnehmen*“ und „*Kennzahlen berechnen*“ verstanden. Es wird auch festgehalten, dass die Phase der Umsetzung der zu tätigen Maßnahmen nicht adressiert wird.

Nach HEVNER et al. stellt die Produktivitätssteigerung von industriellen Wertströmen eine definierte Unternehmenanforderung (vgl. Hevner et al., 2004) dar, um die langfristige Rentabilität des betrachteten Unternehmensverbunds zu sichern. Verbesserungen in Produktionssystemen, in Arbeitssystemen oder an Wertströmen sind abhängig von der Kompetenz der handelnden Personen – Methodenkompetenz, Systemkompetenz, Problemlösungskompetenz. Diese Kompetenz ist entweder explizit in der Fachliteratur zu finden oder in den relevanten Personen implizit verankert (vgl. Richter and Deuse, 2011; Kuhlmann, 2013). Erhältliche Standardsoftware (IT-Tools) unterstützt den Wertstromplaner lediglich bei der Visualisierung von Zielzuständen eines Wertstroms bzw. bei den Kennzahl-Berechnungen. Verbesserungspotentiale werden in keinem der bisher entwickelten Ansätzen, Modellen, Methoden, Tools etc. von selbst dem Wertstromplaner aufgezeigt. Damit lässt sich folgender Forschungsbedarf (FB) ableiten:

FB1: „*Welche Aspekte und welche Ausprägungen muss ein IT Artefakt für das IT-gestützte VSM besitzen, um ein systematisches, zielorientiertes Parametrisieren des nächsten Zielzustands eines Wertstroms zu realisieren?*“

Um den Forschungsbedarf FB1 beantworten zu können, sind Vorarbeiten zu tätigen, die sich im FB2 wiederfinden:

FB2: „*Welche Konstrukte, Prozesse, Methoden, Modelle und Verfahrensweisen für das IT-gestützte Parametrisieren des nächsten Zielzustands eines Wertstroms sind erforderlich und wie sind diese zu gestalten, um in einem IT Artefakt implementiert werden zu können?*“

Für diese Arbeit wird die Annahme getroffen, dass durch Anwendung des IT Artefakts ein qualitativ sowie quantitativ besserer Zielzustand für einen Wertstrom parametrisiert und definiert werden kann als im dezentral organisierten, lokalen und vom individuellen Expertenwissen eines beliebigen Wertstromplaners abhängigen VSM. Unter dieser Annahme sind vor allem die Identifizierung von verdeckten, nicht offensichtlichen Potentialen sowie deren Erschließung zu verstehen. Dabei wird das potentielle Risiko, VSM in der Praxis als „Kochbuchrezept“ – ohne die dafür erforderlichen System- und Methodenkompetenz zu besitzen – anzuwenden, adressiert. Dieses Risiko haben bereits LIKER und MEIER vor zehn Jahren festgehalten (vgl. Liker and Meier, 2006) und sie ist noch immer von hoher Bedeutung (vgl. Forno et al., 2014).

Für die Bearbeitung des Forschungsbedarfs ist jedoch kein einheitlicher bzw. anerkannter Standard an Kennzahlen für die Performance-basierte Verbesserung von Produktionssystemen gegeben (vgl. Muthiah and Huang, 2006). Diesen Aspekt gilt es zu Beginn des Forschungsvorhabens zu adressieren. In der Literatur dominieren OEE-basierte Ansätze zur Bewertung der Lean-Performance (vgl. Gupta and Vardhan, 2016) und der Supply Chain-Performance (vgl. Kaluza and Winkler, 2005), Zusammenhänge zu Nachhaltigkeits- und Kosten-Aspekten wurden jedoch nur bedingt behandelt (vgl. Ruiz- de- Arbuló- Lopez et al., 2013). Im Rahmen dieser Arbeit werden deshalb die dafür erforderlichen Elemente erarbeitet und erschaffen, um eine systematische, IT-gestützte Parametrisierung des nächsten Zielzustands eines Wertstroms für den dezentral organisierten Unternehmensverbund zu ermöglichen und somit den Forschungsbedarf in geeigneter Form zu beantworten.

MUTHIAH und HUANG haben in einer Aufbereitung der Fachliteratur festgestellt, dass es eine Vielzahl von Design-Ansätzen in der Produktion gibt, diese jedoch nicht unmittelbar mit Vorhersagen zur Steigerung von Effektivität und Effizienz in Produktionen, gemessen in Form von Kennzahlen, verbunden sind. Die hier dargelegten Ansätze beziehen zwar Algorithmen und mathematische Modelle mit ein, sind aber teilweise noch weit entfernt von der praktischen Tauglichkeit. Abschließend wird festgehalten, dass ein mathematisches Modell auf Produktionsebene zur kontinuierlichen Messung der Leistungsfähigkeit erforderlich ist, welches Abhängigkeiten zwischen den Prozessen zur Leistungserstellung in ausreichendem Maße berücksichtigt. Solch ein Modell würde eine automatisierte Diagnose und Vorhersage der Leistungsfähigkeit von Produktionssystemen ermöglichen (vgl. Muthiah and Huang, 2006). SERRANO et al. fordern Forschungsleistungen zur Weiterentwicklung von Design-Techniken im VSM hinsichtlich Produktionsplanung und -steuerung. Genannte Forderungen sind

beispielsweise Ansätze zur Analyse von Kapazitätsangebot und Kapazitätsbedarf, abhängig vom Kundenverhalten, um daraus abgeleitet einerseits den Materialfluss und die Steuerungsart definieren zu können (z.B. One-piece-flow- und FIFO-Linien oder Kanban-Supermärkte) und andererseits Bottlenecks und/oder Schrittmacherprozesse zu identifizieren und zu bestimmen. Die Möglichkeit der Abbildung als IT Artefakt wird nur am Rande als Analyse- und Reporting-Tool erwähnt (vgl. Serrano et al., 2008). Die Möglichkeit zur Produktivitätssteigerung und somit zur direkten Kostenreduktion mittels VSM wird in der Fachliteratur häufig genannt sowie deren Wichtigkeit dargestellt. Es wird dabei oftmals gefordert, mit VSM-Aktivitäten (hier: Design-Ansätze) direkt Potentiale für zukünftige Kostensenkungen erschließen zu können (vgl. Ruiz- de- Arbulo- Lopez et al., 2013; Karim and Arif- Uz- Zaman, 2013). Im Rahmen dieser Arbeit wird deshalb auch dieser Aspekt adressiert, um einen Beitrag zur Fachliteratur zu leisten.

Darüber hinaus haben AGYAPONG-KODUA et al. auf die Einschränkungen der traditionellen VSM-Vorgehensweise hingewiesen, die in der Fachliteratur weitgehend bekannt sind, beispielsweise erforderliche Nebenrechnungen mit Bleistift und Papier, die Einschränkung bei der Behandlung von alternativen Zielzuständen, die eingeschränkte statische Analyse sowie Mehrprodukt-Netzwerkflüsse bei geteilten Ressourcen. Darauf aufbauend wurde ein Ansatz zur integrierten Vorhersage von Kosten und Leistungsfähigkeit unter Berücksichtigung des dynamischen Verhaltens eines Wertstroms vorgestellt, der Hinweise und Anregungen für diese Dissertation bietet (vgl. Agyapong-Kodua et al., 2012). Die neueste Aufbereitung der Fachliteratur von VSM-Forschungsaktivitäten von FORNO et al. weist auf die zukünftigen Möglichkeiten des Einsatzes von „Technologie“ bei der Datenbeschaffung, -analyse und -auswertung wie bspw. deren Verfügbarkeit in Echtzeit hin, was zu besseren Entscheidungen führen kann. Vor allem auf die Vergleichbarkeit von Produktionen und somit Wertströmen innerhalb eines Unternehmensnetzwerks wird explizit hingewiesen (vgl. Forno et al., 2014). RÖSSLER et al. weisen für die Analyse-Phase bspw. auf den Einsatz von Manufacturing Execution-Systeme (kurz: MES) hin, wobei explizit festgehalten wird, dass Design-Ansätze dadurch nicht unterstützt werden und somit vom Expertenwissen des Wertstromplaners abhängig sind (vgl. Roessler et al., 2015).

Nach SCHUH ist der *„digitale Schatten“* die *„wichtigste Pflicht, um den Schritt zu Industrie 4.0 zu schaffen“*, da so eine echtzeitfähige Auswertungsbasis für Produktivitätssteigerungen geschaffen werden kann. Es gilt, mit den *„Instrumenten von Lean noch wirksamer umgehen zu können“*. Dies soll ermöglicht werden können, indem *„eine erste Mustererkennung“* der generierbaren Daten durchführt wird. *„Dann könne man daraus prognostizieren, was im Betrieb in den nächsten Stunden und Tagen passiert. Dass man am Schluss noch Lösungsalgorithmen hinterlegen kann, um die Produktion anzupassen, sei die Krönung. Diese würden in das Regel- und Methodenwerk von Lean einfließen. Das ist der fulminante Nutzen von Industrie 4.0 auf der Basis des Gedankenguts von Lean“* (Schuh, 2016)².

² Vortrag und Interview beim Kongress „Fabrik des Jahres 2015“ in Ulm (29.02.-02.03.2016);
URL: <http://www.produktion.de/nachrichten/unternehmen-maerkte/den-digitalen-schatten-nutzen-218.html>
URL: <http://www.produktion.de/nachrichten/unternehmen-maerkte/wie-man-mit-dem-digitalen-schatten-die-produktion-vorhersehen-kann-117.html> (01.06.2016)
URL: <http://www.produktion.de/veranstaltungen/fabrik-des-jahres/videos/prof-schuh-digitaler-schatten-steigert-die-produktivitaet-127.html> (01.06.2016)

Diese Aussagen bestätigt eine FASresearch-Studie zum Thema „*Österreich und Industrie 4.0*“. Darin werden zukünftige Themenfelder wie „*Green Industrie 4.0*“, „*Vernetzung und Digitalisierung entlang der Wertschöpfungskette*“, „*physische Systeme lassen sich digital abbilden und virtuell simulieren*“, „*Big Data Analytics*“ und „*Machine Learning*“ genannt (vgl. Katzmaier, 2016). Aufgrund der Vielzahl an verfügbaren Design-Ansätzen in der Praxis sehen sich Unternehmen mit einer hohen Komplexität zur Problemlösung konfrontiert (vgl. Karim and Arif- Uz- Zaman, 2013), wobei das zu erschaffende Vorgehensmodell hier einen Beitrag leisten soll.

Für die Praxis im Allgemeinen und den betrachteten Unternehmensverbund im Speziellen begründet sich die Relevanz dadurch, dass an unterschiedlichen Standorten unterschiedliche Wertstromplaner ungleiches Analyse- und vor allem Design-Know-how sowie Expertenwissen bzgl. Lean-Praktiken und Verbesserungsansätze besitzen, sodass verborgenes, schwer identifizierbares Potential zur Produktivitätssteigerung womöglich unerkannt bleibt und somit nicht erschlossen werden kann. Dabei werden jedoch stets ähnliche Problemstellungen und Handlungsalternativen in der praktischen Verbesserungsarbeit behandelt und Maßnahmen abgeleitet; bspw. (a) „*wie müssen Bestände in einer spezifischen Lagerstufe ausgelegt werden, um Wiederbeschaffungszeiten abdecken und interne sowie externe Nachfrage bedienen zu können?*“; (b) „*sind die lokal angenommenen, niedrigen Ausschussraten bei Prozesstechnologien im Unternehmensverbund vergleichsweise zu hoch?*“; (c) „*welche Ausschussraten sind für bestimmte Prozesstechnologien realistisch bzw. durch Verbesserungsmaßnahmen anzustreben?*“.

Bei der Beantwortung dieser Fragestellungen durch IT-Support wird deshalb eine Steigerung von Effektivität und Effizienz erwartet, die nach aktuellem Stand seitens des Unternehmensverbunds nicht quantifizierbar ist. Beispielsweise werden aktuell dezentral Verbesserungsmaßnahmen getätigt, wobei jedoch nicht bewertbar ist, ob diese die größten, vorhandenen Potentiale in ausreichendem Maße erschließen. Die Best Practice in sämtlichen Wertströmen des Unternehmensverbunds ist im Detail nicht bekannt. Durch den angestrebten IT-Support sollen zukünftig Best Practice-Transfers von Problemlösungen hinsichtlich Technologie und Maßnahmen ermöglicht werden. Elementare Grundlage hierfür sind Daten aus der Produktion, um daraus VSM-Planungswissen abzuleiten und neue Design-Ansätze zu generieren. Dies gilt sowohl für ökonomische als auch für ökologische Verbesserungspotentiale, die in ihrer Gesamtheit in Produktivitätssteigerungen auf operativer Ebene – also in Wertströmen – resultieren.

Für den betrachteten Unternehmensverbund und die Charakteristiken der hier vorhandenen Wertströme werden nachfolgend die erforderlichen Elemente des IT Artefakts erarbeitet und erschaffen, die auf den aktuellen Möglichkeiten und Ansätzen des IT-gestützten Designs von Produktionssystemen im Allgemeinen und Wertströmen im Besonderen fundieren. Dabei soll jedoch darauf geachtet werden, dass das Vorgehensmodell auch allgemeingültig und ohne Umsetzung in ein IT Artefakt praktikabel ist. Deshalb wird im State of the Art (vgl. Kapitel 3) dargelegt, warum der gewählte Ansatz für das Vorgehensmodell fundiert und richtig ist.

1.3 Forschungsmethodik und Aufbau der Arbeit

Dieser Abschnitt befasst sich mit der gewählten Forschungsmethodik. Es wird dargelegt, welche Methode verwendet wurde und wie diese die Zielsetzung der Dissertation adressieren. Betriebliche Informationssysteme werden zum Zweck der Steigerung von Effektivität und Effizienz von Organisationen eingeführt. Die Informationssystemforschung (engl. „Information Systems Research“) bedient sich dabei den Paradigmen aus der Verhaltenswissenschaft (engl. Behavioural Science) und der Design Science. Das Paradigma der Behavioral Science beschäftigt sich mit der Entwicklung und Bestätigung von Theorien, um organisatorische und menschliche Phänomene bzgl. Analyse, Design, Implementierung, Management und Verwendung von Informationssystemen vorhersagen bzw. erklären zu können. Diese Theorien beeinflussen Entscheidungen im Zuge der Entwicklung von Informationssystemen hinsichtlich funktionaler Leistungsfähigkeit, Informationsgehalt und Schnittstellen (z.B. grafische Benutzeroberfläche) ³. Das Paradigma der Design Science in der Informationssystemforschung stammt aus den Ingenieurwissenschaften und befasst sich mit dem Schaffen und der Evaluierung eines IT Artefakts im Zusammenhang mit Unternehmen und Organisationen, um ein spezifisches Problem zu lösen (vgl. Hevner et al., 2004; Hevner and Chatterjee, 2010).

Im Rahmen der Design Science sind sowohl Nützlichkeit als auch Effektivität von IT Artefakten bei der Problemlösung als übergeordnete Zielsetzungen zu verstehen. IT-gestützte und mathematische Methoden werden dabei für die Evaluierung von Qualität und Effektivität eingesetzt. Es gilt, sowohl wichtige, ungelöste Problemstellungen in einzigartiger oder innovativer Weise zu lösen, als auch bereits gelöste Problemstellungen mit höherer Effektivität oder Effizienz zu bearbeiten. Produktionssysteme im Allgemeinen und Wertströme im Besonderen sind nicht natürlich vorkommend und somit künstlich erschaffen. Das Planen und Gestalten von produktiven, industriellen Wertströmen (Anm.: „Value Stream Mapping“ als Verfahrensweise) ist ein Teilgebiet des Industrial Engineering und bedient sich u.a. der Grundlagen und Kenntnisse der Ingenieurwissenschaften, Betriebswissenschaften und Arbeitswissenschaften (vgl. Kurlang, 2013, p. 23). Daraus lässt sich ableiten, dass gestalterische (engl. „Design“) Ansätze aus den Ingenieurwissenschaften zulässig sind, um die beschriebene Zielsetzung im Rahmen dieser Dissertation zu erreichen. Als Beispiele der gestalterischen Ansätze oder Entwurfsmethoden der Ingenieurwissenschaften (vgl. Gockel, 2010, p. 25f) seien hier VSM- bzw. Bottom-up-Vorgehensweisen (vgl. Kapitel 3.1), aber auch chronologische (d.h. mit Laborbuch-Charakter) und aus Anwendersicht systematische (d.h. mit Handbuch-Charakter) Dokumentationen genannt. In der Praxis tritt dabei meist eine Mischform der genannten Dokumentationsarten auf, um die erarbeiteten Erkenntnisse auch in die Praxis umsetzen zu können (vgl. Gockel, 2010, p. 27). Aufgrund der dargelegten Forschungsfrage eignet sich somit für diese Arbeit die Design Science der Informationswissenschaften mit speziellem Fokus auf die Erstellung eines IT Artefakts zur effektiveren und effizienteren Problemlösung bei der Verbesserung von Wertströmen, wobei die IT-gestützte Parametrisierung des nächsten Zielzustands eines Wertstroms selbst eine innovative Problemlösung darstellt.

³ Aspekte der Verhaltenswissenschaft werden in Kapitel 5.3 kurz adressiert aber sonst nicht berücksichtigt.

Mehrere Autoren haben in der Vergangenheit vorhandene Problemstellungen in den Informationswissenschaften systematisch erarbeitet und/oder gesetzte Ziele erreicht. Es wurde vielfach auf das Fehlen einer dafür erforderlichen, zugrundeliegenden Forschungsmethodik hingewiesen (vgl. Eekels and Roozenburg, 1991; Reich, 1995), die in der wissenschaftlichen Gemeinschaft der zutreffenden (Teil-)Disziplin fundiert bzw. verankert ist. Trotzdem wurden jeweils ähnliche Vorgehensweisen und Dokumentationsarten gewählt, die schließlich von PEFFERS et al. strukturiert aufbereitet und als „Design Science Research Methodology“ (kurz: DSRM⁴ oder DSRP („Design Science Research Process“)) veröffentlicht wurden (vgl. Peffers et al., 2007).

Die DSRM liefert für Forschungsarbeiten – in den Themengebieten der Ingenieurwissenschaften kombiniert mit Modellen und Vorgehensweisen der Informationswissenschaften – ein Rahmenwerk zur Erarbeitung und Strukturierung der Forschungsergebnisse. Dieses Rahmenwerk ist zugleich ein Gedankenmodell, um die vorliegende Arbeit für Dritte nachvollziehbar aufbereiten und nach einem bekannten Standard dokumentieren zu können, worauf in der Arbeit von PEFFERS et al. explizit hingewiesen wird (vgl. Peffers et al., 2007). So wurde als DSRM ein Nominalprozess mit Elementen und Übergängen definiert, welcher die anerkannten Praktiken, Prinzipien und Vorgehensweisen (vgl. Hevner et al., 2004) der beiden Disziplinen Ingenieurwissenschaft und Informationswissenschaft miteinander verbindet und zur allgemeinen Verwendung aufbereitet. Bei der Erschaffung eines IT Artefakts gibt es nach der DSRM von PEFFERS et al. demnach vier mögliche Einstiegspunkte, wobei sich für das vorliegende Forschungsvorhaben („effektivere und effizientere Problemlösung“) der zielorientierte Lösungsansatz (engl. „Objective-centered solution“) ergibt. Es wird empfohlen, sich – beginnend mit dem Einstiegspunkt – „schrittweise nach außen zu arbeiten“ (d.h. links und rechts), wobei die gewählte Reihenfolge der Erarbeitung der Elemente und Übergänge nicht von Bedeutung ist. Der Nominalprozess der DSRM besteht aus einer sequenziellen Abfolge von Elementen und Übergängen (siehe Abbildung 1).

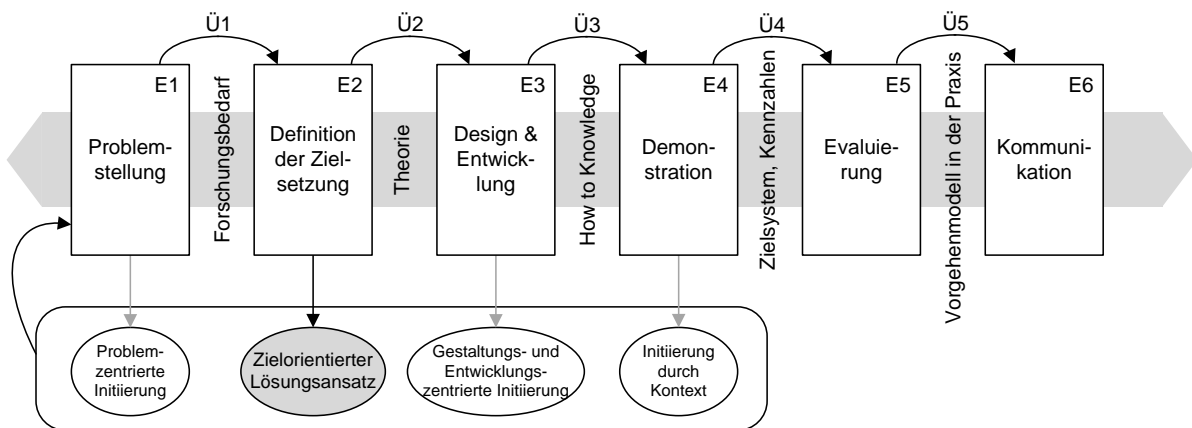


Abbildung 1: An die Arbeit angepasster Nominalprozess der DSRM (vgl. Peffers et al., 2007)

⁴ Die DSRM wurde unter folgenden Aspekten entwickelt: (1) Konsistenz mit bekannter Literatur sicherstellen; (2) Zurverfügungstellung eines Nominalprozesses für die Design Science; (3) Zurverfügungstellung eines Gedankenmodells für die Aufbereitung und Würdigung der Design Science Forschung in den Informationswissenschaften.

Wie oben erklärt, ist der Einstiegspunkt die Beschreibung des Ziels („zielorientierter Lösungsansatz“ bzw. engl. „objective-centered solution“ (E2)), das im Rahmen dieser Dissertation erreicht werden soll (siehe Kapitel 1.1). Dem liegt eine praktische Problemstellung (E1) mit wissenschaftlicher und praktischer Relevanz zugrunde, die in Kapitel 1.2 umfassend dargestellt und in einen Forschungsbedarf (Ü1) überführt wird. Anschließend werden erforderliche theoretische Grundlagen (Ü2a) erörtert und der Untersuchungsbereich abgegrenzt (Kapitel 2). Im definierten Untersuchungsbereich werden in Kapitel 3 dann State of the Art-Vorgehensweisen und -Lösungsansätze (Ü2b) vorgestellt, welche wissenschaftlich anerkannt sind und praktisch erfolgreich eingesetzt werden.

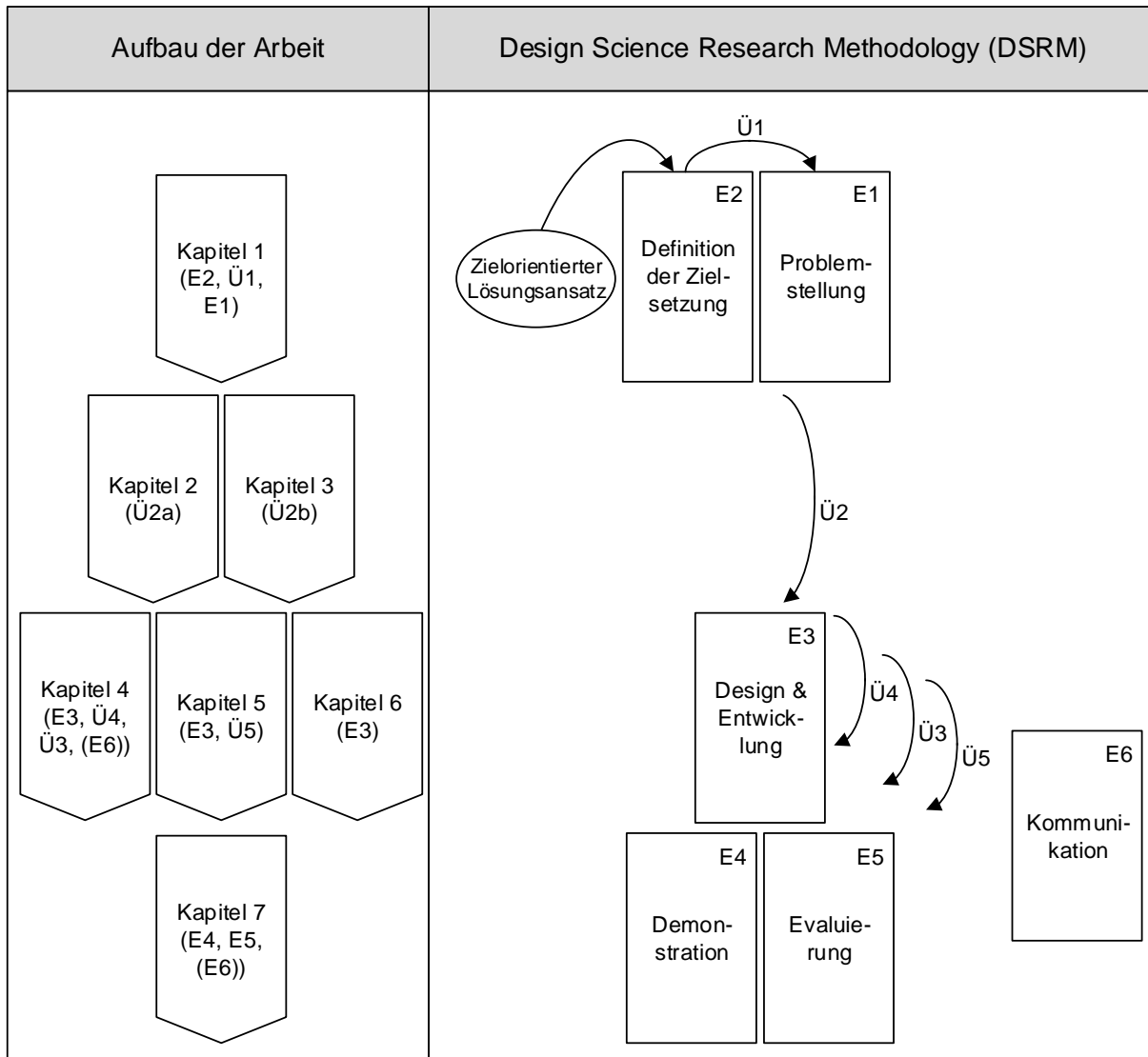


Abbildung 2: Aufbau der Arbeit aus der DSRM abgeleitet

In den Kapiteln 4 bis 6 wird Design und Entwicklung (E3) betrieben, um das IT Artefakt als Instanziierung mit den erforderlichen Konstrukten, Prozessen, Methoden, Modellen und Verfahrensweisen erschaffen zu können. In Kapitel 4.2 wird das übergeordnete Zielsystem mit den Zielgrößen (Ü4) beschrieben, bevor in Kapitel 4.3 das entwickelte Vorgehensmodell beschrieben wird (Ü3). Die Implementierung des Vorgehensmodells im prototypischen IT Artefakt (Ü5) wird in Kapitel 5 beschrieben. Die darin enthaltenen Methoden, Prozesse und

Verfahrensweisen im Detail sind in Kapitel 6 beschrieben. Die Demonstration (E4) und Evaluierung (E5) der Forschungsergebnisse werden in Kapitel 7 behandelt, um die gewonnenen Erkenntnisse darzustellen. Dabei wird konkreter Bezug zur Weiterentwicklung von Theorie und Praxis im Value Stream Mapping als Teildisziplin des Industrial Engineering hergestellt. Für Wissenschaft und Praxis werden auch Ansätze erarbeitet, um die neuen Erkenntnisse nach außen zu transportieren und zu kommunizieren (E6a, E6b). Somit lassen sich die Forschungsmethodik und auch der Aufbau der Arbeit miteinander in Verbindung bringen und grafisch aufbereiten. Dabei werden die Kapitel und Unterkapitel mit den Elementen und Übergängen der DSRM gegenübergestellt⁵ (vgl. Abbildung 2).

Design Science Research fordert gründliche, wissenschaftlichen Standards entsprechende Herangehensweisen, Richtlinien und Regeln. HEVNER et al. haben deshalb die nachfolgenden sieben Richtlinien definiert, die beim Erschaffen eines IT Artefakts einzuhalten sind (vgl. Hevner et al., 2004). Diesen Anforderungen wird in der Arbeit Rechnung getragen (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Sieben Richtlinien der Design Science Research – Anforderung und Umsetzung

Richtlinie 1: Design als Artefakt	
Es wird gefordert, mittels Design Science Research ein realisierbares Artefakt in Form von Konstrukten, Modellen, Methoden und Instanziierungen zu schaffen.	Die geforderten Inhalte sind in den Kapiteln 4, 5 und 6 beschrieben und sind bspw. (a) das Gedankengebäude (Kapitel 4.1); (b) die Wissensbasis als Konstrukt; (c) das zugrundeliegende „VSM Tool“; (d) das Vorgehensmodell mit dem Zielsystem als Modell; (e) die Hintergrundanalysen etc. im „How-to-Knowledge“ als angewandte Methoden; (f) der Prototyp VSM Expert sowie (g) die dargestellte IT Architektur als Instanziierungen.
Richtlinie 2: Problemrelevanz	
Ziel ist die Entwicklung einer technologiebasierten Lösung von wichtigen und relevanten, betrieblichen Problemstellungen.	Die Problemrelevanz ist sowohl in der Fachliteratur als auch in der Praxis gegeben und in Kapitel 1.2 ausführlich dargelegt.
Richtlinie 3: Design-Evaluierung	
Nutzen, Qualität und Wirksamkeit des Artefakts müssen mittels sorgsam angewandeter Evaluierungsmethoden rigoros aufgezeigt werden.	Als Evaluierungsmethode wird das Experiment in der Ausprägung „Simulation des IT Artefakts mit künstlichen Daten ausführen“ gewählt und in Kapitel 7 dargestellt.
Richtlinie 4: Beitrag zur Wissenschaft	
Effektive Design Science Research muss klare und nachvollziehbare Beiträge in der Wissensdomäne (hier: VSM) wie bspw. Grundlagen und Vorgehensweisen liefern.	Die Beiträge im VSM beziehen sich auf die IT-gestützte Parametrisierung des nächsten Zielzustands eines Wertstroms im VSM (vgl. Richtlinie 1).

⁵ Zu beachten ist für den Leser / die Leserin, dass aufgrund der DSRM die statischen Analyse-Möglichkeiten des verwendeten VSM Tools in Kapitel 4 beschrieben werden, die Beschreibung des Tools selbst jedoch in Kapitel 5.1.1 zu finden ist.

Richtlinie 5: Genauigkeit	
Design Science Research bedient sich der Anwendung von genauen Methoden sowohl bei der Schaffung als auch bei der Evaluierung des erstellten Artefakts.	Dieser Forderung wird einerseits mittels verwendeter internationaler Literatur und andererseits mit der prototypischen Anwendung des IT Artefakts (vgl. Kapitel 5.2 und 7) entsprochen.
Richtlinie 6: Design als Suchprozess	
Die Suche nach einem effektiven Artefakt erfordert die Nutzung vorhandener Möglichkeiten, um den gewünschten Zustand unter Berücksichtigung der Gesetzmäßigkeiten der problemrelevanten Umgebung zu erreichen.	Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit sind im Zuge eines zweijährigen Forschungsprojekts entstanden, wobei die bekannten Ansätze und Verfahrensweisen (Kapitel 3) in die entstandenen Konstrukte, Modelle, Methoden und Instanzierungen sukzessive und iterativ integriert wurden. In den jeweiligen Kapiteln wird darauf explizit hingewiesen.
Richtlinie 7: Kommunikation der Forschungsergebnisse	
Die Forschungsergebnisse der Design Science Research müssen sowohl für technologie- als auch managementorientierte Zielgruppen effektiv aufbereitet werden.	In den Kapitel 1.4 und 8 werden den adressierten Zielgruppen die Forschungsergebnisse gesammelt aufgezeigt und in den jeweiligen Kapiteln detailliert beschrieben. Es wird ebenfalls explizit hierauf hingewiesen.

Bei der Erarbeitung der theoretischen Grundlagen und des State of the Art für die Kapitel 2 und 3 wurden Aspekte des Research Profiling berücksichtigt und angewendet (vgl. Porter et al., 2002). Hiermit wurde das Ziel verfolgt, für die vorliegende Problemstellung geeignete Literatur in ausreichendem Maße zu finden. Für die Überbegriffe (z.B. Value Stream Mapping, Information Science, etc.) wurden zuerst die Basiswerke der Literatur herangezogen. Darauf aufbauend – d.h. für spezielle Fragestellungen – wurden Fachliteratur-Datenbanken (bspw. Science Direct/Scopus, Emerald, Springerlink, Taylor and Francis, IEEE Xplore, uvm.) mittels unterschiedlicher Kombinationen der Suchbegriffe (d.h. unterschiedliche Keywords in Titel, Abstract und Volltext) durchsucht und nach qualitativer Relevanz strukturiert und aufbereitet. Die relevanten Beiträge wurden auf relevante Sekundärquellen durchsucht. Die damit gefundene Literatur bildete das Fundament für den State of the Art (d.h. Vorgehensweisen und Ansätze) im VSM, wobei ein zusätzlicher Rechenschritt aus der Bibliometrie (engl. „Scientometrics“) durchgeführt wurde, um sämtliche relevante Arbeiten verfügbar zu haben. Das Vorgehen war wie folgt und hat mehrere Iterationszyklen umfasst (vgl. Tabelle 2):

Tabelle 2: Gewählte Vorgehensweise bei der Literaturrecherche

1	Suche von Fachliteratur in Datenbanken mit Keywords: Value Stream Mapping + „...“
	<ul style="list-style-type: none"> • Use Case, Case Research, Use Case, Case Study • Lean, Lean Production, Lean Management • Productivity • Methodology, Practical Approach • Simulation • Optimization, Optimisation • Production Planning and Control

2	Literature Review-Ansatz „Research Profiling“ (vgl. Porter et al., 2002, p. 356ff) <ul style="list-style-type: none"> • Erarbeitung von Planungswissen im Wertstromdesign bezogen auf Ressourceneinsatz (Mensch, Maschine, Material, Energie, Information) • Erarbeitung der forschungsrelevanten Arbeiten (empirische und IT-gestützte Methoden und Ansätze) • zur Ableitung von Planungswissen aus der Fachliteratur
3	Recherche in den Literaturverzeichnissen der gefundenen Fachliteratur nach neuen, bis dahin noch unbekanntem Beiträgen
4	Klassifizierung der gefundenen Fachliteratur (>350) nach unterschiedlichen Schwerpunktsetzungen, wobei Titel, Abstract und Keywords als Kriterien gelten <ul style="list-style-type: none"> • Art des Beitrags: Research Paper, Methodology/Theory, Case Study • Ansatz: Lean (practical), Operations Research, Simulation, Sustainability
5	Recherche und Dokumentation von Universitäten, Lehrstühlen und Autoren der relevanten, vertiefenden Fachliteratur und auch Basisliteratur
6	Aufbereitung von Basisliteratur und vertiefenden Fachbeiträgen (z.B. Journalbeiträgen) für die Software „Sci2 Tool“ (= Freeware ⁶)
7	Erstellen von Grafiken für Autorennetzwerke und auch Verbindungen zwischen den publizierten Ansätzen je nach zuvor erstellter Kategorie mit dem „Sci2 Tool“ ⁷
8	Identifikation von bis dahin unbekannter Fachliteratur und Integration in das für diese Arbeit wissenschaftliche Fundament.
9	Erneuter Iterationszyklus der Recherche zur Vertiefung; beginnend mit Schritt 1.

Somit kann davon ausgegangen werden, dass der Großteil der relevanten Literatur gefunden und bekannt ist. Die gefundenen Ansätze und Vorgehensweisen wurden studiert, sodass diese Dissertation auf bekannter und anerkannter, internationaler Fachliteratur basiert. Die Ergebnisse davon sind in Kapitel 3 zu finden und sind Grundlage dafür, dass die Forschungsergebnisse einen Beitrag zur Wissenschaft erzielen und somit der Richtlinie 4 nach HEVNER et al. entsprechen (vgl. Hevner et al., 2004).

1.4 Adressaten und deren Nutzen der Arbeit

HEVNER et al. fordern darüber hinaus im Zuge der Design Science Research klar kommunizierte Nutzen sowohl für Wissenschaft als auch für Praxis (vgl. Hevner et al., 2004), weshalb an dieser Stelle explizit dazu Stellung genommen wird (vgl. Tabelle 3).

Tabelle 3: Adressaten und deren Nutzen der Arbeit

Adressaten	Erzielter Nutzen durch die Arbeit
Forschung	<ul style="list-style-type: none"> • Ausführliche Darstellung der Vorgehensweise der Anwendung von Design Science Research im Operations Management als Grundlage für zukünftige Forschungsarbeiten • Erweiterung der traditionellen „Paper&Pen“-Vorgehensweise im VSM

⁶ URL: <https://sci2.cns.iu.edu/user/index.php> (28.12.2015)

⁷ Auf eine Darstellung der Grafiken wird verzichtet, da diese für die vorliegenden Inhalte keinen Mehrwert darstellen und stets den Zwecken des Autors gedient haben.

	<ul style="list-style-type: none"> • Ausführliche Diskussion des „Gedankengebäudes“ der IT-gestützten Parametrisierung des nächsten Zielzustands eines Wertstroms im traditionellen VSM • Top-down strukturiertes Vorgehensmodell für Design-Ansätze im VSM • Bottom-up unterstützte VSM-Analyse(n) für Design-Ansätze • Zielsystem für das IT-gestützte VSM • Einordnung der Design-Ansätze im VSM • Diskussion und Abgrenzung der Begriffe Istzustand, Zielzustand und Idealzustand von Produktionssystemen im Vergleich zu Istzustand, Idealzustand und Sollzustand von Wertströmen • Aufzeigen von Forschungslücken (aus internationaler Fachliteratur abgeleitet), die es in den kommenden Jahren zu schließen gilt • Erläuterung der konkreten Einsatzmöglichkeiten sowie der aktuellen Unzulänglichkeiten des IT Artefakts, um eine Grundlage für zukünftige Forschungsarbeiten zu schaffen
Lehre	<ul style="list-style-type: none"> • Umfangreiche Aufarbeitung des State of the Art im Wertstrommanagement sowie von Ansätzen zur Produktivitätssteigerung in Produktionssystemen, sodass die erarbeiteten Grundlagen zur Strukturierung und Erstellung der Lehrinhalte herangezogen werden können • Berücksichtigung der Zusammenhänge von Design-Ansätzen mit Produktivitätssteigerungen und Kostenreduktionen (Die integrierte Funktion der Kostenbewertung im VSM Tool kann hierfür gute Anhaltspunkte liefern, was in der Fachliteratur auch gefordert wird.) • Vorgehensmodell und Zielsystem als Grundlage für Seminare und Übungen (Fallstudien und Gruppenarbeiten)
Praxis	<ul style="list-style-type: none"> • Erläuterung der erforderlichen Maßnahmen zur Instanziierung des vorgestellten IT Artefakts in einer IT Architektur • Praxisnahes Top-down strukturiertes Vorgehensmodell mit Einordnung der Design-Ansätze zur Produktivitätssteigerung von Wertströmen • Organisatorische Aspekte bei der Inbetriebnahme des IT Artefakts und die dafür erforderlichen Ressourcen werden hier explizit nicht behandelt und unterliegen den jeweiligen Rahmenbedingungen des Unternehmens; bspw. als Stabstelle „Operations“, „Business Excellence“ oder „Industrial Engineering“.

2 Grundlagen und Eingrenzung des Untersuchungsbereichs

In diesem Kapitel werden die für die vorliegende Dissertation relevanten theoretischen Grundlagen erarbeitet und anschließend wird der gültige Untersuchungsbereich abgegrenzt.

2.1 Wertschöpfung, Produktentstehungsprozess (PEP) und Product Life Cycle (PLC)

Unter Produktion versteht man die – meist industrielle – Herstellung von Gütern, sodass durch Einsatz von Ressourcen die Transformation von einem (materiellen und nicht-materiellen) Input in einen Output und somit eine Wertsteigerung (= Wertschöpfung) erfolgt (vgl. Sihn et al., 2016, p. 23). Zur Abgrenzung des Untersuchungsbereichs für diese Dissertation ist der Begriff Produktentstehungsprozess (PEP) zu erklären; er ist vor allem in der deutschsprachigen Literatur im Kontext von Industrial Engineering von hoher Bedeutung. Der PEP besteht aus den drei Phasen Produktentwicklung, Prozessentwicklung und Produktion, welche – ab/bis zu bestimmten Punkten – meist parallel (d.h. simultan) ablaufen. Somit liefert er eine spezielle Sichtweise auf den Wertschöpfungsprozess (vgl. Bokranz and Landau, 2012, p. 35). Die Methodenkompetenz über Wertstromdesign – und auch über andere Methoden und Werkzeuge (vgl. Kapitel 2.3) – setzt vor allem in der letzten Phase (Produktion) an, um einen Wertstroms kontinuierlich zu verbessern (vgl. Kuhlang, 2013, p. 24). Ebenso werden Elemente aus dem Wertstromdesign bei der Planung und Gestaltung von neuen Wertströmen (Phase: Prozessentwicklung, z.B. Produktionslinien) eingesetzt (vgl. Erlach, 2010, p. 146; Dombrowski and Mielke, 2015, p. 313). Der PEP und demzufolge auch der Wertstrom sind Objekt des Produktivitätsmanagements und Anknüpfungspunkt des Industrial Engineering (vgl. Landau, 2009; Stowasser, 2010, p. 15; Bokranz and Landau, 2012).

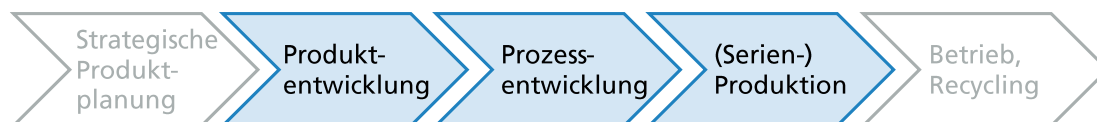


Abbildung 3: Schematischer Produktentstehungsprozess (PEP)

Der Begriff Produktlebenszyklus wird in dieser Arbeit in Anlehnung an die englischsprachige Literatur⁸ verwendet, in der dieser als „Product Life Cycle“ (PLC) geführt wird. Der PLC hat vor allem in Bezug zu Sustainability Management große Bedeutung aufgrund der vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten⁹ (vgl. Kleindorfer et al., 2009).

⁸ PLC umfasst Life Cycle Thinking (LCT) und Life Cycle Assessment (LCA) der EPLCA, online: URL: <http://eplca.jrc.ec.europa.eu/> (25.01.2016)

⁹ Beispiele für Anwendungsmöglichkeiten sind: Ökobilanz, CO₂-Footprint



Abbildung 4: Product Life Cycle (nach EPLCA)

2.2 Produktionssystem und Arbeitssystem

Wertschöpfung findet in einer oder mehreren räumlich abgetrennten Einheiten – d.h. (Sub-) Systemen – statt. Ein System ist eine „Menge von geordneten Elementen mit Eigenschaften, die durch Relationen verknüpft sind. Die Menge der Relationen zwischen den Elementen eines Systems ist seine Struktur. Unter Element versteht man einen Bestandteil eines Systems, der innerhalb dieser Gesamtheit nicht weiter zerlegt werden kann. (...)“¹⁰. Aus traditioneller Sicht ist ein Produktionssystem eine betriebliche Struktur bzw. Organisationsform, welche Wertschöpfung betreibt und dabei mit seiner Umgebung interagiert (vgl. Gram, 2013, p. 12). Elemente eines Produktionssystems sind bspw. Betriebsmittel, Transportmittel, Lagerstufen, Mitarbeiter und andere Ressourcen (z.B. Computer), die durch Relationen und Interaktionen miteinander verbunden sind (vgl. Gershwin, 2000; Westkämper and Zahn, 2009, p. 25).

Diese traditionelle Sichtweise wurde ab den 1990er Jahren um „Organisations- und Verfahrensprinzipien“ kontinuierlich erweitert, sodass man heutzutage ein Produktionssystem wie folgt definieren kann:

Ein modernes Produktionssystem biete „(...) strukturierte Sammlungen verbindlicher betrieblicher Standards und Regeln für die Entwicklung, das Betreiben und das Verbessern von Arbeitssystemen und Prozessen zur Erzeugung von Produkten und Dienstleistungen“ (Bokranz and Landau, 2012, p. 67), wobei den Autoren zufolge Unternehmen als lernende Organisationen verstanden werden sollen und unternehmensspezifische Produktionssysteme auf betriebliche Gegebenheiten abzustimmen sind.

Moderne Produktionssysteme werden deshalb als „Ganzheitliche Produktionssysteme“ (GPS) bezeichnet:

Nach WESTKÄMPER enthalten GPS neben den Elementen und Relationen „(...) auch Methoden und Werkzeuge, welche eine optimale Betriebsführung (...) sicherstellen. Große Unternehmen sind bereits dazu übergegangen, Produktionssysteme zu

¹⁰ Springer Gabler Verlag (Herausgeber), Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: System, online: URL: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/3210/system-v12.html> (24.05.2016)

standardisieren, um auf diese Weise zentrale Elemente der Strukturierung, der Organisation und der Technik einschließlich der Prozesse zu verankern“ (Westkämper and Zahn, 2009, p. 26). Es soll vor allem in Hochlohnländern ein Beitrag zur Wettbewerbsfähigkeit geliefert werden, indem Produktherstellungsprozesse standardisiert werden um ein einheitliches Qualitätsniveau zu erreichen.

Elemente eines Produktionssystems können als Leistungseinheiten bezeichnet werden (vgl. Westkämper and Zahn, 2009, p. 25). Eine Leistungseinheit bzw. ein Element, das nicht weiter zerlegbar ist, wird als Arbeitssystem bezeichnet. Mit dem Arbeitssystem-Modell werden Arbeitshandlungen erklärt und beschrieben, wobei man sich auf das Wesentliche beschränkt und deshalb nur eine gefilterte Teilmenge der Realität abbildet (vgl. Bokranz and Landau, 2012, p. 18f). Die Determinanten eines Arbeitssystems sind Aufgabe, Eingabe (Input), Mensch, Betriebsmittel, Ablauf, Ausgabe (Output) und Umwelt (DIN EN ISO 6385:2004-05).

Vom Arbeitssystem abgeleitet kann man die Begriffe „Prozess“ und „Ablauf“ definieren. Ein Prozess hat die Bestimmungsgrößen Eingabe (Input), Mensch, Betriebsmittel, Ablauf und Ausgabe (Output) und beschreibt den zeitlichen und räumlichen Verlauf des Zusammenwirkens der Ressourcen Mensch und Betriebsmittel, um Input in Output zu transformieren. Der Begriff Ablauf dagegen steht für die zeitliche Abfolge von Geschehnissen im Prozess und kann bei aktuellen und zukünftigen Zuständen auch als Prozessmuster bezeichnet werden (vgl. Bokranz and Landau, 2012, p. 20f; Rother, 2013, p. 86; Hempfen, 2014, p. 62).

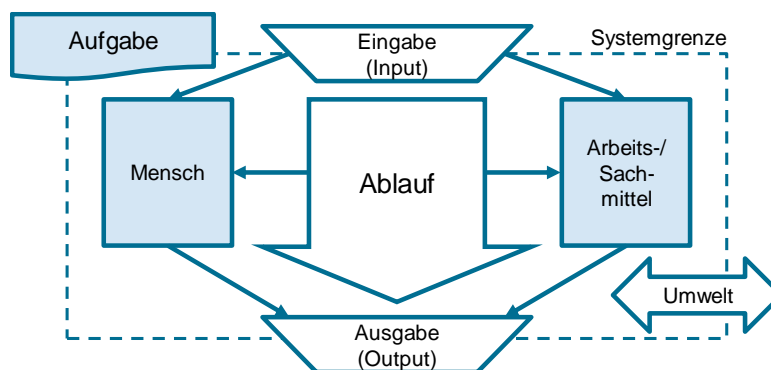


Abbildung 5: Zusammenhänge zwischen Arbeitssystem, Prozess und Ablauf (vgl. Bokranz and Landau, 2012)

2.3 Wertstrom und Wertstrommanagement

Ein Wertstrom umfasst alle wertschöpfenden und nicht wertschöpfenden (d.h. unterstützenden) Aktivitäten, die notwendig sind, um ein Produkt (oder eine Dienstleistung) zu erzeugen und dem Kunden zur Verfügung zu stellen. Dazu gehören die operativen Prozesse, der interne Materialfluss zwischen den Prozessen, der externe Materialfluss von den Lieferanten und zum Kunden sowie deren Ansteuerung über den Informationsfluss (vgl. Rother et al., 2011). Wertströme repräsentieren also eine Aneinanderreihung von (wertschöpfenden) Prozessen (= Wertschöpfungsketten) bzw. Elementen (vgl. Kapitel 5.1.1), um einen Nutzen für den Kunden zu generieren (vgl. Bokranz and Landau, 2012, p. 33). Ziele des Wertstrommanagements sind deshalb die Minimierung der Durchlaufzeit und die Eliminierung

von Verschwendungen. Es geht darum, zu erkennen, welche Zeitanteile der Tätigkeiten im Wertstrom Wertschöpfung, welche Unterstützung und welche Verschwendung bedeuten. Das Verhältnis ist in Richtung 100% Wertschöpfung zu optimieren (vgl. Ōno, 1988; Rother, 2013). Wertstrommanagement unterstützt die übergeordnete Prozesssicht auf einzelne Sub-Systeme wie bspw. Anlagen, indem das Zusammenwirken von Materialfluss und Informationsfluss als Ganzes betrachtet wird. Diesem und ähnlichen Ansätzen wird hohes Potential bei der automatisierten Diagnose und somit Bewertung der Produktivität von Produktionssystemen zugemessen (vgl. Muthiah and Huang, 2006).

Das traditionelle Wertstrommanagement (auch „Wertstromdesign“ genannt) umfasst die drei Phasen „Analyse“, „Design“ und „Umsetzung“ (vgl. Klevers, 2007). In Phase 1 werden – ausgehend vom Versand bis hin zum Wareneingang – Schritt für Schritt für eine zuvor festgelegte Produktfamilie (d.h. ein Produkt in mehreren verschiedenen Varianten) die erforderlichen Produktionsprozesse auf einem Blatt Papier notiert (vgl. Sihm et al., 2016, p. 177). Ebenso werden dazu gehörige Lagerstufen und dazwischenliegende Transportwege (= Materialfluss) und die Ansteuerung der Prozesse (= Informationsfluss) sowie relevante Kunden- und Lieferantendaten aufgeschrieben. Der Start im Versand dient dazu, von Beginn an die Kundenperspektive einzunehmen, um in der Design-Phase den Wertstrom entsprechend den Anforderungen des Kunden zu gestalten (vgl. Rother and Shook, 2003, p. 3). Auf Basis der Wertstromanalyse und des dokumentierten Ist-Wertstroms (engl. „Current state map“ (CSM)) können in weiterer Folge Potentiale für Verbesserungen abgeleitet werden (vgl. Erlach, 2010, p. 101ff). Diese Potentiale gilt es in Phase 2, dem eigentlichen Wertstromdesign, zu erschließen. Um mögliche Verbesserungspotentiale zu realisieren, werden beim klassischen Wertstromdesign die Bearbeitungs- bzw. Zykluszeiten dem Kundentakt angeglichen (Hilfsmittel: OBC – engl. „Operator Balance Chart“ – zur visuellen Darstellung der Zykluszeiten je Prozess im Vergleich zum vorgegeben Kundentakt) und deren Summe mit der Durchlaufzeit verglichen (Kenngröße: Flussgrad). Je größer die Differenz, desto größer das Verbesserungspotential, welches üblicherweise mittels Reduktion der Bestände erschlossen wird (vgl. Erlach, 2010, pp. 24, 104).

Weiters werden Verschwendungen aller Art im Wertstrom identifiziert und versucht, diese zu beseitigen (vgl. Ōno, 1988; Womack et al., 1990; Rother and Shook, 2003; Womack and Jones, 2003; Gibbons et al., 2012). Als Verschwendung werden dabei alle mit Kosten verbundenen Tätigkeiten verstanden, die für den Kunden keinen Nutzen bringen (vgl. Erlach, 2010, p. 118). Zur Erschließung der Potentiale werden Maßnahmen für flussorientierte Zielzustände (Soll-Wertstrom; engl. „Future state map“ (FSM)). definiert, welche in Phase 3 (Umsetzung) innerhalb eines gewissen Zeitrahmens unter Bildung von Wertstromschleifen und Festlegung von Verantwortlichkeiten realisiert werden müssen (vgl. Braglia et al., 2006). Ferner kann nach Phase 1 ein sogenannter „Ideal-Zustand“ (vgl. Kapitel 2.6) skizziert werden, der nach mehrmaligen Iterationszyklen erreicht werden soll und oft mit hohen Investitionen verbunden ist (vgl. Kuhlmann et al., 2011). Die Anwendung von Value Stream Mapping eignet sich vor allem für die Prozesstypen 1 (Massenfertigung) und 2 (Serienfertigung inkl. variantenreicher Serienfertigung; engl. „Low volume, high mix“), sowie bedingt für den Prozesstyp 3 (Einzel- und Kleinserienfertigung) mit stabilen Arbeitsplänen hinsichtlich Routing; d.h. stabiler Abfolge von Prozessschritten einer definierten Produktfamilie (vgl. Bokranz and Landau, 2012; Sihm et al., 2016).

2.4 Produktivität und Produktivitätsmanagement

GOLDRATT und COX beschreiben drei Ziele, die eine Produktion anstreben muss, um erfolgreich am Markt bestehen zu können: (a) Durchsatz erhöhen; (b) Bestand senken; (c) Herstellungskosten minimieren (vgl. Goldratt and Cox, 2013). Verbesserungen in einem Produktionssystem bewirken grundsätzlich eine Steigerung der Produktivität durch eine positive Beeinflussung der oben genannten Ziele, wobei diese sehr oberflächlich beschrieben werden. Dabei gibt es auch keine umfassende Übereinstimmung in der Literatur, wie am besten gearbeitet („verbessert“) werden muss, um ein „Best Performer“ zu sein (vgl. Gershwin, 2000). Um Produktivität steigern zu können, muss man jedoch ins Detail gehen können – und Produktivität messbar und bewertbar machen (vgl. Muthiah and Huang, 2006).

Die Produktivität ist die Ergiebigkeit der Produktionsfaktoren „menschliche Arbeitskraft“, „Betriebsmittel“ und „Material“. Diese Ergiebigkeit drückt sich durch den Quotienten „Leistung dividiert durch Faktoreinsatz“ aus. Bei der Bestimmung der Produktivität wird der Output (= Leistung) häufig als Mengengröße quantifiziert. Als Input wird der Einsatz der Produktionsfaktoren quantifiziert (vgl. Islam and Syed Shazali, 2011); Messgrößen für den Nenner der Arbeitskräfteproduktivität sind bspw. die Anzahl der Arbeitskräfte oder unterschiedliche Zeiteinheiten (vgl. Nebl and Dikow, 2004, p. 4; Bokranz et al., 2006, p. 4; Dikow, 2006, p. 41; Nebl, 2007, p. 18ff; Kuhlmann, 2013, p. 58ff). Bei genauer Betrachtung der Einflussfaktoren der Produktivität erkennt man, dass für menschliche und maschinelle Ressourcen besonders die Dimensionen „Gestaltung der Arbeitsmethode“, „Niveau der erbrachten Leistung“ und „Grad der Auslastung der Ressourcen“ die Produktivität beeinflussen (vgl. Helmrich, 2003, p. 27; Kuhlmann et al., 2011; Sakamoto, 2010).

Produktivitätsmanagement umfasst demnach Produktivitätsmessung und Aktivitäten zur Produktivitätssteigerung (vgl. Muthiah and Huang, 2006) ebenso wie methodische Ansätze, Vorgehensweisen und Tools, welche im Industrial Engineering zur Verfügung stehen (vgl. Stowasser, 2010; Kuhlmann, 2013). In der englischsprachigen Literatur wird darunter auch „Performance Measurement“ verstanden, das als Prozess zur quantitativen Bewertung von Effektivität und Effizienz von Produktionssystemen verstanden wird (vgl. Tangen, 2003; Sihn et al., 2016, p. 403).

2.5 Handlungskompetenz zum Produktivitätsmanagement

Den Kompetenzbegriff im Industrial Engineering hat KUHLMANN umfassend behandelt. Zur Gestaltung von produktiven, industriellen Wertströmen ist es demnach erforderlich, dass handelnde und verantwortliche Personen über angemessene System- und Methodenkompetenz verfügen, um zielorientiertes Betreiben und Verbessern von Produktionssystemen im Allgemeinen und von Wertströmen im Besonderen sicherzustellen (vgl. Kuhlmann, 2013, p. 37ff).

Zusätzlich dazu bestimmen die Problemlösungskompetenz (vgl. Richter and Deuse, 2011) sowie die persönliche Expertise und zusätzliche Schlüsselkompetenzen (z.B. soziale Kompetenz) gemeinsam die Handlungskompetenz der handelnden Personen oder

Organisationen (vgl. Edtmayr et al., 2013, p. 107ff). Je komplexer die Anforderungen an und die Ausprägungen von Wertströmen, desto umfangreicher werden die Kompetenzanforderungen an Organisationen und deren Mitarbeiter (vgl. Kurlang et al., 2014, p. 29; Edtmayr et al., 2013). Die folgende Abbildung 6 zeigt den Zusammenhang zwischen den vier Kompetenzfeldern der Handlungskompetenz im Produktivitätsmanagement (Fachgebiet Industrial Engineering) in den unterschiedlichen Phasen des Produktentstehungsprozesses (PEP) (vgl. Kurlang, 2013).

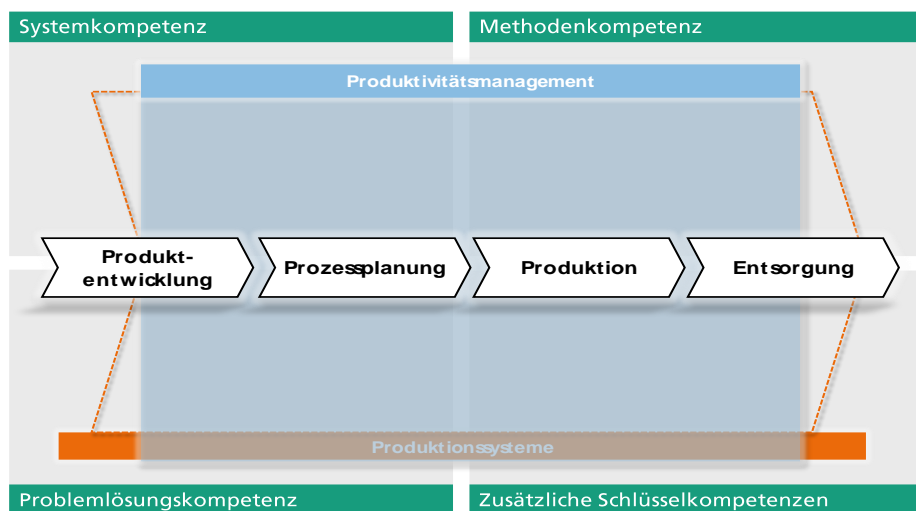


Abbildung 6: Handlungskompetenz zum Produktivitätsmanagement im Industrial Engineering (Kurlang, 2013)

Das einfach zu verstehende und anzuwendende Modell des Wertstroms mit der o.g. zugehörigen Wertstrom-Prozesssprache (= Symbolik) bietet hierfür einen geeigneten Rahmen für Systemkompetenz (vgl. Hopp and Spearman, 2011, p. 221; Kurlang, 2013, p. 56). Das Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e.V. (IfaA) (vgl. Baszenski, 2003, 2010, p. 110f; Stowasser, 2010) bietet ebenso wie REFA (vgl. REFA, 2012) Methodensammlungen zur Steigerung der Produktivität im Industrial Engineering. Für diese Arbeit bedeutet das, dass der Erfolg von Verbesserungsarbeit in Produktionssystemen bzw. Wertströmen neben der System- und Methodenkompetenz (vgl. Kurlang et al., 2014) auch vom impliziten Wissen (vgl. Polanyi, 1985) und somit den Erfahrungen der handelnden Personen (= Wertstromplaner) abhängt, d.h. Verbesserungen bedingen das Vorhandensein von implizitem Wissen (vgl. Katenkamp, 2011).

Aus diesem Grund bieten mehrere Autoren Ansätze und Verfahren, wie praktische Verbesserungsarbeit an Wertströmen zu leisten ist, um bestmögliche Ergebnisse – d.h. Produktivitätssteigerungen (vgl. Bokranz and Landau, 2012, p. 8ff) – mit dem getätigten Ressourceneinsatz zu erzielen (vgl. Hines et al., 2004; Sunk et al., 2015). Grundsätzlich können Verbesserungen sprunghaft (= Innovation, jap. Kaikaku) (vgl. Povey, 1996) oder kurzzyklisch/ inkrementell (d.h. nach dem PDCA-Zyklus bzw. als kontinuierlicher Verbesserungsprozess (KVP, jap. Kaizen) (vgl. Imai, 1986; Van Aken et al., 2010; Rother, 2013) ablaufen, wobei diese Ansätze in Kapitel 3.1 genauer erklärt werden. Im Industrial Engineering ist Value Stream Mapping ein anerkannter und etablierter Standard zum Modellierung von abgegrenzten (physischen) Produktionssystemen und zum Betreiben von Produktivitätsmanagement (vgl. Kurlang, 2013).

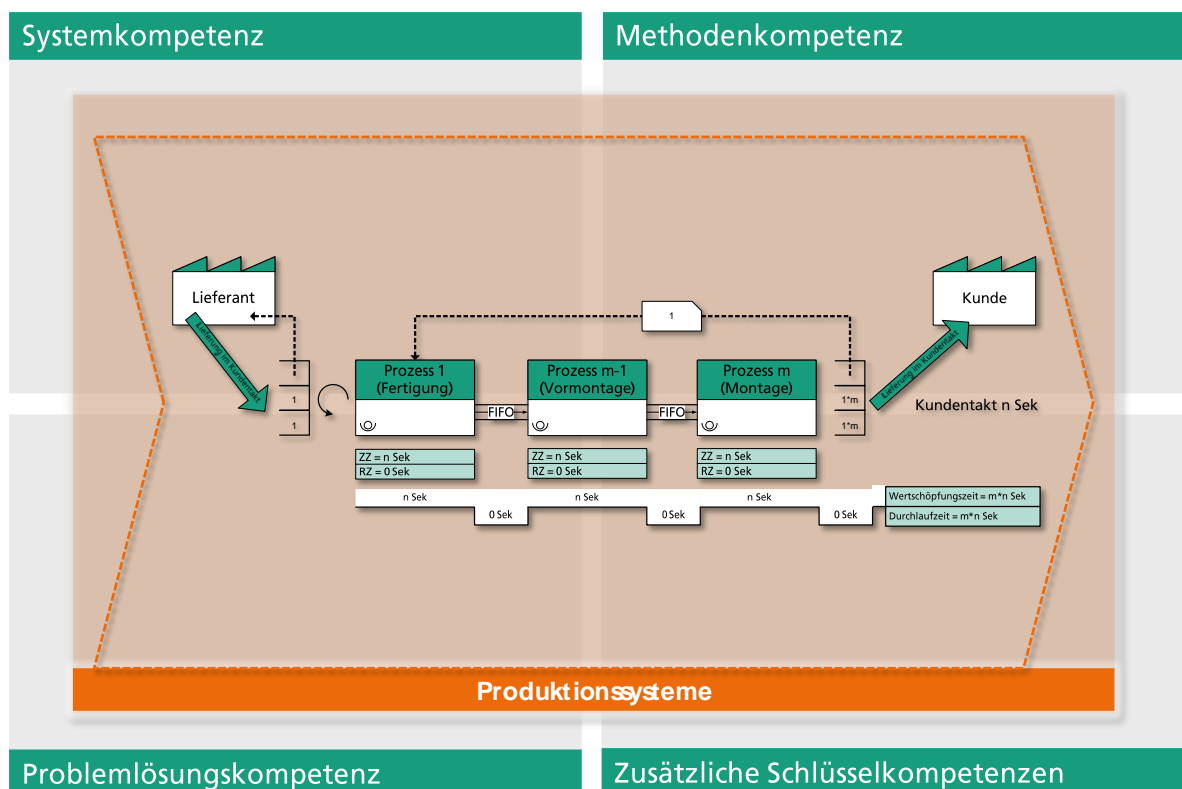


Abbildung 7: VSM als Bezugsrahmen für Handlungskompetenz zum Produktivitätsmanagement (Kuhlang, 2013)

2.6 Istzustand, Zielzustand und Idealzustand

Der Verbesserung eines Wertstroms und seiner zugehörigen Prozesse liegt das Paradigma des Anstrebens eines idealen Zustands – vergleichbar mit einer Vision – zugrunde. Ein Idealzustand beschreibt den Zustand eines verschwendungsfreien Wertstroms, der die Wertschöpfung zu minimalen Kosten erbringt (vgl. Rother, 2009, p. 56ff). Dieser Idealzustand dient als Navigationspunkt („true north“) bzw. Orientierungshilfe und lässt sich durch (JIT-) Ausprägungen (vgl. Edwards, 1983) wie bspw. 100% Wertschöpfung, kontinuierlicher Ein-Stück-Fluss (bzw. in Abfolge FIFO; bzw. auf Anforderung Kanban), Null-Fehler, Minimale Flächennutzung, stabile und streuungslose Prozesse (d.h. „fähig“ und „beherrscht“ (vgl. Wappis and Jung, 2010) hinsichtlich auftretender Variabilität (vgl. Hopp and Spearman, 2011, p. 264ff)) sowie Beeinträchtigungsfreiheit für den arbeitenden Menschen veranschaulichen (vgl. Kuhlang et al., 2013b, p. 5ff). Der Idealzustand ist richtungsweisend für die Ableitung und Festlegung verschiedener Zielzustände (hier: eines Wertstroms) (vgl. Imai, 1986, p. 23ff; Spear, 1999, p. 98; Deuse et al., 2009; Sunk et al., 2014a) unter Berücksichtigung der vorherrschenden Dynamik in Produktionssystemen bzw. Wertströmen (vgl. Hopp and Spearman, 2011, p. 227ff). So gilt es, am Weg zum Idealzustand auftretende Verschwendungen (vgl. Hines et al., 2004; Wahab et al., 2013) und zufällige Variabilität (vgl. Hopp and Spearman, 2011, p. 264ff) – bspw. in Form von schwankenden Ankunftsdaten und Bearbeitungszeiten (= Abfertigungsraten) in Wertschöpfungsketten und von instabilen Prozessen hinsichtlich Qualität / Routing / Zeiten (vgl. Forno et al., 2014) – nachhaltig zu eliminieren (vgl. Kuhlang, 2013, p. 38f).

Abbildung 8 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen dem aktuellen Istzustand (engl. „Current-condition“ oder „Current state“) – bspw. eines Wertstroms – und dem anzustrebenden Idealzustand (engl. „Ideal-state“; zum theoretischen Zeitpunkt t_{∞} erreicht). Dabei ist zu erkennen, dass jeweils ausgehend vom Istzustand (Anm.: zum Zeitpunkt t_0) ein zu erreichender Zielzustand (engl. „Target-condition“ oder „Future state“; für den Zeitpunkt t_1) spezifiziert werden kann, der in weiterer Folge zu erreichen bzw. umzusetzen ist. Deshalb entspricht ein im klassischen Wertstromdesign definierter „Soll-Wertstrom“ einem zukünftigen Zielzustand. Ebenso entspricht der zuvor erwähnte „Ideal-Wertstrom“ einem weiteren Zielzustand zum Zeitpunkt t_n (vgl. Kuhlant, 2013).

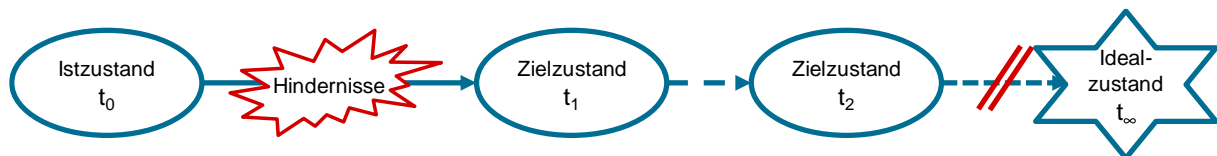


Abbildung 8: Istzustand, Zielzustände und Idealzustand (vgl. Kuhlant, 2013)

Der nächste Zielzustand, den es am Weg zum Idealzustand zu erreichen gilt, kann im Sinne der Sichtweise von Toyota als ein neuer Standard interpretiert werden (vgl. Kuhlant, 2013, p. 40). Unter „Standardisierung“ (vgl. Sunk et al., 2014b) wird im Allgemeinen eine „Vereinheitlichung von ganzen Erzeugnissen (...) und Erzeugnistteilen (...) sowie Regelgebundenheit von Fertigungs- bzw. Verwaltungsabläufen (...)“ (Brockhaus, 2006) mit einem dokumentierten Standard als Ergebnis verstanden. Die Regelung bzw. die Standardisierung von Abläufen hat aktuell eine sehr hohe Bedeutung. Viele Unternehmen im deutschen Sprachraum interpretieren Standards in Bezug auf Produktionsprozesse so, dass diese in erster Linie der Stabilisierung von Prozesszuständen auf einem erreichten Leistungsniveau bzw. der Harmonisierung von Prozessen und Arbeitsabläufen dienen. Durch dieses klassische Verständnis (nach TAYLOR’s „one-best-way-Prinzip“) im Sinne von „Best Practice“ werden Standards statisch und sollen für einen möglichst langen Zeitraum gültig bleiben (vgl. Deuse et al., 2011, p. 39ff).

Diese Interpretation von Standards hemmt jedoch eine zielgerichtete Weiterentwicklung von Prozessen. Innovative Ansätze – wie bspw. im Toyota Produktionssystem – interpretieren einen Standard im Sinne eines Zielzustands, um somit bewusst eine Unterscheidung vom aktuellen Istzustand zu schaffen (siehe Abbildung 9) (vgl. Deuse et al., 2009).

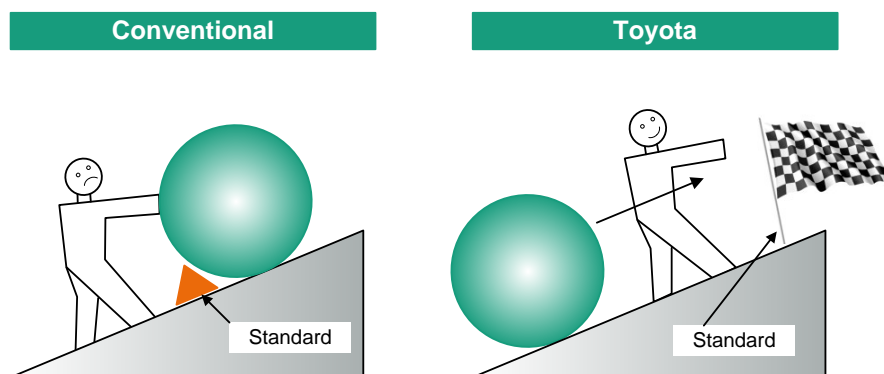


Abbildung 9: Standards im klassischen Sinne und als Zielzustand (vgl. Rother, 2009; Richter and Deuse, 2011)

Erst durch diese Differenzierung wird eine Grundlage zur zielgerichteten Prozessverbesserung geschaffen (vgl. Richter and Deuse, 2011, p. 8). Die Reduzierung der Abweichung zwischen dem aktuellen Istzustand und dem jeweiligen Standard führt zu einer zielgerichteten Veränderung des Prozesses (vgl. Rother, 2009; Richter and Deuse, 2011, p. 8). Hierfür ist es erforderlich, Standards (im Sinne von Zielvorgaben) für die Abläufe zu definieren, vor Ort bekannt zu machen und die Prozesse für Mensch, Betriebsmittel und Material zu beschreiben. Ziel dabei ist, Abweichungen vom Standard sofort sichtbar zu machen und durch Verbesserungsmaßnahmen zu beseitigen. Somit werden klare Prioritäten für den Verbesserungsprozess gesetzt, Mitarbeiter direkt miteinbezogen und schnelle, kleinschrittige Verbesserungszyklen durchgeführt bzw. große Veränderungen umgesetzt, sowie deren Wirksamkeit überprüft (vgl. Sunk et al., 2014a, 2015). Beispielsweise beschreibt die Arbeitsmethode, unabhängig vom vorliegenden Standardisierungsverständnis, wie die einzelnen Teilverrichtungen eines Prozesses durchgeführt und in welcher Abfolge sie abgearbeitet werden. Die Arbeitsmethode bzw. Arbeitsanleitung dient als Standard, mit dessen Hilfe Abweichungen im Prozessablauf unverzüglich erkannt, analysiert und für den kontinuierlichen Verbesserungsprozess genutzt werden können (vgl. Takeda, 2009, p. 137ff). Die Standardisierung der Arbeitsreihenfolge umfasst die genaue Beschreibung einzelner Bewegungsabläufe und deren Reihenfolge, die die Mitarbeiter bei der Montage eines Erzeugnisses oder bei Handling-Tätigkeiten beim Kommissionieren oder Umpacken durchführen sollen, sowie die dafür zur Verfügung stehende Zeit (Grundzeit t_g bzw. Vorgabezeit t_v) (vgl. Sunk et al., 2014b). Die klare Beschreibung von Standards, bspw. durch MTM-Methodenbeschreibungen (vgl. Kuhlmann et al., 2011), ist dazu ein grundlegendes Erfordernis und Ausgangspunkt für die Verbesserung. Eine Organisation ist darauf auszurichten, permanent Abweichungen von Standards als Verbesserungspotenzial zu erkennen und bereit zu sein, diese Streuungen zu reduzieren (vgl. Richter and Deuse, 2011).

2.7 Kennzahlen zur Wertstrom-Analyse

Grundsätzlich kann die Leistungsfähigkeit eines Wertstroms mit finanziellen und nicht-finanziellen Variablen (hier: **Input-Parameter**) und Kennzahlen (hier: **VSM-Kennzahlen**) analysiert und bewertet werden (vgl. Hopp and Spearman, 2011, p. 213ff; März et al., 2011, p. 30). FULLERTON und WELPE weisen auf ein Strukturgleichungsmodell (engl. „Structural equation modeling“ (SEM)) hin, um wechselseitige Abhängigkeiten zur Profitabilitätssteigerung zu verdeutlichen, zu untersuchen und zu verbessern. Es wird dargelegt, dass vor allem kontinuierliche Maßnahmen zur Eliminierung von Verschwendung zur Profitabilität beitragen (vgl. Fullerton and Wempe, 2009). KARIM und ARIF-ZU-ZAMAN erheben drei Kennzahlen bei der Einführung von Lean Management in Unternehmen: (I) Effizienz in %; (II) Produktionsziel in %; (III) Effektivität in %. Ferner bieten sie ein praktisches Vorgehensmodell zur Einführung von Lean, woran sich das hier zu erschaffende Vorgehensmodell orientiert (vgl. Karim and Arif-Uz-Zaman, 2013). Aus einer Umfrage mit produzierenden Industrieunternehmen und anschließendem Vergleich mit der Literatur und der eigenen Einschätzung haben CHAUHAN und SINGH „Parameter“ (besser: Zielgrößen, Prinzipien, oder Ansätze) und deren Wichtigkeit zur Produktivitätssteigerung ausgewertet (vgl. Chauhan and Singh, 2012). Die genannten „Parameter“ (Anmerkung: nicht zu verwechseln mit dem hier verwendeten Begriff „Input-Parameter“) sind:

- Eliminierung von Verschwendung
- Kontinuierliche Verbesserung (CIP)
- Null-Fehler
- JIT-Anlieferung und -Produktion
- PULL-Steuerung der Rohmaterialien
- Multifunktionale Teams (z.B. Q-Zirkel, Empowerment, Experten)
- Dezentralisierung (hinsichtlich Verantwortlichkeiten)
- Integration der Funktionen (z.B. integrierte Q-Prüfung der operativen Mitarbeiter)
- Vertikale Informationssysteme (z.B. Top-down- und Bottom-up Rückmeldungen)

Hohe Priorität erhalten vor allem JIT und die Eliminierung von Verschwendung (vgl. Chauhan and Singh, 2012), wobei ergänzend dazu BELEKOUKIAS et al. Automation und JIT hohe Bedeutung beimessen und bei falscher Anwendung von TPM, VSM¹¹ und CIP auch negative Auswirkungen auf die operative Performance bzw. Produktivität bspw. durch Überadministration und -datenbeschaffung auftreten können (vgl. Belekoukias et al., 2014).

BHAMU und SINGH SANGWAN haben in der Literatur aufgrund unterschiedlichster Lean Praktiken generische Kennzahlen / Metriken / Leistungsindikatoren, jedoch keine einheitlichen Standard- oder kritische Kennzahlen gefunden (vgl. Bhamu and Singh Sangwan, 2014), was OBERHAUSEN und PLAPPER bestätigen (vgl. Oberhausen and Plapper, 2015, 2016). In der Literatur am weitesten verbreitet (vgl. Hon, 2005) sind jedoch **traditionelle VSM-Kennzahlen** zur Bewertung von:

- **Zeit(en)**: Bearbeitungszeiten (vgl. Kuhlmann et al., 2011; Kuhlmann, 2013); Zyklus- und Rüstzeiten (vgl. Erlach, 2010), Wertschöpfungszeit (vgl. Shah and Ward, 2003; Sihn et al., 2016; Müller et al., 2014)
- **Durchlaufzeiten** (vgl. Little, 1961) und Geschwindigkeit hinsichtlich Durchsatz (vgl. Tangen, 2003; Erlach, 2010)
- **Kosten bzw. Wirtschaftlichkeit** (vgl. Erlach, 2010): Bewertung der direkten Kosten eines Produktionssystems bzw. gesamten Wertstroms mittels Activity-Based Costing (ABC) (vgl. Abuthakeer et al., 2010); Lean Accounting (vgl. Maskell and Kennedy, 2007) sowie Value Stream Costing (vgl. Chiarini, 2012); Bewertung von Stückkosten mit dem klassischen Problem der Umlegung von indirekten Kosten (vgl. Woods, 2009)
- **Qualität** (vgl. Juran and De Feo, 2010; Erlach, 2010)
- **Variabilität bzw. Flexibilität**: Fähigkeit zur Reaktion auf ungeplante Veränderungen (vgl. Erlach, 2010; Belekoukias et al., 2014)
- **Produktivität** (vgl. Nebl and Dikow, 2004; Kuhlmann, 2010), wobei in der Praxis vor allem die Mitarbeiterproduktivität von hoher Relevanz ist (vgl. Gupta and Vardhan, 2016)

¹¹ Dies wird durch folgendes Zitat verdeutlicht: *“The mapping makes people feel as if they are doing something lean, but it’s just a drawing. One must have an in-depth understanding of basic concepts and how to create processes that can be linked. That is when it becomes very useful to have someone who has already done the path of process flow in the factory. This person not only knows where it is going to, but it can save many hours that would be wasted by taking the wrong path.”* (Liker and Meier, 2006)

Diese Kennzahlen haben stets eine direkte Auswirkung auf die Produktivität und somit Profitabilität des Produktionssystems bzw. des Wertstroms. Zur Bewertung der Profitabilität von Wertströmen im Besonderen wurden diverse Verfahren entwickelt, um, weg vom traditionellen Controlling, den Lean-Aspekt mit zu berücksichtigen. Lean Accounting-Verfahren (vgl. Maskell and Kennedy, 2007) sollen deshalb, im Gegensatz zur nachträglichen Bewertung, die zukünftigen Erfolge vorhersehbar machen (vgl. Woods, 2009). Grundsätzlich geht es dabei um Problemstellungen des Verteilungsschlüssels für indirekte Kosten bezogen auf ein konkretes Produkt. Weiters versucht man mit den Prinzipien aus Lean Management die Bestände zu senken, während in traditionellen Controlling-Ansätzen dies als Reduktion des Vermögens und somit als negativ angesehen wird (vgl. Ruiz- de- Arbuló- Lopez et al., 2013). Als eine Möglichkeit wird das Activity-Based Costing-Verfahren (ABC) angesehen, das – weg von der kostenstellenweisen – eine prozessorientierte Zuordnung der indirekten Kosten ermöglicht. Für Wertströme wurde ABC jedoch von Value Stream Costing-Verfahren (VSC) abgelöst (vgl. Chiarini, 2012). Beim VSC werden (a) Gesamtkosten für einen Wertstrom über einen Betrachtungszeitraum (Periode) berechnet; oder (b) Stückkosten aus der Summe von direkten Materialkosten und „anderen Wertstromkosten“ durch die Stückzahl im Betrachtungszeitraum dividiert. Aktuell ist hier jedoch in der Literatur hoher Forschungsbedarf erforderlich, um die Lean-Praktiken ausreichend zu berücksichtigen (vgl. Ruiz- de- Arbuló- Lopez et al., 2013; Winkler et al., 2013).

Es wird empfohlen, diese Kennzahlen gemeinsam zu betrachten und zu verbessern, um die gesamte Profitabilität eines Produktionssystems bzw. Wertstroms zu verbessern (vgl. Hon, 2005; Karim and Arif- Uz- Zaman, 2013). Um bei den übergeordneten Kennzahlen konkrete Aussagen treffen zu können, muss man ins Detail gehen. Zur **detaillierten Bewertung von Wertströmen** (hier: Wertstrom-Analyse) mit den beinhalteten Elementen **Prozess, Lagerstufe und Transport** sind in der Literatur die folgenden Kennzahlen zu finden:

- **Kundentakt** in Zeit/Stück (vgl. Erlach, 2010, p. 48)
- **Zykluszeit** in Zeit/Stück (vgl. Erlach, 2010, p. 62f)
- **Reichweiten** in Zeit für (a) den individuellen Prozess (vgl. Erlach, 2010, p. 84; Hopp and Spearman, 2011, p. 674f) und (b) den gesamten Wertstrom (vgl. Erlach, 2010, p. 103; Hopp and Spearman, 2011, p. 331ff)
- **Flussgrad** (vgl. Erlach, 2010, p. 104)
- **Auslastungsgrad** (vgl. Erlach, 2010, p. 110)
- **Effektivitäts- und Effizienzbewertungen:**
 - Auslastung der Prozesse (vgl. Lian and Van Landeghem, 2002)
 - Capacity Effectiveness (vgl. Hopp and Spearman, 2011, p. 335)
 - Inventory Effectiveness (vgl. Hopp and Spearman, 2011, p. 336)
 - Time Effectiveness (vgl. Hopp and Spearman, 2011, p. 337)
 - Overall Equipment Effectiveness (OEE): Bewertung der Effizienz bzw. Effektivität einzelner Maschinen und Prozesse (vgl. Nakajima, 1988; Bokranz and Landau, 2012, p. 28; Matyas, 2013) als lokale Kennzahlen
 - Overall Factory Effectiveness (OFE): Die Effektivität bzw. Effizienz des gesamten Produktionssystems und kombinierte Aktivitäten und Abhängigkeiten mehrerer Sub-Systeme wird bewertet (vgl. Douglas and Pisa, 1998)

- Overall Throughput Effectiveness (OTE): Verhältnis von aktuellem zu theoretischen Durchsatz für parallele und serielle Materialflüsse (vgl. Huang et al., 2002)
- Cycle Time Effectiveness (CTE): Verhältnis von theoretischer Zykluszeit der maximalen Leistungsfähigkeit eines Prozesses zur tatsächlichen Zykluszeit im Betrachtungszeitraum (vgl. Huang et al., 2002)
- Stochastische OEE-Bewertung aufgrund stochastisch auftretender Zykluszeiten (vgl. Zammori et al., 2011)
- **Gesamt- und Teileproduktivität** der eingesetzten Ressourcen: Betriebsmittel, Mensch, Material und Energie (vgl. Nebl and Dikow, 2004; Kuhlmann, 2013, p. 59ff)
- **Ausschussraten** (vgl. Erlach, 2010, p. 75, 84, 112, 114, 314f; Sunk et al., 2016)

Folglich kann man für Produktionen, Produktionssysteme oder auch Wertströme ein Zielsystem definieren, in dem o.g. Kennzahlen formuliert und in Abhängigkeit gesetzt werden können. Im Wertstrom kann man lokale Kennzahlen und globale Ergebniskennzahlen (= kumulierte Werte) in Form einer Datenlinie abbilden (vgl. Rother and Shook, 2003; Erlach, 2010, p. 104; Kuhlmann et al., 2011; Sunk et al., 2016). Weitere Beispiele zur Bewertung von (materiellen) Ressourceneinsätzen in Wertströmen und/oder lokal in Prozessen liefern (Öko-) Bilanzierungen nach der EU EMAS-Verordnung¹², der ISO-Norm 14031¹³ (vgl. Jasch, 2000; Pusavec et al., 2010; Lu et al., 2012, p. 60; Lourenço et al., 2013; Lourenço E.J. et al., 2014) oder auch Reporten bzgl. Nachhaltigkeit, z.B. nach dem auch in der Automobilindustrie gängigen GRI-Standard¹⁴ (vgl. Boiral and Henri, 2015). Dieses kann um andere Aspekte wie bspw. Nachhaltigkeit (vgl. Amini and Bienstock, 2014) mit ökonomischen (vgl. Abuthakeer et al., 2010; Wahab et al., 2013; Gottmann, 2013), ökologischen – Abfall (vgl. Sunk et al., 2016), Energie (vgl. Erlach, 2009; Müller et al., 2014), Greenhouse gas (GHG) Emissionen (vgl. Faulkner and Badurdeen, 2014) – und soziale Ausprägungen ergänzt werden, wobei soziale Aspekte im Wertstromdesign bisher entweder „Leadership“ bzw. Methodenkompetenz (vgl. Hines et al., 2004; Emiliani and Stec, 2004; Serrano Lasa et al., 2009) oder Ergonomie (vgl. Jarebrant et al., 2015) betreffen.

Zahlreiche Autoren weisen auf Kosteneinsparungspotentiale durch die Anwendung von Sustainability Management in Produktionsprozessen hin (vgl. Bevilacqua et al., 2007; Seuring and Müller, 2008; Kleindorfer et al., 2009; Dou and Sarkis, 2010; Piercy and Rich, 2015). Die praktische Anwendung von Lean zur Verbesserung der Nachhaltigkeit einer Produktion erfreut sich großer Beliebtheit. Die steigende Anzahl von Veröffentlichungen über Lean in Kombination mit Sustainability Management in den letzten Jahren weist auf diesen Trend hin (vgl. Martínez-Jurado and Moyano-Fuentes, 2014). Studien zeigen jedoch, dass eine reine Anwendung von Lean nicht zwangsweise zu einer Steigerung der Nachhaltigkeit führt (vgl. Venkat and Wakeland, 2006; Marhani et al., 2013). Im Speziellen wird Sustainability Management in einer Produktion oftmals in Kombination mit VSM betrieben, da sich VSM als

¹² EMAS: Eco Management and Audit Scheme, online:

URL: http://www.bmlfuw.gv.at/umwelt/betriebl_umweltschutz_uvp/emas (30.12.2015); sowie:

URL: <http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/ums/emas> (30.12.2015)

¹³ ISO 14031:2013 als Umwelt-Managementsystem, online:

URL: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=52297 (30.12.2015)

¹⁴ GRI: Global Reporting Initiative, online:

URL: www.globalreporting.org/ (30.12.2015)

Bezugsrahmen für Verbesserungen in der Praxis als geeignet erwiesen hat – Beispiele finden sich in der Fachliteratur (vgl. Kaluza and Winkler, 2005; Erlach, 2009; Paju et al., 2010; Dadashzadeh and Wharton, 2012; Lourenço et al., 2013; Faulkner and Badurdeen, 2014; Müller et al., 2014; Kurdve et al., 2015; Sunk et al., 2016; Alvandi et al., 2016). Gerade im Bereich Sustainability Management in Kombination mit Lean Ansätzen besteht hoher Forschungsbedarf, was Verbesserungen und Produktivitätssteigerungen betrifft (vgl. Piercy and Rich, 2015).

2.8 Grundlagen der Informationswissenschaften für IT-gestütztes VSM

In diesem Kapitel werden die für diese Arbeit relevanten Aspekte der Informationswissenschaften dargelegt. Da die grundlegende Anforderung an diese Arbeit die IT-gestützte Parametrisierung des nächsten Zielzustands eines Wertstroms darstellt, muss im Vorhinein beschrieben werden, welche State of the Art-Möglichkeiten es hinsichtlich IT-Support gibt. Für die vorliegende Arbeit ist der Begriff „IT Artefakt“ von großer Bedeutung, weshalb dieser eingangs erläutert wird. Anschließend werden die Möglichkeiten der Umsetzung des Forschungsvorhabens in ein IT Artefakt sowie die dafür erforderlichen Grundlagen beschrieben.

2.8.1 Definition und Erläuterung des Begriffs „IT Artefakt“

In der angewandten Informatik (hier: Ingenieurinformatik bzw. Wirtschaftsinformatik) unterstützen Hardware und/oder Software den Menschen bei der Bearbeitung bzw. Lösung von fachlich relevanten Problemstellungen. AKHLAGHPOUR et al. haben Definitionen aus der Literatur zusammengetragen und folgende Kernelemente erarbeitet. IT Artefakte haben eine Entität bzw. sind ein Objekt, werden für einen bestimmten Zweck in einem bestimmten Kontext erstellt (vgl. Benbasat and Zmud, 2003) und dienen einer/mehreren Personen zum Erreichen des Ziels im Kontext. Ein Artefakt wird im Kontext mit unterschiedlichen Perspektiven entwickelt, eingeführt, adaptiert, in Betrieb genommen, laufend angewendet, geändert, verworfen und weiterentwickelt (vgl. Akhlaghpour et al., 2009). Es werden dabei vom Menschen geschaffene, betriebswirtschaftliche Problem- und Aufgabenstellungen systematisch bearbeitet, indem mittels Konstrukten, Modellen, Methoden und Instanzierungen (vgl. Hevner et al., 2004) Informationen systematisch verarbeitet werden, um den Problemlösungsprozess zu unterstützen (vgl. King and Lyytinen, 2004). IT Artefakte werden auch als Ergebnisse bzw. Resultate des DSR (Design Science Research) Prozesses angesehen (vgl. Prat et al., 2014). Die fünf Kernelemente eines IT Artefakts als Software-intensives System (ISO/IEC/IEEE 42010:2011) sind (1) Hardware, (2) Betriebs- und Systemsoftware, (3) Anwendungssoftware, (4) Anwendungsinhalt und (5) ergänzende Artefakte (vgl. Akhlaghpour et al., 2009). Diese Kernelemente finden sich auch in der IT Architektur wieder, wobei die Soll-Anforderungen an diese und die Bedenken der Stakeholder in einer ISO-Norm (vgl. ISO/IEC/IEEE 42010:2011) niedergeschrieben sind: (a) Zweck des Systems sicherstellen, (b) Eignung zur Zielerreichung, (c) Machbarkeit, (d) Risikobewertung, (e) Instandhaltung und (f) Erweiterbarkeit der Konstruktion.

2.8.2 Grundlagen der Entscheidungstheorie und Abbildung in einem IT Artefakt

In der Entscheidungstheorie liegt grundsätzlich ein Entscheidungsproblem vor, wenn aus Alternativen die bestmögliche zu wählen ist, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen. Neben der deskriptiven gibt es in der präskriptiven Entscheidungstheorie Modelle, welche den Anwender beim Treffen rationaler Entscheidungen unterstützen. Eine Entscheidungsalternative liegt auch vor, wenn zwischen dem Durchführen und dem Unterlassen einer Handlung zu wählen ist. Eine durchzuführende Alternative muss jedoch auch durchführbar sein. Der Entscheidungsbereich ist eine Menge an (potentiellen) Entscheidungsproblemen, der von anderen Entscheidungsbereichen sachlich und/oder zeitlich abzugrenzen ist (vgl. Laux et al., 2012, p. 3ff).

In der Literatur hat sich für das Lösen von Entscheidungsproblemen eine Prozess-Systematik entwickelt, die meist folgende Bestandteile enthält (vgl. Laux et al., 2012, p. 12):

- Problemformulierung
- Präzisierung des Zielsystems
- Erforschen der möglichen Handlungsalternativen
- Auswahl einer Alternative
- Entscheidungen in der Realisationsphase

Folgende Anmerkungen zu bestimmten Bestandteilen des **Entscheidungsprozesses** seien an dieser Stelle zu tätigen: (a) Bei der Präzisierung des Zielsystems sind sowohl Sachziele als auch Formalziele möglich; (b) da sich der Entscheider an mehreren Zielgrößen orientiert, kann unter Berücksichtigung einer Nutzenfunktion die Entscheidungspräferenz – z.B. Risiko – des Anwenders berücksichtigt werden; z.B. Maximalnutzen ermitteln (vgl. Laux et al., 2012).

Ein Managementunterstützungssystem (**MUS**; engl. „Management support system“ (MSS)) unterstützt Entscheidungsträger beim Planen, Organisieren, Steuern und Kontrollieren der betrieblichen Leistungsprozesse. Ein MUS kann dabei folgende Elemente enthalten: (a) Managementinformationssysteme (MIS) analysieren Datenmaterial aus operativen Bereichen und extrahieren daraus Informationen – meist in Form von periodischen, standardisierten Berichten; (b) Entscheidungsunterstützungssysteme (**EUS**, engl. „Decision support system“ (**DSS**)) unterstützen Fach- und Führungskräfte bei Planungs- und Entscheidungsprozessen und bedienen sich dabei betrieblicher Modelle und Methoden zur Problemlösung. Vorrangiges Ziel dabei ist die Verbesserung der Entscheidungsqualität des Planers, Modelle und Ansätze des Operations Research (OR) unterstützen durch leistungsfähige Lösungsmethoden bzw. Algorithmen (z.B. Optimierungsrechnungen, Simulationen, heuristische Verfahren, wissensbasierte Systeme; (c) Führungsinformationssysteme (**FIS**; engl. „Executive information system“ (EIS)) sind dialog- und datenorientierte Systeme für Fach- und Führungskräfte, das aktuelle und entscheidungsrelevante interne und externe Informationen über benutzungsfreundliche Dialogsysteme anbietet. Im Vergleich zu DSS sind FIS modell- und methodenarm; (b+c) Die **Kombination** von DSS und EIS wird als **ESS** (engl. „Executive support system“) bezeichnet, da sich die Entscheidungsfindung sowohl auf strategische als auch auf operative Problemstellungen bezieht (vgl. Gluchowski et al., 2008, p. 62).

Die Modellierung von Produktionssystemen zur Prognose von Produktivitätssteigerungen ist heutzutage aufgrund der Unmenge an verfügbaren Daten und den zufällig auftretenden Ereignissen nur schwer möglich. Diese Komplexitäten wirken sich erschwerend auf das Treffen von (richtigen bzw. bestmöglichen) Entscheidungen aus (vgl. Gershwin, 2000).

2.8.3 Grundlagen der diskreten Simulation (für VSM)

Mit Konzepten der Digitalen Fabrik lassen sich reale, immer komplexer werdende Produkt- und Produktionsentstehungsprozesse wirtschaftlich beherrschen. In der Phase „(Serien-) Produktion“ des PEP unterstützt dabei eine betriebsbegleitende Simulation (vgl. VDI, 2011a, sec. Blatt 2 15). Simulationsstudien sind Bestandteil des STEP [4] im Vorgehensmodell (vgl. Kapitel 4.4.5), weshalb an dieser Stelle die dazu erforderlichen Grundlagen erörtert werden.

„Simulation bedeutet die Entwicklung und Auswertung veränderbarer Modelle, welche die wesentlichen Eigenschaften realer Systeme nachbilden. Die Modellauswertung erfolgt experimentell durch Variationen der exogenen Variablen, die infolge der Interaktion zwischen den Variablen und Parametern zu ständig neuen Modellzuständen führen.“ (Hansen, 1973, p. 70)

Die IT-gestützte Modellierung eines Wertstroms mit den Elementen Prozess, Transport und Lagerstufe mit Kennzahlenberechnung entspricht der Analyse eines statischen Systems (vgl. Hedtstück, 2013, p. 10f). Dieses statische Modell gilt es zu verfeinern, um in der Serienproduktion der Realität besser zu entsprechen und dabei eine kontinuierliche Verbesserung des Systems zu ermöglichen (vgl. VDI, 2011a, sec. Blatt 2 6). Hierfür wird das Wertstrom-Modell um zeitliche und stochastische Eigenschaften der Elemente und Ereignisse erweitert. Die IT-gestützte Abbildung des Wertstroms mit den Quelle-Senke-Beziehungen repräsentiert den geforderten Prozess einer dynamischen, stochastischen, diskreten Simulation (vgl. März et al., 2011, p. 13f). Die darauf begründete ereignisorientierte (engl. „Discrete event simulation“ (DES)) oder auch prozessorientierte Simulation ermöglichen eine realitätsgetreue, vertiefende Leistungsbewertung des betrachteten Wertstroms über einen zeitlichen Verlauf, um Probleme und Verschwendungen aufzudecken (vgl. Hedtstück, 2013, p. 21; März et al., 2011, p. 13). Ein Wertstrom ist als Warteschlangensystem zu betrachten, um den realen Produktionsbedingungen bestmöglich zu entsprechen; wobei eine einzelne Warteschlange – bestehend aus Puffer (hier: Lagerstufe) und Prozess – mittels Kendall-Notation (vgl. Kendall, 1953) beschreibbar ist. Die sechs Merkmale der Notation „A/B/c/n/v/s“ sind (vgl. Hedtstück, 2013, p. 195ff); siehe Tabelle 4:

Tabelle 4: Sechs Merkmale der Kendall-Notation für Warteschlangensysteme in der DES

A	Statistische Verteilung der Ankunftsabstände, welche die Ankunftsrate bestimmt
B	Statistische Verteilung der Bedienzeiten, welche Bedienrate (VSM: Zykluszeiten) bestimmt
c	Anzahl Bedienstationen parallel (VSM: Anzahl Ressourcen, Kavitäten, etc.)
n	Systemkapazität (VSM: max. Puffergröße)
v	Anzahl möglicher Kunden (VSM: nachfolgendes Element, z.B. Lagerstufe, Prozess)
s	Warteschlangendisziplin (VSM: aus PPS, z.B. FIFO)

Die einzelnen Warteschlangen im Wertstrom bilden gemeinsam das Warteschlangensystem und genügen durch Darstellung der Materialflüsse vom Wareneingang bis hin zum Versand einem „wohlgeformten Prozessdiagramm“ (vgl. Hedtstück, 2013, p. 159), dem die Dispositionsdaten (Produktionsprogramm) als Eingangsgröße der Ereignisse zugrunde liegen (vgl. Kletti, 2007, p. 61). Für eine ordnungsgemäße Datensammlung und Datenaufbereitung ist Sorge zu tragen, um belastbare Ergebnisse einer Simulationsstudie zu erhalten (vgl. Rabe et al., 2008, p. 51).

Durch eine simulationsgestützte Wertstromanalyse können also – im Gegensatz zu statischen Durchschnittswerten bzw. augenblicklichen Ist-Werten, wie sie traditionellerweise verwendet werden bzw. zu verwenden sind – verbesserte Planungsgrundlagen und -ergebnisse erzielt werden. Andererseits sind die Gefahren einer Simulationsstudie allgemein bekannt, da bspw. die Datenverfügbarkeit, die Datenqualität und das erforderliche Know-how erhebliche Einschränkungen darstellen (vgl. Solding and Gullander, 2009). In dieser Arbeit soll jedoch der große, erzielbare Nutzen der leistungsstarken, statistischen Analyse- und Auswertemöglichkeit hervorgehoben werden, um die Auswirkungen der Dynamik auf (erforderliche bzw. minimale) Bestände, Durchlaufzeiten und Auslastungen von Zielzuständen untersuchen zu können (vgl. Muthiah and Huang, 2006; Abdulmalek and Rajgopal, 2007).

ESFANDYARI et al. beschreiben den Aufwand zur Erstellung eines Simulationsmodells mit den erforderlichen Elementen im Detail. Einerseits müssen Kapazitäten dimensioniert werden, andererseits muss der Produktfluss abgebildet werden. Relevante Daten im Datenmodell für einen Pull-gesteuerten Wertstrom sind (vgl. Esfandyari et al., 2011):

- Kundennachfrage je Prozess
- Frühestmögliches Startdatum je Prozess
- Spätestmögliches Enddatum je Prozess
- Bestellzeiten des nachfolgenden Prozesses
- Menge des im Prozess vorgelagerten Puffers bzw. Supermarkts (d.h. Lagerstufe)
- Zykluszeiten je Prozess
- Wiederbeschaffungszeiten des/der Lieferanten
- Mengen und Ankunftsdatum der angelieferten Waren
- Losgrößen je Prozess
- Losgrößen je Transport bzw. Kanban
- Anzahl der Mitarbeiter
- Netto-verfügbare Arbeitszeit je Mitarbeiter bzw. Prozess
- Rüstzeiten je Prozess
- Stillstandzeiten bzw. Ausfallsraten je Prozess
- Ggf. Schwankungen im Kundenbedarf

Vorgehen bei der Erstellung einer Simulationsstudie für „technische Systeme“ nach (vgl. VDI, 2011a, sec. Blatt 2), wobei die Bestandteile für den hier benötigten Anwendungsfall kommentiert werden (vgl. Tabelle 5):

Tabelle 5: Vorgehensweise bei einer Simulationsstudie mit Kommentaren zum benötigten Anwendungsfall

Vorgehensweise bei einer Simulationsstudie	Kommentar zum benötigten Anwendungsfall
Zielbeschreibung	Verifizierung und Validierung der Zielgrößen des Zielsystems (vgl. Kapitel 4.2)
Aufgabenspezifikation	Verifizierung und Validierung der Planungsparameter des zuvor parametrisierten Zielzustands
Konzeptmodell	Das Simulationsmodell ist durch den visualisierten Wertstrom vorgegeben und bedarf keiner weiteren Spezifikation.
Rohdaten	Einerseits sind die Wertstrom-Parameter der konsistenten Modellierung mittels IT-gestützter Wertstromanalyse (vgl. Kapitel 5.1.1) vorgegeben, andererseits sind Planungsgrundlagen wie das Produktionsprogramm als auch Ankunfts- und Abfertigungsraten zu ermitteln, zu bestimmen oder abzuschätzen.
Formales Modell	Sofern es die vorhandene Komplexität erfordert, können die Systemparameter ggf. reduziert bzw. idealisiert werden. Grundsätzlich sind die Systemelemente in der Hierarchie ebenso wie der Ablauf durch den Wertstrom mit den Quelle-Senke-Beziehungen vorgegeben.
Aufbereitete Daten	Systemlastdaten sind extern aufzubereiten, Organisationsdaten und technische Daten sind durch die IT-gestützte Wertstromanalyse vorhanden.
Ausführbares Modell	Eventuell ist Anpassung der getätigten Änderungen in der Parametrisierung erforderlich.
Simulationsergebnisse	Die Durchschnittswerte bzw. Ist-Werte sind durch quantitative/statistische Auswertungen belastbarer, wobei die Interpretation dem Anwender obliegt.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird Simulation als Überprüfungs- bzw. Verifizierungsmethode eines zuvor parametrisierten Zielzustands in der Planungs- als auch in der Betriebsphase (vgl. VDI, 2014, sec. Blatt 1) herangezogen, wobei die zusätzliche dynamische Perspektive als größter Nutzen betrachtet wird (vgl. Alvandi et al., 2016).

2.8.4 Wissensbasierte Systeme (WBS) als Beispiel Software-intensiver Systeme

Software-intensive Systeme finden zunehmend an Bedeutung bei der Nachahmung menschlicher Intelligenz („Künstliche Intelligenz“, KI). Das Forschungsgebiet „wissensbasierte Systeme“ (WBS) entwickelt sich seit den 1960er Jahren zunehmend zu einem bedeutsamen Teilgebiet der KI (vgl. Waterman, 1986; Runde et al., 2011, p. 45). Dabei behandeln WBS kontextspezifische Aufgabenstellungen mittels der Nachahmung menschlicher Intelligenz, welche die praktische Problemlösung (vgl. Freiberg et al., 2012) komplexer Aufgabenstellungen beinhaltet (vgl. Spreckelsen and Spitzer, 2009, p. 10). Wissensbasierte Systeme dienen der automatisierten Entscheidungsunterstützung (vgl. Wu and Zang, 2011). Darüber hinaus leisten derartige Systeme einen wesentlichen Beitrag zur computerunterstützten Wissensgenerierung. Daher ermöglichen heutige WBS ein verbessertes Engineering (automatisierungs-)technischer Systeme (vgl. Runde et al., 2011).

Aufgrund der Vielseitigkeit hinsichtlich der Problemlösung unterschiedlicher kontextspezifischer Aufgabenstellungen (vgl. Meiller et al., 2011, p. 198ff) erscheinen WBS auf den ersten Blick äußerst komplex (vgl. Freiberg et al., 2012), obwohl sie sich durch konzeptuelle Ähnlichkeiten auszeichnen. Ein maßgebliches Merkmal der WBS ist die Trennung des Wissens (Wissensbasis) und der Berechnung (vgl. Beierle and Kern-Isberner, 2014, p. 16) einer Aufgabenstellung über eine separate „Engine“ (siehe unten). Um diese Trennung erfolgreich zu gestalten, ist die formalisierte Repräsentation (vgl. Miseviciene et al., 2013, p. 90; Wu and Zang, 2011, p. 517) des Wissens (vgl. García et al., 2013) in einer Wissensbasis erforderlich (vgl. Spreckelsen and Spitzer, 2009, p. 32). Daher sind die funktionalen Komponenten – der IT Architektur – in WBS unabhängig (vgl. Lai et al., 2011). Zur Problemlösung (vgl. Wu and Zang, 2011) kommen sogenannte Inferenzkomponenten, welche in ihrer Gesamtheit auch als Inferenz-Maschine (vgl. Kumar and Singh, 2004) bezeichnet werden, zum Einsatz. Daher bildet dieser Abschnitt das theoretische Fundament zur automationsunterstützten Symbolverarbeitung (vgl. Spreckelsen and Spitzer, 2009, p. 128) und Wissensgenerierung (vgl. Kumar and Singh, 2004).

Wissensbasierte Systeme setzen mathematisch korrekt repräsentiertes, funktionales Wissen ein (vgl. García et al., 2013; Beierle and Kern-Isberner, 2014, p. 176). WBS stellen somit auf Grundlage der Wissensgenerierung Verknüpfungen zwischen den Anforderungen der Nutzer und der Objekte zur automatisierten Entscheidungsunterstützung her (vgl. Freiberg et al., 2012). Für den Aufbau von IT Architekturen für WBS werden kontextspezifische Architekturen in der relevanten Domäne erstellt. Zur inhaltlichen Abgrenzung der Domäne (hier: IT-gestütztes Design im VSM) kommt der Systemkontext zum Einsatz (vgl. Pohl, 2007). Hierfür gilt es, maschinenverarbeitbare Daten zu generieren, die mittels Integration in einen Kontext und eine anschließende Interpretation der Daten Informationen erzeugen. Im Allgemeinen handelt es sich dabei um softwareintensive IKT Systeme, welche Eingaben (Input) mittels automatisierter Berechnungsvorschriften in Ausgaben (Output) transformieren (vgl. Spreckelsen and Spitzer, 2009, p. 32). Der lösungsorientierte Einsatz von Berechnungsvorschriften setzt die Eingabe von Wörtern in der Benutzer-Schnittstelle des WBS voraus (vgl. Meiller et al., 2011). Diese Wörter setzen sich aus einer regelbasierten Konkatenation von Zeichen über einem definierten Alphabet zusammen (vgl. Spreckelsen and Spitzer, 2009), bspw. haben HUTH und RYAN hierfür eine wichtige Grundlage zur formalen Logik verfasst, und formale Sprachen, Logiken und Symbolverarbeitung in der Informatik beschrieben (vgl. Huth and Ryan, 2004). Formale Logiken geben mathematische Antworten (vgl. Freiberg et al., 2012) auf Fragen inferenzbasierter Fragestellungen (vgl. García et al., 2013; Huth and Ryan, 2004, p. 80). Die automatisierte Nachahmung menschlichen Schlussfolgerns zur Beantwortung der Fragen ist ein wesentlicher Bestandteil der WBS. Inferenz repräsentiert formalisierte Beziehungen zwischen vorhandenen Fakten (Wissensbasis) und neu abzuleitendem Wissen. Die formalisierte Beschreibung neuen Wissens sowie die Ableitung dessen Bedeutung findet in der Logik über Syntax und Semantik statt (vgl. Beierle and Kern-Isberner, 2014):

- **Syntax:** Die Syntax der Wissensrepräsentation legt die Struktur der Sprache fest. Daher umfasst die Syntax sogenannte Produktionsregeln zur logischen Inferenz und somit Konstruktionsregeln für Formeln (vgl. Huth and Ryan, 2004, pp. 33, 100, 122).

- **Semantik:** Die Semantik legt den Bezug zur realen Welt fest und weist daher einer Aussage eine Bedeutung zu; sie umfasst Interpretationsregeln für logische Inferenz und daher die Bedeutung von Formeln (vgl. Huth and Ryan, 2004, p. 38f, 122).

Die zentrale Kategorisierung der Inferenzarten geht auf PEIRCE¹⁵ zurück, der diese wie folgt kategorisiert; (vgl. Kuhlang et al., 2013a):

- **Deduktion:** für die Deduktion gilt, dass alle Schlussfolgerungen jedenfalls korrekt sind. Dies ist der Fall, weil von der Allgemeinheit auf einen konkreten Fall geschlossen wird.
- **Induktion:** in Logik und Mathematik versteht man unter Induktion die Schlussfolgerung von Einzelfällen auf das Allgemeine, aber auch das Übertragen von Beobachtungen auf Gesetzmäßigkeiten.
- **Abduktion:** Abduktion ist ein Spezialfall der Induktion: Hypothesen, die nicht aufgrund mehrerer Beobachtungen, sondern lediglich als Mutmaßungen aufgestellt werden. Abduktion bezeichnet Schlussfolgerungen, bei denen unbekannte Ursachen aus bekannten Effekten oder Konsequenzen abgeleitet werden. In formallogischer Hinsicht handelt es sich bei Abduktion um eine "ungültige" Form des Schlussfolgerns.

Um Aussagen in eine logische Struktur zu bringen, ist Logik erforderlich. Prädikatenlogik nullter Stufe (PL0) basiert auf Beobachtungen oder sogenannten Aussagesätzen. Damit besteht die Möglichkeit, Beobachtungen oder Aussagen einen Wahrheitswert zuzuweisen, bspw. „wenn...dann“ sowie logische „und/oder“ Beziehungen (vgl. Beierle and Kern-Isberner, 2014, p. 94). Das bedeutet, eine Aussage kann als wahr oder falsch interpretiert werden (vgl. Huth and Ryan, 2004, p. 2). Da die Ausdrucksstärke der PL0 für die meisten Anwendungen im Kontext von WBS stark eingeschränkt ist, ist zur Generierung einer erschöpfenden Wissensbasis ein mächtigeres System notwendig (vgl. Huth and Ryan, 2004, p. 93). Die ergänzenden Quantoren \forall mit der Bedeutung „für alle“ und \exists mit der Bedeutung „es existiert mindestens ein“ (vgl. Beierle and Kern-Isberner, 2014, p. 94) formen die Prädikatenlogik erster Stufe (PL1) (vgl. Huth and Ryan, 2004, p. 93).

2.9 Zusammenfassung und Eingrenzung des Untersuchungsbereichs

In Kapitel 2 wurden die für diese Dissertation relevanten theoretischen Grundlagen erarbeitet. Um in immer komplexer werdenden Produktionssystemen mit steigender Menge an möglichen Produktionsdaten trotzdem kontinuierlich Produktivitätssteigerungen erzielen zu können, müssen neue Methoden und Ansätze erarbeitet werden, die diesen Anforderungen gerecht werden (vgl. Kuhlang, 2013). Grundsätzlich eignen sich das VSM-Modell und -Verfahren mittels Bleistift und Papier sowie mit einfachen Berechnungen im Entscheidungsprozess für Verbesserungen (vgl. Serrano et al., 2008); aufgrund der einfachen Modellierungssprache. Für das Betreiben und Verbessern von Wertströmen bieten sich neue **IT-gestützte Möglichkeiten in der Datenerhebung und -auswertung** an, um bessere Zielzustände im Entscheidungsprozess zu gestalten (vgl. Forno et al., 2014). Kontinuierliche Datenmessungen können dabei

¹⁵ „Collected papers“ von Charles Sanders Peirce: „Vol. II. Elements of Logic“, 1931

den kontinuierlichen Verbesserungsprozess unterstützen, da durch heutige IT-Möglichkeiten dem Wertstromplaner mehr Zeit für das Erarbeiten von Lösungen anstatt mühevoller Datensammlung bleibt. Somit hat eine 1994 durchgeführte Untersuchung bei Industrieunternehmen, welche die Relevanz von Expertensystemen bei der Bearbeitung von spezifischen Problemstellungen wie bspw. „Prozess-Design“ und „Prozess-Auswahl“ abgefragt und ausgewertet hat, heute noch immer hohe Relevanz (vgl. Wong et al., 1994). Vor allem wird darin auf zukünftige Möglichkeiten von VSM im „Ecodesign“ hingewiesen. Ferner wird auch aufgezeigt, dass in der Literatur vielfach Ansätze zur Implementierung von VSM vorhanden sind, jedoch der Aspekt des täglichen Betriebens von VSM nur peripher behandelt wird (vgl. Forno et al., 2014).

Darauf aufbauend sind im Detail geeignete Kennzahlen für den Wertstrom zu definieren, um Lean-Praktiken und Verbesserungsmaßnahmen zu unterstützen. Deshalb ist hier der State of the Art im Performance Measurement in Produktionssystemen bzw. Wertströmen Top-down strukturiert dargelegt, um darüber hinaus die Abhängigkeiten zwischen übergeordneten Zielgrößen und spezifischen Ressourceneinsätzen in den Elementen des Wertstroms zu verdeutlichen. Dies umfasst sowohl finanzielle als auch nicht-finanzielle Kennzahlen.

In weiterer Folge wird deshalb der **Untersuchungsbereich** wie folgt abgegrenzt. In der vorliegenden Dissertation wird von industriellen Wertströmen in der Stückguterzeugung gesprochen. Die hier betrachteten Rampe-zu-Rampe-Wertströme betreffen nur die innerbetrieblichen Aktivitäten und bestehen somit nur aus der Verkettung von Prozessen, Transporten und Lagerstufen sowie der internen Produktionssteuerung. Externe Anbindung an Lieferanten und Kunden sowie der Daten- bzw. Informationsfluss vom Kunden und zu den Lieferanten wird wie die externen Transporte und Lagerstufen nicht betrachtet. Die Supply-Chain-Perspektive wird ebenso wie die One-piece-flow-Perspektive nicht berücksichtigt (siehe Abbildung 10).

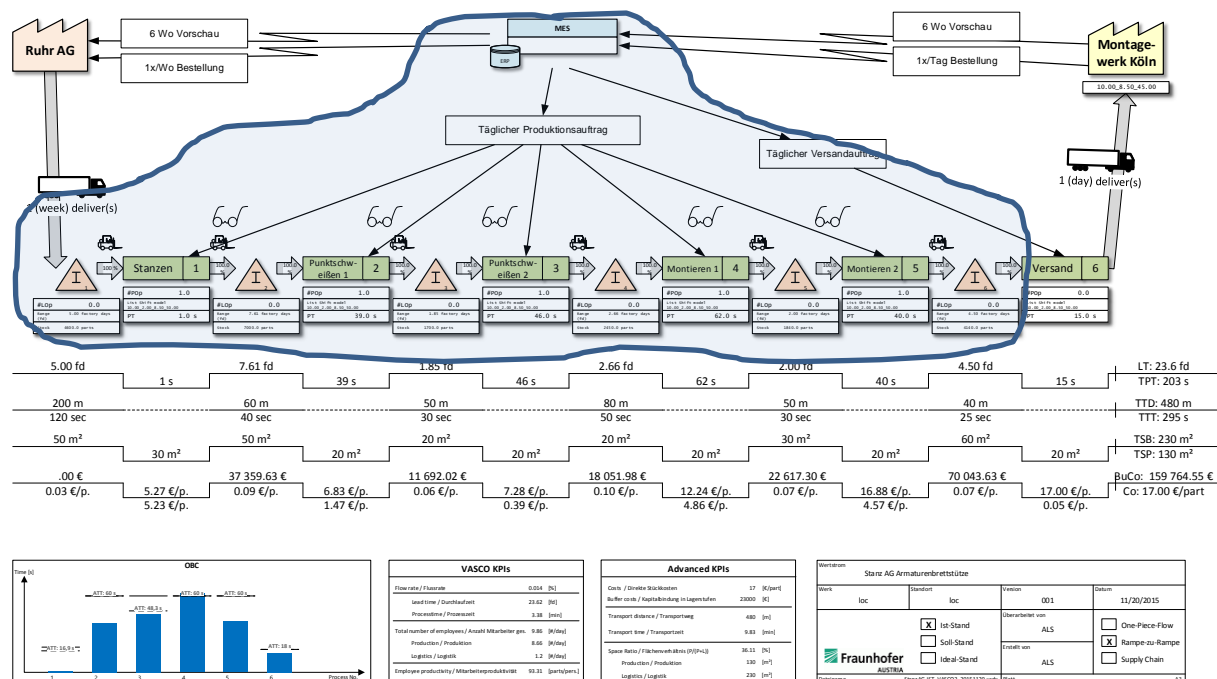


Abbildung 10: Abgrenzung des Untersuchungsbereichs im VSM (eingerahmt)

Für den abgegrenzten Untersuchungsbereich wird nun festgehalten, dass folgende **Charakteristika** auf den betrachteten **Unternehmensverbund** zutreffen:

- Vielzahl ähnlicher Produktionen und somit vergleichbarer Produktfamilien in der variantenreichen Serienfertigung
- Vielzahl ähnlicher Wertströme
- Vielzahl ähnlicher Prozesstechnologien
- Vielzahl ähnlicher interner Transportmittel
- Vielzahl ähnlicher Lagerhaltungssysteme
- Ähnliche Personalstrukturen inkl. Kostensätze
- Weitgehend stabile und streuungsarme Abläufe (Routing) und Prozesse in der Produktion
- Lean-Praktiken sind in der betrachteten Unternehmensform standardisiert (Anm. Unternehmen in der Automobil-Zulieferindustrie)
- Dezentrale Planung und Umsetzung von Verbesserungen an Wertströmen
- Die vorherrschende Produktvielfalt und die dadurch bedingte Komplexität werden als nicht beeinflussbar angenommen
- Stark gerichteter Materialfluss in Flussanordnung der Prozesse und Lagerstufen

Die Charakteristika des Unternehmensverbunds entsprechen auch den Anforderungen an das Vorgehensmodell sowie der prototypischen Implementierung in ein IT Artefakt (konkret VSM Expert). Es wird in weiterer Folge stets darauf Rücksicht genommen.

Folgend der Klassifizierung von Wertströmen nach CHRISTOPHER et al. ist die vorliegende Dissertation für Wertströme der Automobilzulieferindustrie gültig und unterliegt den Eigenschaften: (a) mittlerer Produktlebenszyklus; (b) kurzes Zeitfenster für Auslieferung; (c) hohes Volumen; (d) mittlere Variantenvielfalt; (e) mittlere Volatilität des Kundenbedarfs (vgl. Christopher et al., 2009). Mögliche Problemstellungen wie Instabilitäten im Prozessablauf und sich ständig ändernde Materialflüsse treten nicht auf (vgl. Forno et al., 2014). Im abgegrenzten Untersuchungsbereich soll nun die Handlungskompetenz der Wertstromplaner beim Design von verbesserten Zielzuständen durch IT-gestützte Ansätze verbessert werden. Deshalb soll der State of the Art für Ansätze im Bereich der IT-gestützten Verbesserung von Produktionssystemen im Allgemeinen und von Wertströmen im Besonderen erarbeitet werden. Diese Ansätze sollen im zu erschaffenden Vorgehensmodell und in der prototypischen Umsetzung in ein IT Artefakt berücksichtigt werden. Nach Darlegung der Eignung für den vorliegenden Fall soll der Ansatz darüber hinaus auch für ähnliche Anwendungsbereiche einsetzbar sein.

Durch den vorgestellten Ansatz wird das Design von Zielzuständen im VSM unterstützt. Ebenso wird auf Best Practice-Transfers bei der Umsetzung eines Zielzustands hingewiesen. Die tatsächliche Umsetzung der zu tätigen Maßnahmen in der Praxis bleibt somit Gegenstand weiterer Forschungsarbeiten, bspw. durch Bezugssysteme wie sie in der Fachliteratur bei der Einführung des Lean Managements zu finden sind (vgl. Van Aken et al., 2010; Karim and Arif- Uz- Zaman, 2013; Vamsi Krishna Jasti and Sharma, 2014).

3 Stand der Forschung für das Wertstrom-Design

Der State of the Art lösungsrelevanter Ansätze richtet sich grob nach der Klassifizierung von MUTHIAH und HUANG, die vier Kategorien der Produktivitätsmessung und -steigerung definiert haben: (1) Operations Research- (OR) und Regelungstheorie-basierende Methoden; (2) Systemanalyse- und somit IS-basierende Methoden; (3) Methoden der kontinuierlichen (Produktivitäts-)Verbesserung, welche meist empirischer Natur sind und sich in der Praxis bewährt haben; und (4) Kennzahlen-basierte Methoden auf Produktionssystem- als auch auf Subsystem-Ebene (vgl. Muthiah and Huang, 2006). Diese Kategorisierung ist für die vorliegende Arbeit jedoch nur bedingt geeignet und wird dementsprechend für das Planen und Gestalten von produktiven, industriellen Wertströmen wie folgt abgeändert¹⁶ (Abbildung 11).



Abbildung 11: Methoden und Ansätze zur Produktivitätsmessung und -steigerung in Produktionssystemen

Eine weitere Klassifizierungsmöglichkeit für Design-Ansätze im VSM kann SERRANO et al. entnommen werden, die sich in abgeänderter Form in der gewählten Darstellung wiederfindet (vgl. Serrano et al., 2008).

¹⁶ Die wesentlichen Inhalte und Unterscheidungen von MUTHIAH und HUANG bleiben bestehen.

3.1 Empirische Methoden und Ansätze

MUTHIAH und HUANG verstehen unter empirischen Methoden und Ansätzen vor allem jene mit dem Charakter einer kontinuierlichen Verbesserung, die sich aus der täglichen, praktischen Verbesserungsarbeit an einem Produktionssystem, Arbeitssystem oder Wertstrom ableiten (vgl. Muthiah and Huang, 2006). Sie leiten die Ergebnisse aus einer Umfrage in der produzierenden Industrie ab, wobei die Ergebnisse folgende Kernaussage beinhalten: Keine Methode bzw. kein Ansatz für Verbesserungen kann als der beste angesehen werden, jedoch erzielten Best performer-Unternehmen mit unterschiedlichen Ansätzen über einen Dreijahreszeitraum beste Ergebnisse hinsichtlich Reduktion von Bearbeitungszeiten, Durchlaufzeiten und Herstellungskosten sowie Erhöhung der Lagerdrehung (vgl. Taninecz, 2004a, 2004b). Es werden folgende Methoden und Ansätze angeführt, die entweder primär oder ergänzend in den an der Umfrage teilnehmenden 884 Unternehmen angewendet wurden:

- Toyota production system (TPS)
- Lean Manufacturing
- Agile Manufacturing
- Six Sigma
- Lean und Six Sigma
- Theory of constraints (TOCs)
- TQM (als Folgerung von JIT (vgl. Hopp and Spearman, 2011))

Diese und andere Methoden und Ansätze sowie deren Klassifizierungen (vgl. Wan and Chen, 2009; Melton, 2005; Pavnaskar et al., 2003) wurden im Allgemeinen im Operations Management und im Speziellen im Produktions- und Qualitätsmanagement erarbeitet. Sie liefern für die handelnden Personen (z.B. dem Wertstromplaner) Praxisleitfäden und/oder konkrete Handlungsanweisungen für zielgerichtete Verbesserungsaktivitäten. Die folgenden Abbildungen verdeutlichen die verfügbare Vielfalt je nach Problemstellung bzw. PEP-Phase.

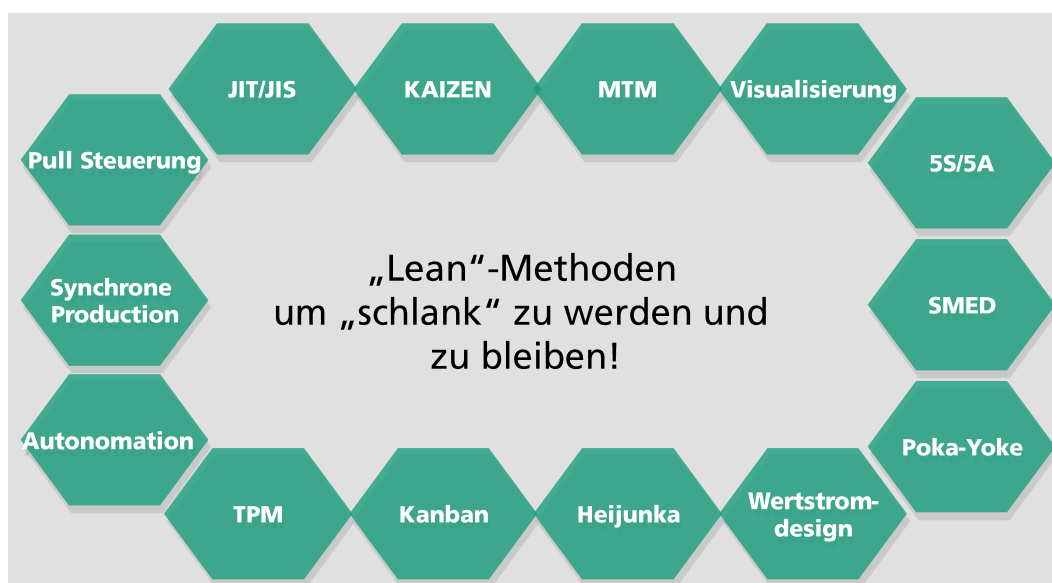


Abbildung 12: Klassische empirische Ansätze und Methoden aus dem Lean Management (Sihn et al., 2016)

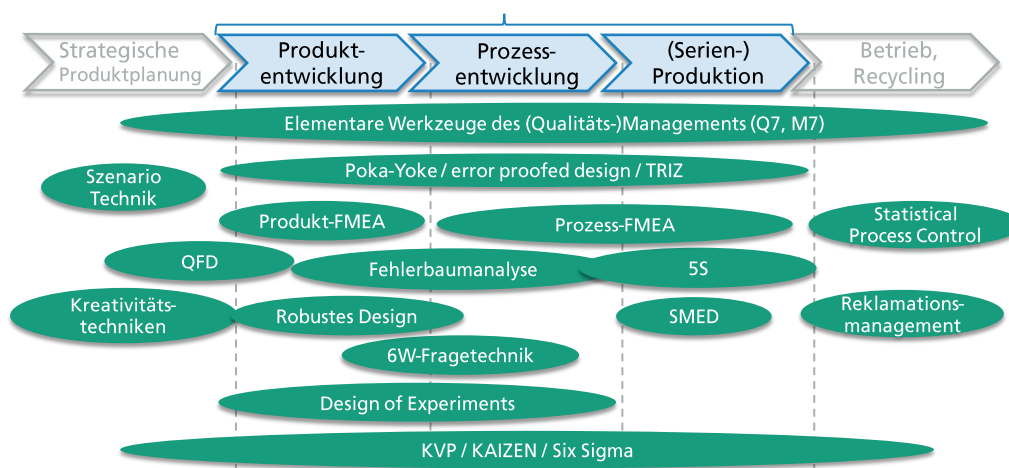


Abbildung 13: Klassische empirische Methoden und Tools aus dem Qualitätsmanagement (Sihn et al., 2016)

Eine Überschneidung der drei Auflistungen ist gegeben und trotzdem nicht erschöpfend. Die relevanten empirischen Methoden und Ansätze zu Design, Gestaltung und Betreiben von produktiven, industriellen Wertströmen werden nachfolgend beschrieben.

3.1.1 VSM im Lean Manufacturing bzw. Lean Management

Lean Manufacturing¹⁷ ist ein operativer Ansatz, in dem Verschwendungen aller Art eliminiert werden müssen, um auf kurzfristige, unvorhersehbare Änderungen reagieren und so die Bedürfnisse des Kunden erfüllen zu können. Oberstes Ziel dabei ist die Steigerung der Produktivität bei gleichzeitig steigender Qualität der Produkte (vgl. Sihn et al., 2016). Dieses Ziel wird primär durch die Eliminierung von jeglicher Verschwendung in allen Bereichen der Wertschöpfungskette (d.h. im Wertstrom) erzielt. Unter Verschwendung (= Muda) werden jene Aktivitäten bezeichnet, die dem Kunden keinen Mehrwert bringen (vgl. Ōno, 1988). Der Begriff Lean Management (vgl. Melton, 2005) wird in der Literatur aufgrund der vielen unterschiedlichen Betrachtungsweisen, Ansatzpunkte und methodischen Vorgehensweisen unterschiedlich betrachtet, sodass kein einheitliches Verständnis über eine bestmögliche Einführung existiert (vgl. Bhamu and Singh Sangwan, 2014). Die Kernelemente aus dem Lean Management begründen sich jedoch allesamt auf dem JIT-Gedanken (engl. „Just-in-Time“ (vgl. Hopp and Spearman, 2011, p. 155ff)) und ergeben die fünf Prinzipien „Wert“, „Wertstrom“, „Fluss“, „Pull“ und „Perfektion“ von WOMACK und JONES (vgl. Womack and Jones, 2003; Sihn et al., 2016, p. 163ff). Durch konsequente Anwendung von Lean-Prinzipien können jährliche Produktivitätssteigerungen von mehr als 10% erzielt werden (vgl. Taninecz, 2004a).

¹⁷ In den frühen 1990er Jahren erschütterten WOMACK und JONES (und ROSS) mit ihrem Buch „The Machine That Changed The World“ die gesamte produzierende Industrie. Sie veröffentlichten eine umfassende Benchmark-Studie, in welcher drei namhafte Automobilkonzerne anhand ihrer Zulieferwelt, den zugrundeliegenden Produktionssystemen, den Lieferantenplattformen, der Zulieferkette, der Fertigungstiefen und der Produktivität, analysiert wurden. In einer ersten Reaktion wurde aus dem Toyota Produktionssystem, dem „Sieger“ dieser Studie, die Philosophie Lean Production für ein größeres Publikum abgeleitet. Der Begriff „Lean“ wurde erstmals von KRAFCIK 1988 publiziert. Interessant ist dabei die Tatsache, dass davor zwischen „fragilen“ und „robusten“ Produktionssystemen (PS) unterschieden wurde, wobei robuste PS die traditionellen westlichen PS repräsentierten und fragile PS dem Toyota Produktionssystem (TPS) entsprachen. Und da fragil eher negativ wahrgenommen wird, wurde aus (Anm.: engl.) „fragile“ also „lean“ (deutsch: schlank).

Vor allem durch die Betrachtung von OEE-Kennzahlen in der Anwendung von Lean Design-Prinzipien wie TPM wird die Produktivitätssteigerung unterstützt, da Defizite und Schwachstellen in der Produktion detailliert erfasst und bewertet werden können (vgl. Gupta and Vardhan, 2016).

In der Fachliteratur wurden Arbeiten über den praktischen Einsatz von VSM veröffentlicht, welche bei der Erarbeitung von Zielzuständen bzw. Future State Maps (FSMs) stets auf die Vermeidung von Verschwendung hinweisen. Ein Auszug aus der qualitativen Literaturrecherche wird hier angeführt und ist im Anhang mit Bezug zu „Use Cases“ ausführlich dargelegt (vgl. Taj and Berro, 2006; Onori and Lee-Mortimer, 2006; Serrano et al., 2008; Dotoli et al., 2011; Franchetti and Yanik, 2011; Tanco et al., 2013; Samat et al., 2013; Matt, 2014; Vamsi Krishna Jasti and Sharma, 2014; Parthanadee and Buddhakulsomsiri, 2014; Faulkner and Badurdeen, 2014; Brown et al., 2014). Die Vermeidung von Verschwendung ist somit ein wesentlicher Bestandteil jedes Strebens nach Verbesserung von Produktionssystemen im Allgemeinen und von Wertströmen im Speziellen.

Agile Manufacturing ist ein strategischer Ansatz, der die Bedürfnisse des Kunden (billiger, schneller, variantenreicher, innovativer, bessere Qualität etc.) auf Management-Ebene berücksichtigt und mit einbezieht (vgl. Kidd, 1994; Plonka, 1997). Es ist eine Ergänzung zum Lean Manufacturing unter Einbeziehung anderer Bereichen auf strategischer Ebene und somit für die vorliegende Arbeit nicht relevant.

3.1.2 Wertstrommanagement als eigenständiges Verfahren

Wertstrommanagement bestehend aus Wertstromanalyse und -design (engl. „Value Stream Mapping“) wurde ursprünglich als Tool bzw. Verfahren innerhalb des Toyota Produktionssystems entwickelt (vgl. Ōno, 1988; Liker, 2014). Die Ingenieure bei Toyota skizzierten in der Nachkriegszeit ihre Wertströme mit Bleistift und Papier mit einfachen Symbolen (vgl. Holweg, 2007). Das Vorgehen der visuellen Darstellung als „Diagramm über den Material- und Informationsfluss“ wurde jedoch nie als eigenständige Methodik bezeichnet, sondern nur als Mittel zum Zweck angesehen. VSM ist somit eine einfach zu verstehende und anzuwendende, jedoch sehr effektive Vorgehensweise (vgl. Serrano et al., 2008), um einen Überblick über den Zustand der Wertströme innerhalb eines Produktionssystems zu gewinnen. Davon ausgehend wurden Verbesserungspotentiale abgeleitet und umgesetzt (vgl. Sihm et al., 2016). Zur Modellierung von Wertströmen werden heute einfache, standardisierte Symbole verwendet, die in ihrer Gesamtheit die Wertstrom-Prozesssprache bilden (vgl. Bokranz and Landau, 2012, p. 326f). Diese Darstellungsform hat sich gegenüber anderen Konzepten bzw. Tools im VSM (vgl. Hines and Rich, 1997) durchgesetzt.

Erst durch die Veröffentlichung „Sehen lernen“ (engl. „Learning to see“) von ROTHER und SHOOK im Jahr 1998 wurde aus diesem Vorgehen, das die Mitarbeiter von Toyota verinnerlicht hatten, eine eigene Methodik und konnte so erst den weltweiten Durchbruch schaffen (vgl. Holweg, 2007). Die in „Sehen lernen“ angeführten Prinzipien und Tools der Methodik Wertstromdesign stammen aus dem Toyota Produktionssystem (vgl. Rother et al., 2011). Basierend auf der Analyse der momentanen Situation (= Istzustand) werden flussorientierte Zielzustände eines Wertstroms (= Soll-Zustand) geplant und umgesetzt (vgl.

Rother and Shook, 2003; Klevers, 2007; Erlach, 2010). Um mögliche Verbesserungspotentiale zu realisieren, werden beim klassischen bzw. traditionellen Wertstromdesign die Bearbeitungszeiten dem Kundentakt gegenübergestellt und versucht, diese aneinander anzugleichen. Die Summe der Bearbeitungszeiten wird mit der Durchlaufzeit verglichen (Kenngröße: Flussgrad). Je größer die Differenz ist, desto größer ist auch das Verbesserungspotential, welches üblicherweise mittels Reduktion der Bestände umgesetzt wird (vgl. Erlach, 2010). Die Methodik Wertstromdesign wird in folgenden vier Schritten ausgeführt: (1) Auswahl einer Produktfamilie, (2) Wertstromanalyse (Istzustand), (3) Wertstromdesign (Soll-Zustand), und (4) Umsetzung (vgl. Rother et al., 2011; Sihm et al., 2016). In Schritt (3) wird der betrachtete Wertstrom effizient und „am Kunden orientiert“ gestaltet, was dem hier verwendeten Begriff „Design“ entspricht. Kundenorientierung zeigt sich durch die Orientierung am Kundentakt sowie durch Vermeidung von Verschwendung. Nach erfolgreicher Umsetzung der Verbesserungsmaßnahmen hat die Bestimmung des Istzustands erneut zu erfolgen, um darauf aufbauend einen nächsten, verbesserten Ziel- bzw. Sollzustand zu erreichen (vgl. Sunk et al., 2015); siehe Abbildung 14:

- Auswahl einer Produktfamilie
- Wertstromanalyse (Istzustand)
- Wertstromdesign (Soll- bzw. Zielzustand)
- Umsetzungsprojekte

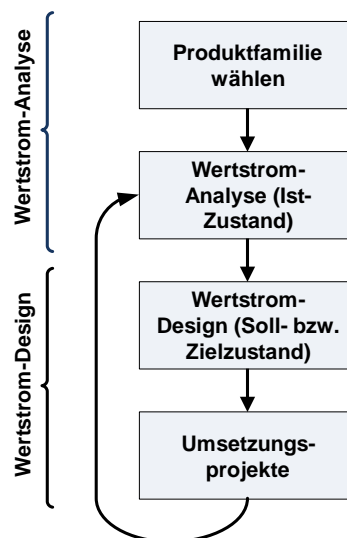


Abbildung 14: Vorgehensweise beim Wertstrommanagement

Für das Planen und Gestalten von verbesserten, kundenorientierten Soll-Zuständen haben ROTHER und SHOOK sieben Leitlinien definiert, die eine strukturierte Vorgehensweise ermöglichen (vgl. Sihm et al., 2016). Diese Leitlinien wurden kontinuierlich überprüft und erweitert, weshalb ERLACH zehn Gestaltungsrichtlinien und deren positive Auswirkungen auf Produktivitätssteigerungen anhand von Projektbeispielen formulierte (vgl. Erlach, 2010).

- Ausrichtung am Kundentakt
- Prozessintegration (vgl. Lee- Mortimer, 2006)
- FIFO-Verkopplung
- Kanban-Regelung

- Schrittmacher-Prozess
- Festlegung der Freigabeeinheit
- Produktionsmix-Ausgleich
- Engpass-Steuerung
- Trennung von Produktionsprozess und Materialfluss
- Flussorientiertes Ideallayout

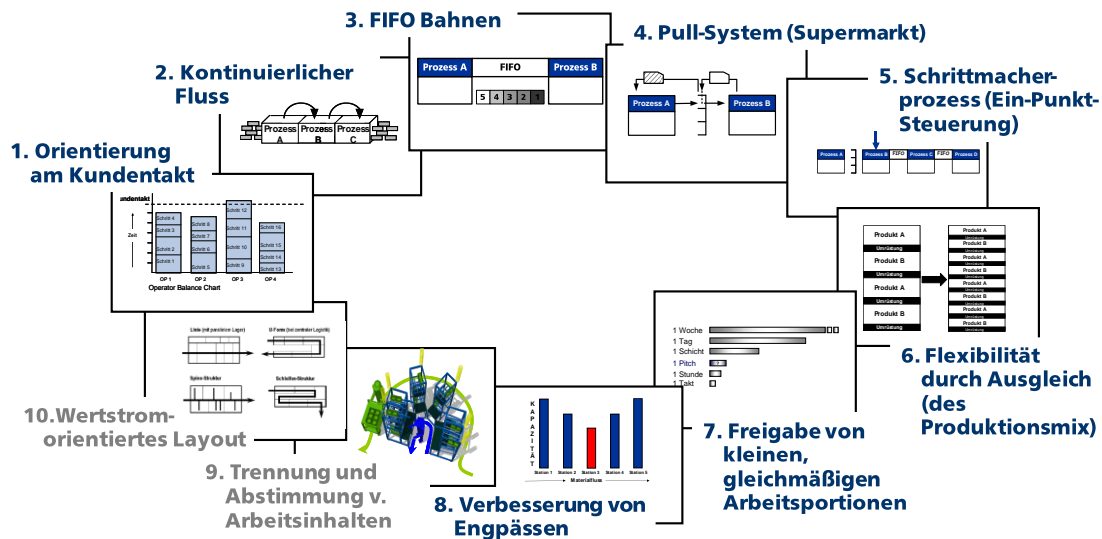


Abbildung 15: Gestaltungsrichtlinien für das Planen und Gestalten von kundenorientierten Soll-Wertströmen (Sihn et al., 2016)

3.1.3 Kontinuierliches Streben nach dem Idealzustand

Das Streben nach dem Idealzustand liegt sämtlichen kontinuierlichen Verbesserungsansätzen zugrunde (vgl. Muthiah and Huang, 2006; Sunk et al., 2015). Der Idealzustand eines Produktionssystems bzw. eines Wertstroms wird dabei durch Charakteristika typisiert, welche den theoretischen, in der Praxis jedoch unrealistischen idealen Zustand, beschreiben (vgl. Hopp and Spearman, 2011; Rother, 2013; Hempten, 2014). Hierbei gibt es unterschiedliche methodische Vorgehensweisen und Ansätze für die praktische Umsetzung, die im Kern – je nach vorliegender Problemstellung – allesamt das Streben nach dem genannten „Idealzustand“ beinhalten. Für diese Arbeit relevante Ansätze sind:

- PDCA (vgl. Suzaki, 1989; Feigenbaum, 1991; Deming, 2000; Kamiske, 2012, p. 130)
- KAIZEN (vgl. Imai, 1986, 1997; Brunner, 2014, p. 11ff)
- Six Sigma und DMAIC (vgl. Juran and De Feo, 2010; Franchetti and Yanik, 2011; Antony, 2011; Wappis, 2012; Wappis and Jung, 2016)
- Scientific Thinking¹⁸ (by Practicing Kata: Verbesserungs-Kata und Coaching-Kata) (vgl. Rother, 2009)
- Spezifizierung von Zielzuständen im KVP (vgl. Hempten, 2014)
- TOCs (Goldratt, 1990); (Goldratt and Cox, 2013)

¹⁸ Unterlagen online: URL: <http://www-personal.umich.edu/~mrother/Homepage.html> (26.05.2016)

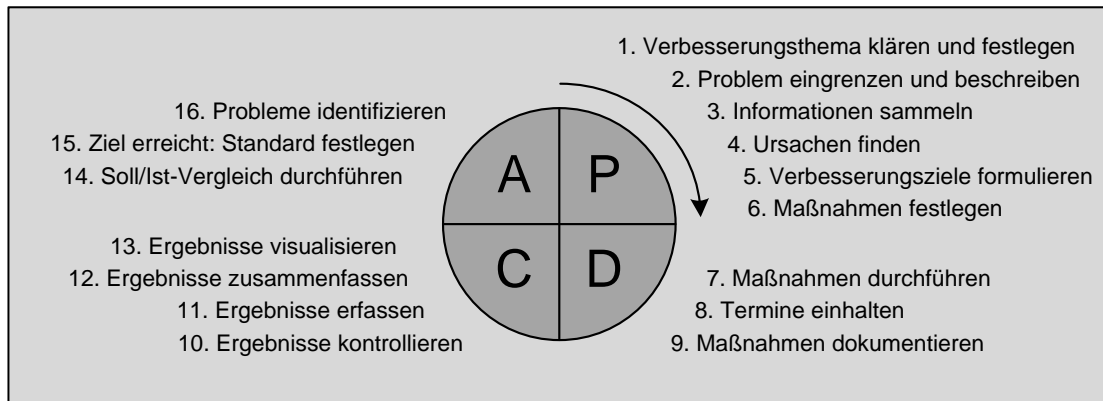


Abbildung 16: PDCA-Zyklus (vgl. Kamiske, 2012)

Den genannten Ansätzen ist gemein, dass diese von einem bekannten, analysierten Istzustand (vgl. VSM Tool in Kapitel 5.1.1) ausgehend Verbesserungsaktivitäten durchführen. HEMPEN beschreibt einen modernen Ansatz für die – in der praktischen Anwendung schwierige – Spezifizierung von Zielzuständen, indem sie Zielzustände durch Parameter weiter konkretisiert. Diese Parameter sind kategorisiert in: (K1) berechnete Kennzahlen, (K2) allgemeine Informationen zum Prozess, (K3) Prozessmuster und -kennzahlen und (K4) Ergebniskennzahlen (vgl. Hempen, 2014). Konkrete Beispiele dieser Parameter in den vier Kategorien sind der Kundentakt als Beispiel für berechnete Kennzahlen, definierte Pufferbestände für allgemeine Informationen zum Prozess, Arbeitsmethode für Prozessmuster und die Grundzeit t_g oder Zeit je Einheit t_e für Prozesskennzahlen sowie die (Mitarbeiter-) Produktivität für Ergebniskennzahlen (vgl. Sunk et al., 2014b).

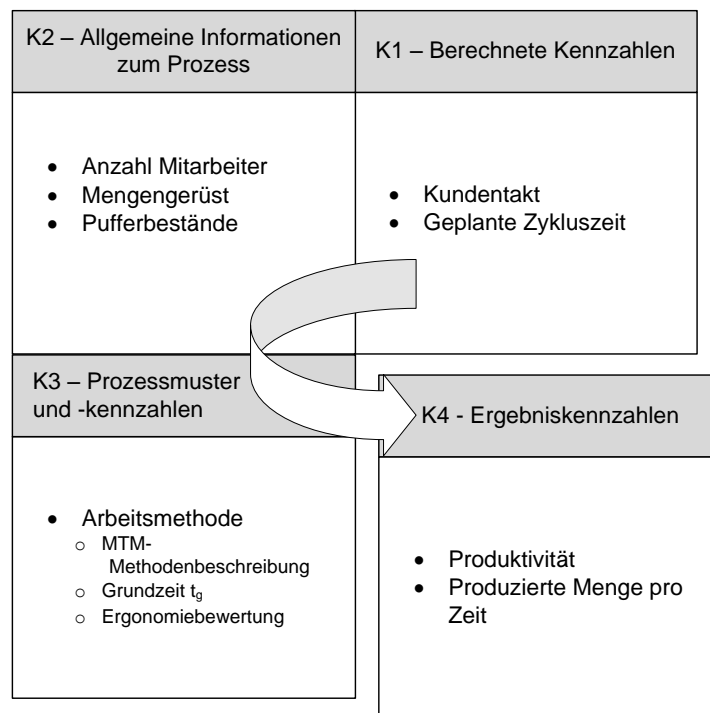


Abbildung 17: Kategorien (K1-K4) von Parametern eines Zielzustands (Sunk et al., 2014b; vgl. Hempen, 2014)

Die Parameter zur Spezifizierung und Definition eines Zielzustands orientieren sich an leistungssteigernden und lernförderlichen Zielsetzungsmerkmalen. Leistungssteigernde Zielsetzungsmerkmale sind bspw. herausfordernd, realistisch und an übergeordneten Zielen orientiert. Lernförderliche Zielsetzungsmerkmale sind bspw. lösungsoffen, eindeutig bewertbar sowie täglich beeinflussbar (vgl. Nonaka, 1988; Locke and Latham, 1990, p. 2; Menzel, 2009, p. 31f; Hempen, 2014, p. 46). Das Anstreben eines definierten Zielzustands bzw. Standards gelingt nach ROTHER durch kontinuierliche (kurzzyklische, inkrementelle) Verbesserungsmaßnahmen, die durch die Verbesserungs- und Coaching-Kata begleitet werden (vgl. Rother, 2009, p. 85ff). Ergänzend hierzu sind die Parameter eines Zielzustands auch durch sprunghafte Verbesserungen (Innovationsschritte) erreichbar (vgl. Imai, 1997, p. 3ff; Kurlang, 2013, p. 42ff). TOIVONEN und SIITONEN präsentieren einen – für VSM neuartigen – Ansatz, um im kontinuierlichen Streben nach dem Idealzustand bekannte Kreativitätstechniken wie bspw. TRIZ zur systematischen Innovation einzusetzen (vgl. Toivonen and Siitonen, 2016).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass allen kontinuierlichen Verbesserungsansätzen derselbe methodische Problemlösungs- bzw. Verbesserungsansatz zugrunde liegt: (1) aktuellen Zustand (Istzustand zum Zeitpunkt t_0) kennen, verstehen und bestimmen (= analysieren); (2) einen anzustrebenden Zielzustand in t_1 in Anlehnung an die Charakteristika des Idealzustands zu definieren und zu spezifizieren; (3) Hindernisse auf dem Weg zum Zielzustand überwinden und Verbesserungsmaßnahmen durchführen (z.B. durch PDCA-Vorgehensweise, Scientific Thinking, KAIZEN bzw. KVP, DMAIC bzw. Six Sigma oder TQM bzw. TPM); (4) erneutes Bestimmen des – jetzt aktuellen – Istzustands in t_1 sowie das Spezifizieren und Definieren des nächsten Zielzustands für den Zeitpunkt t_2 (vgl. Suzaki, 1989; Rother, 2009; Hempen, 2014; Kurlang, 2013; Sunk et al., 2014a); siehe auch: Vorgehensweise beim Wertstrommanagement und Abbildung 18.

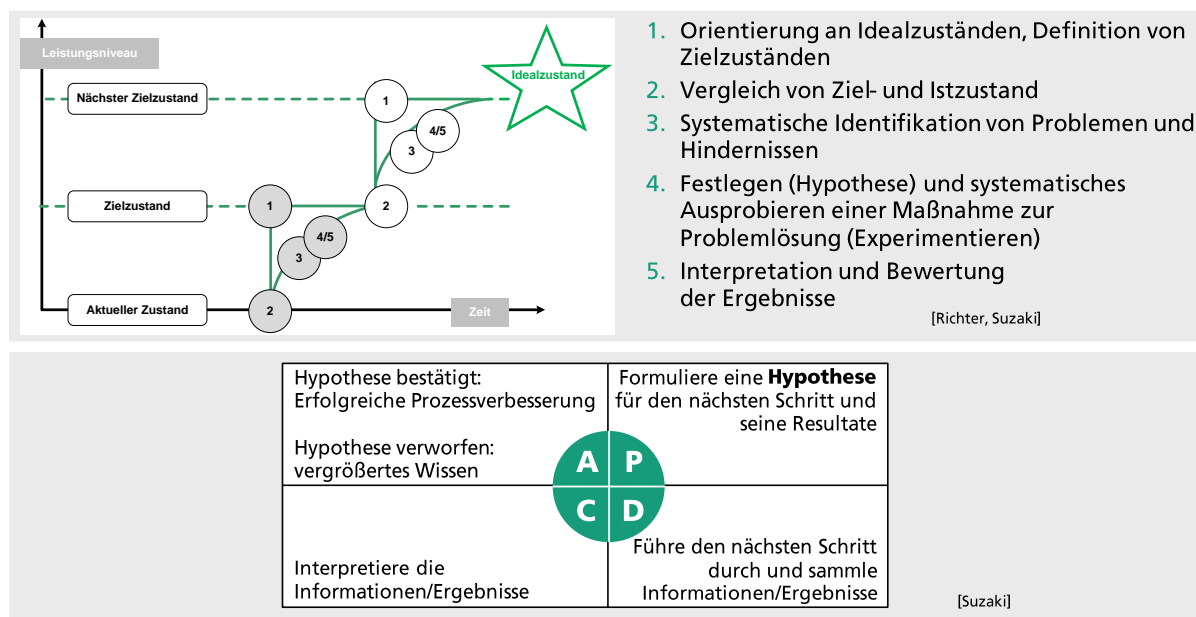


Abbildung 18: Typische Vorgehensweise bei empirischen, kontinuierlichen Verbesserungsansätzen (Kurlang, 2013; vgl. Deuse et al., 2011)

3.2 Ansätze und Methoden der Mathematik und Informationswissenschaften

Rechnergestützte (d.h. IT-gestützte) und mathematische Methoden werden als anerkannte Elemente in Design Science Research angesehen, um die Qualität und Effektivität eines IT Artefakts zu evaluieren (vgl. Hevner et al., 2004). HOPP und SPEARMAN haben grundlegende mathematische Zusammenhänge in Produktionssystemen zusammengetragen und kontinuierlich erweitert (vgl. Hopp and Spearman, 2011). NYHUIS und WIENDAHL betrachten Modellierungsaspekte aus produktionslogistischer Sicht und formulieren „Grundgesetze“ zur Analyse und Bewertung von Produktionssystemen (vgl. Nyhuis and Wiendahl, 2012). Aber auch diese umfangreichen Werke über das Design von Produktionssystemen deckt nicht sämtliche Forschungsergebnisse ab, die im Operations Management – als übergeordnete Fachdisziplin im weitesten Sinne – veröffentlicht wurden. Den Ansätzen und Methoden aus der Mathematik sind jedoch allesamt gemein, dass diese rechnergestützt verarbeitet werden können. Aus diesem Grund werden Methoden und Ansätze der Mathematik sowie Informationswissenschaften gemeinsam behandelt. Ein für diese Arbeit relevanter Auszug sei nachfolgend angeführt, wobei Design-Ansätze im VSM den hier genannten vier Aspekten zugeordnet werden:

- Design-Ansätze unter finanziellen Aspekten
- Design-Ansätze unter Kapazitätsaspekten
- Design-Ansätze und Steuerungsaspekte zur Bestands- und somit Durchlaufzeitreduktion
- Design-Ansätze mittels Simulationsstudien

Alle diese genannten Aspekte können mit auftretender Variabilität in Produktionssystemen umgehen und verbessern dabei oben angeführte Zielgrößen. Nach HOPP und SPEARMAN gibt es drei Möglichkeiten, wie man Variabilitäten bzw. Schwankungen, wie bspw. im Kundenbedarf, begegnen kann: (I) Bestand, (II) Kapazität, (III) Zeit, wobei in der Praxis meist eine Kombination der ersten beiden Möglichkeiten sinnvoll ist und angewendet wird (vgl. Hopp and Spearman, 2011, p. 309). Dieses Spannungsfeld wird in den nächsten Sub-Kapiteln erörtert.

3.2.1 Design-Ansätze unter finanziellen Aspekten

SULLIVAN et al. beschreiben in ihrem Ansatz eine Vorgehensweise, um ausgehend von einem Istzustand nach traditioneller „batch-and-queue“-Produktion (d.h. Verwendung teurer und leistungsfähiger Maschinen sowie hohe Losgrößen, um Skaleneffekte bzgl. Herstellkosten zu erschließen; was jedoch zu großen Beständen in Form von Warteschlangen zwischen Prozessen führt) eine schlanke Produktion zu implementieren, wobei besonderes Augenmerk auf Austausch-Entscheidungen hin zu wandlungsfähigen Anlagen gelegt wird. Dies erfolgt nach Anwendung der Gestaltungsrichtlinien zur Vermeidung sämtlicher Verschwendungen im Istzustand. Für die Entscheidung wird die Kenngröße „Barwert“ mit internem Zinssatz des „Freien Cashflow“ (bzw. engl. „Cash flow after taxes“ (CFAT)) herangezogen (vgl. Sullivan et al., 2002).

GALLEAR et al. haben unterschiedliche, analysierte Wertströme von realen Unternehmen auf Supply Chain Ebene mittels DEA (engl. „Data envelope analysis“) hinsichtlich Effizienz miteinander verglichen. Dabei konnten bei Wertströmen mit geringer Effizienz Handlungsfelder für Verbesserungen abgeleitet werden. Außerdem wurde ein Diagnose-Referenzmodell dargelegt (vgl. Gallear et al., 2014).

AGYAPONG-KODUA et al. präsentieren ein mehrstufiges Vorgehen zur IT-gestützten, dynamischen Kostenbewertung von Wertströmen mit speziellem Fokus auf Mehrfachnutzung von Ressourcen in unterschiedlichen Wertströmen. Dieses Vorgehen umfasst grob drei Schritte: (I) traditionelle VSM-Visualisierung und -Bewertung, (II) statische Kostenbewertung und (III) dynamische Kostenbewertung des Wertstroms für stochastisch verteilte Wertstrom-Parameter unter Anwendung einer Standardsoftware für diskrete oder kontinuierliche Simulation (vgl. Agyapong-Kodua et al., 2012).

3.2.2 Design-Ansätze unter Kapazitätsaspekten

In der Literatur sind Design-Ansätze (a) hinsichtlich Maschinenkapazität oder (b) hinsichtlich „Dual-Resource“ bestehend aus den Kapazitäten Mensch und Maschine zu finden. Sämtlichen Ansätzen ist gemein, dass diese gegen finite Ressourcen planen (vgl. Hopp and Spearman, 2011, p. 527; Xie and Peng, 2012). MUTHIAH und HUANG zeigen auf, dass den Ansätzen zur Ermittlung von Engpässen und versteckten Kapazitäten Kennzahlen fehlen, um diese zu identifizieren und zu bewerten (vgl. Muthiah and Huang, 2006).

ERLACH gibt deshalb eine Formel zur Bestimmung des Auslastungsgrads in einem Wertstrom an, die vorhandene Zeitreserven im Vergleich zum Kundentakt quantitativ darlegt (vgl. Erlach, 2010, p. 110). Falls jedoch die lokale Zykluszeit eines Prozesses über dem Kundentakt liegt, wird diese Kenngröße ad absurdum geführt (vgl. Kapitel 4.4.2). Bei der praktischen Anwendung ist dies somit als Limitation zu sehen. Zur visuellen Darstellung der Zykluszeiten im Wertstrom im Vergleich zum berechneten Kundentakt wird das Taktabstimmungsdiagramm (engl. „Operator balance chart“ (OBC)) herangezogen (vgl. Rother et al., 2011) – siehe Kapitel 2.3. Darin ist ersichtlich, wie sich die Zykluszeiten je Prozess im Wertstrom gegenüber der netto verfügbaren Arbeitszeit je Prozess – dem Kundentakt – verhalten. Abweichungen davon können entweder als (a) Kapazitätsreserve bei Losgrößenfertigung oder (b) Verschwendung in der kontinuierlichen Ein-Stück-Fluss-Fertigung angesehen werden (vgl. Rother, 2013; Sihn et al., 2016, p. 182ff). Zur Berechnung der erforderlichen Anzahl an Ressourcen bieten (a) ERLACH unter Berücksichtigung der gängigen Verlustarten (vgl. Erlach, 2010, p. 144) unabhängig von der Ressourcenart; sowie (b) HOPP und SPEARMAN für Werker mit gleicher geforderter Qualifikation (z.B. Cross-training) (vgl. Hopp and Spearman, 2011, p. 254f) geeignete Ansätze hierfür.

ATIEH et al. haben eine Vorgehensweise zur Identifizierung und Beseitigung von Engpässen im Wertstrom mittels DES-Simulationsstudien entwickelt. Drei Methoden zur Identifizierung des Bottlenecks werden vorgestellt: (a) Auslastungs-Methode, (b) Wartezeit-Methode und (c) Szenario-Methode. Basierend auf der erhobenen CSM (Istzustand) des Wertstroms. Als ergänzende Methode wurden statische Berechnungen (vgl. VSM Tool in Kapitel 5.1.1) der Prozesszeiten bezogen auf den Kundentakt durchgeführt, um diese mit den Zykluszeiten der

Prozesse im Wertstrom zu vergleichen (vgl. Balancing-Factor in Kapitel 4.2.2). Die Vorgehensweise zur Beseitigung bzw. Reduktion des Bottlenecks ist als Prozessmodell mit mehrfachen Schleifen und Entscheidungen dargestellt (vgl. Atieh et al., 2015). GUPTA und VARDHAN haben OEE-Bewertung in Kombination mit TPM-Initiativen als Design-Ansatz zur Erhöhung der verfügbaren Kapazität spezifiziert, wobei der Zielzustand ausgehend von einem analysierten Istzustand ohne zusätzliche Investments erreicht wurden. Die Produktivitätssteigerungen konnten den Absatz des betrachteten Unternehmens im Use Case stark erhöhen, was in einer Erhöhung der Profitabilität resultierte (vgl. Gupta and Vardhan, 2016). Relevant für diese Arbeit sind die verwendeten Kennzahlen in der Analyse sowie die anschließende Vorgehensweise bei der praktischen Umsetzung.

3.2.3 Design-Ansätze und Steuerungsaspekte zur Bestands- und somit Durchlaufzeitreduktion

Primäres Ziel nachfolgender Ansätze und Vorgehensweisen ist die Reduktion der Durchlaufzeit in Produktionssystemen bzw. Wertströmen durch geeignete Algorithmen oder Heuristiken zur Reihenfolgebildung freigegebener bzw. freizugebender Aufträge.

In verketteten Produktionsprozessen eignet sich grundsätzlich der CONWIP-Ansatz (engl. „Constant work-in-progress“) zur Steuerung des Bestands. Mit CONWIP wird das Ziel verfolgt, dass zu jedem Zeitpunkt immer gleich viel Auftragsmenge im Wertstrom in Bearbeitung ist oder vor/nach der Bearbeitung wartet. Die Umsetzung erfolgt bspw. mit CONWIP-Karten und/oder CONWIP-Schleifen. Ebenso werden Prioritätslisten nach definierten Regeln wie bspw. dem Standard-Prinzip „Earliest due date“ (EDD) oder „Earliest start date“ (ESD) erstellt und kontinuierlich abgearbeitet (vgl. Hopp and Spearman, 2011, pp. 491, 495). Hierfür wird bei einem spezifischen Prozess (Anm.: Engpass oder Schrittmacher) eine Freigabeliste angelegt, in der MTS- und MTO-Aufträge (engl. „Make-to-stock“ und „Make-to-order“, also kundenanonyme Lagerfertigung und kundenspezifische Auftragsfertigung) warten (vgl. Hopp and Spearman, 2011, p. 364f, 488ff, 500f).

Die einfachste Möglichkeit zur JIT-Anlieferung innerhalb eines Wertstroms erfolgt mittels Pull-System(en), die bspw. durch die Kanban-Systematik umgesetzt werden (vgl. Lödging, 2008, p. 177ff). Diese ist im Gegensatz zum flussbezogenen CONWIP-Ansatz produktbezogen (vgl. Hopp and Spearman, 2011, p. 489). Als Maß der Freigabe am Schrittmacher-Prozess dient die Engpassrate (vgl. Hopp and Spearman, 2011, p. 321), die in weiterer Folge in Dimensionierungen des WIP einer FIFO-Bahn resultieren (vgl. Erlach, 2010, p. 378). Aufgrund der Variabilität der Zykluszeiten der Prozesse ist es zudem oft erforderlich, die Bestandsreichweiten mithilfe logistischer Kennlinien (i.e. „Produktionskennlinien“) auszulegen. So ist es bspw. erforderlich, aufgrund der gewünschten hohen Systemauslastung einen bestimmten Pufferbestand zu halten (vgl. Nyhuis and Wiendahl, 2012, p. 141).

GUDEHUS befasst sich intensiv mit dem Thema der dynamischen Disposition, welche Hilfestellungen zur Dimensionierung von (Sicherheits-) Beständen in Produktionssystemen bzw. vor/zwischen Prozessen gibt, z.B. Kanban-Supermarkt. Diese Bestände sind abhängig von Erwartungswerten sowie von stochastischen Verteilungen der Wiederbeschaffungszeiten, der Produktions- bzw. Bestelllosgrößen und der stochastischen Verbräuche unter

Berücksichtigung einer geforderten Lieferfähigkeit bzw. eines Lieferservicegrades. Oberstes Ziel dabei ist es, die (Sicherheits-) Bestände gegenüber der konventionellen Methode des Aufbaus von Puffern – als Bestand in Lagerstufen – zu senken (vgl. Gudehus, 2012).

Freigabelisten sind heutzutage in ERP- oder MES-Systemen abgebildet und bestimmen die Reihenfolge der Bearbeitung (vgl. Kletti, 2007, p. 16, 32, 148f). HOPP und SPEARMAN halten fest, dass heutige ERP-Module zwar versuchen JIT-Verfahren umzusetzen, jedoch gängige Lean-Praktiken wie CIP, Eliminierung von Verschwendung und Visualisierung nicht unterstützen (vgl. Hopp and Spearman, 2011, p. 171).

Deshalb haben COTTYN et al. Handlungsansätze für MES-Systeme erarbeitet, um Lean-Praktiken wie CIP an Wertströmen zu unterstützen. Dabei wird auf den DMAIC-Zyklus von Six Sigma hingewiesen, wobei MES-Systeme in den Phasen „Define“, „Measure“ und „Control“ eingesetzt werden können. In den anderen Phasen sind zusätzliche Analyse-Tools („Analyze“) und das Verbesserungswissen der Mitarbeiter erforderlich, um Maßnahmen zu erarbeiten und umzusetzen („Improve“). Ein Dashboard mit den erarbeiteten Kennzahlen für die Wertstromplaner wird ebenso wie die Echtzeit-Datenmessung an Prozessen gefordert. Folglich kann damit ein verbesserter Zielzustand eines Wertstroms erarbeitet werden (vgl. Cottyn et al., 2011). ROESSLER et al. zeigen dabei auf, in welcher Art und Weise MES-Systeme Unterstützung bei der Datenbeschaffung und -auswertung zur Anwendung der Gestaltungsrichtlinien nach ROTHER und SHOOK bieten können (vgl. Roessler et al., 2015).

AMMAR et al. stellen ein analytisches Modell zur Auftragsfreigabe mittels genetischer Algorithmen (GA) in einem mehrstufigen Produktionssystem mit stochastischen Wiederbeschaffungszeiten vor, das dem Versand als serielle und parallele Prozesse vorgelagert ist. Vorrangiges Ziel der Arbeit war aufgrund der vorhandenen Problemstellung die Auswahl der bestmöglichen, effizientesten Freigabe-Regelung je Prozess aus mehreren GA (Elektromagnetismus-ähnlicher Mechanismus) (vgl. Ammar et al., 2016).

Die Autoren BERTOLINI, BRAGLIA, FROSOLINI, MARANGONI, ROMAGNOLI und ZAMMORI beschäftigen sich intensiv mit OR-Ansätzen in der Planung und Steuerung von Kapazitäten (bspw. KANBAN, Synchro MRP, CONWIP, WLC und POLCA) in Kombination mit Value Stream Mapping – vor allem auch für den Prozesstyp 3 der Einzel- und Kleinserienfertigung (vgl. Bertolini et al., 2013; Marangoni et al., 2013). Darüber hinaus tragen sie zur Bewertung der Variabilität in Produktionsdaten und deren Umgang (vgl. Braglia et al., 2009) sowie dem Umgang mit OR-Ansätzen (analytisch und heuristisch) zur Bestandsführung – bspw. als Konsignationslager (vgl. Braglia et al., 2013a) bzw. als VMI (engl. „Vendor managed inventory“) (vgl. Zammori et al., 2009) oder als Sicherheitsbeständen (vgl. Braglia et al., 2013b) – bei.

Mit Ansätzen der Graphentheorie können für Wertströme auch kritische Pfade ermittelt werden. Der kritische Pfad repräsentiert die ununterbrochene Folge von kritischen Vorgängen hinsichtlich Restpuffer vom Beginn bis zum Ende eines Wertstroms (vgl. Werners, 2008, p. 194ff, 230ff). Dies ist vor allem in verzweigten Wertströmen bei der Auftragsfreigabe von Bedeutung. TALEGHANI et al. haben für die Planung von Aufträgen in verzweigten, parallelen Wertströmen die PERT-Heuristik angewendet, da die realen Zeitdaten aus der Vergangenheit statistisch verteilt aufgetreten sind, also mit dem statistischen Erwartungswert der Zykluszeit

je Prozess. Dabei wurden zwei bekannte Schwächen des traditionellen VSM adressiert: (a) parallele Abfolge von Prozessschritten ist für die Durchlaufzeitenberechnung relevant, (b) statistische Verteilungen von Bearbeitungs- bzw. Zykluszeiten der variantenreichen Serienfertigung werden berücksichtigt (vgl. Taleghani et al., 2013).

SAMARANAYAKE zeigt auf, dass Stücklisten (engl. „Bill of materials“ (BOM)) mit einer einzigen Hierarchieebene und sequenziellen Abläufen lt. Arbeitsplänen (engl. „Sequential operations routings“) erforderlich sind, um mittels MES-Steuerung im kurzfristigen Zeithorizont die Pufferzeiten und somit die Auftragsdurchlaufzeiten drastisch zu reduzieren. Der Steuerungsansatz erfolgt mit simultaner Vorwärtsterminierung sämtlicher freigegebener Aufträge sowie mit Planung gegen finite Ressourcen (hier: Prozesse) (vgl. Samaranayake, 2013).

BOHNEN et al. wenden Prinzipien und Methoden der Gruppentechnologie zur Produktfamilienbildung an, um für einen Wertstrom der variantenreichen Serienfertigung ein Angleichen des Produktionsmix zur Reihenfolgebildung zu ermöglichen. Zur EFEI-Berechnung (engl. „Every family every interval“; in Anlehnung an die EPEI-Berechnung) wurden Kundenbedarfe aus der Vergangenheit analysiert, um daraus geeignete Produktionslosgrößen je Produktfamilie bzw. Variante abzuleiten (vgl. Bohnen et al., 2013).

Weitere OR-Ansätze betreffend Fertigungssteuerung sind in der Fachliteratur vorzufinden (vgl. Xu et al., 2011; Fera et al., 2013; Fruggiero et al., 2015). Aufgrund des aktuell fehlenden Zusammenhangs zu dieser Arbeit wird jedoch nicht darauf eingegangen.

3.2.4 Design-Ansätze mittels Simulationsstudien

Eine Übersicht und Bewertung der am Markt vorhandenen Simulationssoftware bieten AGYAPONG-KODUA et al., wobei vor allem auf Unzulänglichkeiten bei der Bewertung von geteilten Ressourcen über mehrere Wertströme hinweg eingegangen wird (vgl. Agyapong-Kodua et al., 2012). Bei der Bewertung von Verbesserungsmaßnahmen mittels Lean-Methoden in der Praxis weisen STANDRIDGE und MARVEL auf notwendige Daten und Kenntnis über deren statistisches Verhalten hin, da diese den erhofften positiven Effekt maßgeblich beeinflussen. So werden explizit *„zufällige und strukturelle Variabilität“*, *„natürliches Verhalten“* in Form von statistischen Verteilungen und *„Wechselwirkungen zwischen Systemkomponenten“* genannt, um vorherrschende Systeme realitätsgetreu beschreiben zu können. Hierfür werden Vergangenheitsdaten ausgewertet um daraus statistisches Verhalten ableiten zu können. Verschiedene Soll-Zustände sollen entworfen, simuliert, bewertet und gegenübergestellt werden. Außerdem wird festgehalten, dass die Wertstrom-Visualisierungen (engl. „Value stream maps“) nur beschreibend sind und deshalb Verbesserungen nicht ausreichend quantifizierbar gemacht werden können (vgl. Standridge and Marvel, 2006).

Grundlage für diese praxisorientierten Veröffentlichungen war, dass die klassische, statische VSM-Vorgehensweise mit Betrachtung eines beliebigen Zeitpunkts, das reale Verhalten des Wertstroms nicht ausreichend darstellt (vgl. McDonald et al., 2002; Sullivan et al., 2002). LIAN und VAN LANDEGHEM verglichen mittels Simulationsstudien Push- und Pull-gesteuerte Wertströme mit der zusätzlichen Anwendung der Design-Richtlinien von ROTHER und

SHOOK (CSM: Push; FSM: Pull). Nach Durchführung von Simulationsstudien wurden statistische Tests (p -value und Null-Hypothese) durchgeführt, um statistische Signifikanz der verbesserten Veränderungen nachzuweisen. Besonders hervorzuheben ist die vorgestellte Vorgehensweise, damit Vertrauen in die Simulationsergebnisse für die praktische Umsetzung geschaffen wird (vgl. Lian and Van Landeghem, 2002).

ABDULMALEK und RAJGOPAL haben eine praxisorientierte Vorgehensweise veröffentlicht, wie man VSM und Simulation miteinander in Verbindung bringen kann, um die Einführung von Lean Management in einem Unternehmen quantitativ bewerten zu können. Der Ansatz wurde für die Prozessindustrie entwickelt und anhand eines Praxisbeispiels demonstriert. Die Kennzahlen wie bspw. Kundentakt werden dabei in die bekannte Stückgut-Betrachtungsweise überführt. Nach umfassender Datenerhebung im Zuge der Wertstromanalyse wurden die bekannten Gestaltungsrichtlinien angewendet, um einen verbesserten Soll-Zustand zu definieren (vgl. Forno et al., 2014). So werden bspw. mittels der Anzahl an Kanban je Variante in den Supermärkten der Bestand (engl. „Work-in-progress“ (WIP)) und somit die Durchlaufzeit begrenzt; oder aus Erfahrungswerten aus der Literatur TPM- (engl. „Total productive maintenance“) und SMED-Potentiale (engl. „Single minute exchange of die“) abgeschätzt. Die Daten des Istzustands wurden in eine Simulationsstudie überführt und realitätstreu abgebildet. Anschließende Simulationsstudien mit unterschiedlichen Eingangsparametern haben die positiven Auswirkungen der Verbesserungsmaßnahmen auf die Wertstrom-KPIs belegt. Besonderes Augenmerk soll den Autoren zufolge auf den realitätsgetreuen Materialfluss gelegt werden (vgl. Abdulmalek and Rajgopal, 2007).

SOLDING und GULLANDER wiederum haben ein Simulationskonzept entwickelt, das VSM und diskrete Simulation (engl. „Discrete event simulation“ (DES)) am Beispiel der Stückgutfertigung miteinander verbindet. Dabei wurde wiederum davon ausgegangen, dass VSM eine reine „Bleistift und Papier“-Methode ist. Anhand eines Praxisbeispiels wurden die erforderlichen Daten aufgezeigt, die für eine aussagekräftige DES-Studie im VSM erforderlich sind. Die Kernaussage des Beitrags ist, dass verschiedene Szenarien des Soll-Zustands vor der realen Umsetzung bewertbar sind, und man so Erkenntnis über einen spezifischen Wertstrom gewinnen kann (vgl. Solding and Gullander, 2009).

COPPINI et al. haben die VSM und Simulation mit einer spezifischen Simulationssoftware verbunden und anhand eines Praxisbeispiels aufgearbeitet. Mehrere Alternativen des Soll-Zustands wurden dabei erarbeitet, mittels Simulationsstudien bewertet und dann verglichen, um die bestmöglichen Verbesserungsmaßnahmen umsetzen zu können. Anders als SOLDING und GULLANDER wurde als VSM-Software MS Visio statt MS Excel verwendet. Ausgehend vom simulierten Istzustand wurden Verbesserungspotentiale ermittelt, die anhand von Lean-Prinzipien erschlossen werden können und sich somit positiv auf die Ausprägung der Input-Parameter der Simulationsstudie auswirken. Verbesserte Ergebnisse konnten so bzgl. Durchlaufzeit, Produktivität, Losgrößen, Pull-Steuerung und Ressourcenauslastungen quantifizierbar gemacht werden (vgl. Coppini et al., 2011).

ESFANDYARI et al. haben anhand eines Praxisbeispiels folgende Schlüsse gezogen: (a) Unterschiede in der tatsächlichen Wertschöpfungszeit und in der kumulierten Prozesszeit zwischen VSM und Simulationsstudie treten auf; (b) Schwankungsbreiten der Puffer bzw.

Supermärkte untereinander existieren, welche lt. VSM grundsätzlich aufeinander abgestimmt sein sollten. Es soll hier jedoch festgehalten werden, dass ein schwankender Kundenbedarf in Form eines realen Produktionsprogramms ebenso wie die Betrachtung mehrerer Produktfamilien parallel nicht berücksichtigt wurden (vgl. Esfandyari et al., 2011).

McDONALD et al. haben einen Wertstrom mit sieben Prozessen umfangreich modelliert, die Datenbeschaffung umfassend beschrieben und anhand Simulationsstudien durch Variierung von Bedarf und Kapazität die Verschiebung des Engpasses identifiziert (McDonald et al., 2002). In einer weiterführenden Arbeit wurden mittels Simulationsstudien für unterschiedliche Szenarien des Kundenbedarfs bestmögliche Systemkonfigurationen erarbeitet (vgl. McDonald et al., 2012), wobei der Bezug zu VSM und zu dieser Dissertation nur bedingt gegeben sind.

ROBINSON et al. haben sich erfolgreich damit befasst, die gewonnenen Erkenntnisse aus dem Operations Management in den Bereich des Gesundheitswesens zu transferieren. Ähnlich wie bei Wertströmen wurden Abläufe anhand von Prozessketten modelliert und in eine DES-Studie überführt. Durch Anwendung von Lean Principles zur Vermeidung bzw. zur Eliminierung von Verschwendungsarten in der Produktion (vgl. Ōno, 1988) und im Service (vgl. Bicheno and Holweg, 2009) konnte ein Soll-Zustand erarbeitet werden. Das Simulationsmodell besteht dabei aus den Ressourcen eines Spitals mit den zugehörigen Kapazitäten, Transportstrecken sowie dem „Patientenfluss“. Als Kernergebnis wurde festgehalten, dass die kombinierte Anwendung von Lean und Simulation bessere Ergebnisse liefert als jede der beiden Vorgehensweisen separat angewendet. Darüber hinaus wird die Kommunikation der Ergebnisse an das Management unterstützt (vgl. Robinson et al., 2012).

REMENYI und STAUDACHER haben ein Simulationsmodell eines Wertstroms zur Wartung von Flugzeugantrieben erstellt, in dem sie Experimente für unterschiedliche Steuerungsregeln (FIFO, ESD, EDD, Slack-time; zentral oder dezentral gesteuert) durchgeführt haben. Im Zuge dessen haben sie eine Vorgehensweise aus vier Phasen dargelegt: (1) Design: DES-Modell entwickeln; (2) Experimente: Änderungen von Kapazität, Kundenbedarf („Load“ in Form von Arbeitsplänen) und Steuerung; (3) (statistische) Analysen der Ergebnisse: Varianzanalyse, paarweiser Vergleich, (4) Implementierung: Datenbank und grafische Aufbereitung. Das Modell wurde in den Phasen 1 und 2 validiert, indem Korrekturen am Modell im Zuge der Kalibrierung durchgeführt wurden. Mittels Variation von „Load“ und Kapazitäten konnte die bestmögliche Steuerungsregel (Anm. „Decentralized slack“) anhand der bekannten VSM-Kennzahlen identifiziert werden (vgl. Reményi and Staudacher, 2014). Die erforderlichen Daten und deren Struktur entsprechen dabei den bisherigen Beschreibungen.

HELLENO et al. beschreiben einen integrierten Ansatz von VSM und DES zur Unterstützung bei der Entscheidungsfindung. Die Erstellung des Simulationsmodells begründet sich auf der Vorgehensweise von LAW und KELTON (vgl. Law, 2013). Verschiedene Szenarien wurden erarbeitet und simuliert, die Ergebnisse der Szenarien anhand der Kriterien (1) Produktivität, (2) Stückkosten, (3) Investitionskosten, (4) Anzahl Mitarbeiter und (5) Flächenbedarf zur Entscheidungsfindung aufbereitet (vgl. Helleno et al., 2015). Es wurde aber nicht beschrieben, wie die fünf Kriterien in der Praxis erhoben wurden und für welchen Zeitraum diese gültig sind (vgl. Barwert-Methode von SULLIVAN et al.).

THAMMATUTTO und CHAROENSIRIWATH haben unter Anwendung von VSM und DES sowie der Simulationssoftware Arena den Istzustand eines Use Case erstellt. Unterschiedliche Parametrisierungen von alternativen Zielzuständen wurden mittels DoE (engl. „Design of experiment“) erarbeitet, wobei die Parameter mit stochastischen Verteilungen aufgrund zuvor durchgeführter Datenanalyse hinterlegt wurden. Die Entscheidung für eine Variante wurde aufgrund der Zielgrößen WIP, Durchlaufzeit, Effizienz, Flussgrad und Anzahl der Rüstvorgänge in der betrachteten Periode getroffen (vgl. Thammatutto and Charoensiriwath, 2011). Dies entspricht der IT-gestützten Parametrisierung im Vorgehensmodell.

MELOUK et al. haben Simulationsstudien in einer Prozesskette (Anm.: „Value Stream“ oder VSM wurden nicht explizit erwähnt) durchgeführt und die Ergebnisse verschiedener Szenarien miteinander verglichen. Die Veränderung der Parameter als Entscheidungsvariablen wird dabei als „Optimierung“ angesehen. Die Szenarien wurden auf Basis von veränderten Parametern erstellt: (a) Bestand in zwei vorgelagerten Lagerstufen und (b) Kapazität des letzten Prozesses in der Prozesskette. Zielgrößen der „Optimierung“ sind die Minimierung von Lagerhaltungskosten und von Stillstandkosten des letzten Prozesses unter der Nebenbedingung, dass die durchschnittliche Auslastung des betrachteten Prozesses ein definiertes Minimum nicht unterschreiten darf. Die Ergebnisse wurden mittels statistischer Analysen miteinander verglichen, um zur Entscheidungsfindung belastbare Aussagen zu erhalten (vgl. Melouk et al., 2013).

LU et al haben einen Wertstrom von einer Push- zu einer Pull-Steuerung an einem definierten Engpass umgestellt. Hierfür wurden unterschiedliche Handlungsalternativen erstellt und diese mittels Simulationsstudien bewertet und verglichen. Die Handlungsalternativen wurden in einer „Multiple-criteria Decision Matrix“ (MCDM) aufgelistet (Taktzeiten je Prozess, Supermarkt-Dimensionierungen, Verteilungen von Ankunftsdaten und Ausfallverhalten von Anlagen etc.). Das Ergebnis, das mittels TOPSIS Methode nach TAGUCHI ermittelt wurde, liegt als eine Übersicht bewerteter Handlungsalternativen vor, die den gesamten Wertstrom hinsichtlich „kontinuierlicher Ein-Stück-Fluss“ (engl. „Continuous one-piece-flow“ (OPF)) bestmöglich parametrisieren (vgl. Lu et al., 2011).

ALI et al. beschäftigten sich mit der Anwendung von VSM und Simulation in der Entwicklung einer Software. Für die vorliegende Dissertation ist diese Arbeit insofern relevant, da unterschiedliche Strategien für die Entwicklung und den Einsatz von Simulationsmodellen im VSM dargestellt wurden. Diese sind: (I) Simulationsmodell für CSM und FSM erstellen und Kennzahlen vergleichen, (II) Auswirkungen der Änderungen in CSM bewerten, (III) Bottlenecks im Wertstrom identifizieren, (IV) Alternativen evaluieren, Entscheidung treffen und FSM erstellen; und (V) Simulationsmodell aus dem VSM automatisiert erstellen (vgl. Ali et al., 2015). Im Vorgehensmodell zur IT-gestützten Parametrisierung werden wesentliche Elemente daraus verwendet und es wird gezeigt, wie und in welchem Umfang die genannten Strategien in dieser Arbeit übernommen werden können.

ALVANDI et al. präsentieren einen Ansatz, um mittels DES mehrere Wertströme als Prozessketten (engl. „multi-product flow“) im gesamten Produktionssystem hinsichtlich Material-, Energie- und Informationsfluss dynamisch zu bewerten. Das Produktionssystem wird dabei in Prozesse und Infrastruktur-Elemente gegliedert. Für die Prozesse wurden sieben

mögliche Zustände ausgewiesen, und aus dem ERP-System des im Use Case betrachteten Unternehmens konnten Stücklisten sowie Zeitdaten für die Simulationsstudie entnommen werden. Für Verbesserungsmaßnahmen hinsichtlich Energieeinsatz und traditioneller VSM-Kennzahlen konnten unterschiedliche Alternativen mittels Simulationsstudien erstellt und bewertet werden, wobei für die Integration der Infrastruktur-Elemente in das erarbeitete Modell zusätzliche Forschungsarbeit benötigt wird (vgl. Alvandi et al., 2016). RABTA et al. haben eine Übersicht über freie Simulationssoftware und auch über Simulationssoftware für Produktionssysteme inklusive Bewertung und deren Eignung für spezifische Problemstellungen erstellt, die für weiterführende Forschungsarbeiten wichtige Hinweise liefert (vgl. Rabta et al., 2009).

3.2.5 Exkurs: ergänzende Design-Ansätze in Produktionssystemen

Mit Data Mining-Ansätzen wird versucht, aus vorhandenen Daten Wissen zu generieren. Der Unterschied zu statistischen Analysen – bei denen zuerst Hypothesen formuliert und danach überprüft werden – liegt darin, dass beim Data Mining die Hypothesen aufgrund der Datenmuster generiert werden. Für das Generieren von Wissen aus Data Mining bieten HAN und KAMBER eine Vorgehensweise und heben dabei die Notwendigkeit der gründlichen Datenaufbereitung hervor. Jede Problemstellung muss dabei explizit behandelt werden (vgl. Han and Kamber, 2011) Praktische Anwendungsbeispiele von Data Mining-Ansätzen werden exemplarisch aufgelistet:

- Verbesserung der Produktqualität (vgl. Da Cunha et al., 2006)
- Bestandsvorhersage in einer Supply Chain (vgl. Stefanovic et al., 2008)
- Mustererkennung ausgewerteter Simulationsstudien zur Konfiguration von Produktionssystemen (vgl. Vazan et al., 2011)

Im Bereich der softwareintensiven Systeme gibt es Informationssysteme bzw. WBS, die mittels Datenverarbeitung den Nutzern Informationen zur Verfügung stellen. Ein relevantes Ziel für Informationssysteme stellt dabei der erwünschte geringe Grad an Technologieabhängigkeit dar. Daher ist die Software maßgeblicher Bestandteil eines unter bedingter Vernachlässigung der Hardwarekomponenten geplanten Informationssystems. Die Hardware wird dabei abstrahiert und vernachlässigt (vgl. Pohl, 2007, p. 5).

Die prozedurale Wandlung von Information in Wissen (vgl. Shu-Hsien Liao, 2005) und umgekehrt mit Methoden der künstlichen Intelligenz, Heuristik (vgl. Cebi et al., 2009) und automatisierter Erkennung spezifiziert die Wissensverarbeitung. Die Verarbeitung ist im Gegensatz zur Wissensbasis (vgl. Kumar and Singh, 2004) domänenunabhängig, im betrachteten Fall ist sie also unabhängig vom Planungswissen im Wertstromdesign (vgl. Beierle and Kern-Isberner, 2014, p. 20). In komplexen Entscheidungssituationen wird durch den Einsatz logischer Schlussfolgerungen die Entscheidungsgüte verbessert (vgl. Spreckelsen and Spitzer, 2009, p. 64), praktische Anwendungsbeispiel als Orientierungshilfe für diese Arbeit sind folgende:

- Konzeptionelle Ansätze der dezentralen Fertigungssteuerung mittels verteilter WBS von teils kooperierenden und konkurrierenden Agenten (vgl. Weigelt and Mertens, 1991)
- Grundlegende Ideen und Ansätze zur Qualitätssicherung mittels WBS (vgl. Pfeifer, 1996)
- Entwicklung eines Experten-PPS-Systems mittels Simulation in der Einzelstück-Fertigung (vgl. Li et al., 2000)
- Expertensystem zur Produktivitätsanalyse (vgl. Rao et al., 2005)
- Performance Measurement mittels WBS und Anwendung eines GA zur Vorhersage der zukünftigen Umsätze (vgl. Wen et al., 2008)
- Multi-Agenten-System zur WBS-unterstützten PPS und erforderlicher Regelbildung sowie Architektur des IT Artefakts (vgl. López-Ortega and Villar-Medina, 2009)
- Weitere PPS-Anwendungen der Jahre 1985 bis 2000 haben METAXIOTIS et al. dokumentiert und beschrieben. Die Autoren geben konkrete Hinweise zu einer möglichen Architektur des IT Artefakts und heben hervor, dass für eine bestimmte Problemstellung einer Domäne über 400 Regeln erstellt wurden, um das Expertenwissen zur Zuordnung von Aufträgen zu Prozessen inkl. Prioritäten untereinander abbilden zu können. Die Hauptanwendungsgebiete für WBS sind zu der Zeit Produktionssysteme mit den Problemstellungen Kostenreduktion, Wissensmanagement in der PPS, Konsistenz im Entscheidungsprozess und Erhöhung der Produktqualität – wie eine zitierte Umfrage unter führenden amerikanischen Industrieunternehmen belegte (vgl. Metaxiotis et al., 2002).

Darüber hinausgehende Anwendungsgebiete und Ansätze werden von SAHIN et al. dargestellt (vgl. Sahin et al., 2012). Die genannten Arbeiten liefern für diese Dissertation, im Gegensatz zu den Design-Ansätzen kein Planungswissen im VSM, nur Hinweise zur Erweiterung des IT Artefakts. Die Anwendung von Fuzzy Logic im Entscheidungsprozess wird im Rahmen dieser Dissertation ebenfalls nicht berücksichtigt (vgl. Vinodh and Dinesh Kumar, 2012), kann jedoch zukünftig an geeigneter Stelle in das Vorgehensmodell integriert werden.

3.3 Zusammenfassung des Kapitels und Zwischenfazit

Bezugnehmend zum abgegrenzten Untersuchungsbereich wurden in Kapitel 3 der **State of the Art an Design-Ansätzen zur Produktivitätssteigerung von Wertströmen** dargestellt. Die Ansätze wurden hierfür **in empirische und IT-gestützte Ansätze unterteilt** und mit Literatur vor allem in Bezug zur praktischen Anwendung dargelegt. Durch gemeinsame Anwendung von Ansätzen beider Kategorien können Verbundeffekte erzielt werden, um die Vorteile von Lean in der Praxis voll ausschöpfen zu können (vgl. Shah and Ward, 2003). Vor allem die dafür vorhandenen Möglichkeiten der IT-gestützten Datenerhebung und -auswertung sind in der Literatur ein viel diskutiertes Thema (vgl. Forno et al., 2014). Die vorgestellten Design-Ansätze bieten Problemlösungen für spezifische Teil-Problemstellungen, die Forderungen der Problemstellungen sowie des abgeleiteten Forschungsbedarfs werden dadurch nicht erfüllt.

Die Integration von IKT in die klassische „Papier und Bleistift-Methode“ von VSM hat in Literatur und Praxis faktisch stattgefunden. Beginnend mit einer einfachen Visualisierung und Reproduzierbarkeit von Wertströmen mittels Standardsoftware können heutzutage Wertstrom-Simulationen oder Engpasssteuerungen IT-gestützt einfach durchgeführt werden. Es sind neue Methoden und Ansätze zu erarbeiten, um die Schwachstellen des heutigen Wertstrommanagements in der Praxis beheben zu können (vgl. Serrano et al., 2008; Forno et al., 2014). Die studierten Design-Ansätze mit darin enthaltenen Simulationsstudien unterstützen vor allem bei der Überprüfung der Durchführbarkeit von Maßnahmen in der Praxis. Die Fachliteratur zu Simulation und VSM lässt sich als dynamische Überprüfungsstelle der gängigen Lean-Praktiken zusammenfassen, was im Vorgehensmodell auch dementsprechend berücksichtigt wird. Im Allgemeinen soll das zu erschaffende Top-down strukturierte Vorgehensmodell zur IT-gestützten Parametrisierung des nächsten Zielzustands eines Wertstroms dienen. Im Besonderen soll das Vorgehensmodell die vorhandenen und relevanten Design-Ansätze aus der IKT aufgreifen und berücksichtigen, um die Handlungskompetenz des Wertstromplaners und der gesamten Organisation (vgl. Edtmayr et al., 2013, p. 107ff) zur Realisierung eines Zielzustands zu erhöhen. Es gilt, eine **rechnergestützte Implementierung in ein IT Artefakt** zu ermöglichen und detailliert zu beschreiben, um das **traditionelle VSM noch effektiver und effizienter zu gestalten**.

4 Zielsystem und Vorgehensmodell

Bei der IT-gestützten Parametrisierung des nächsten Zielzustands eines Wertstroms im VSM sind sowohl das Vorgehensmodell als auch das übergeordnete Zielsystem von elementarer Bedeutung. Bevor auf diese beiden Elemente eingegangen wird, soll jedoch noch das Gedankengebäude, also der Ordnungsrahmen, zur „*Generierung von Idealwertströmen*“ erklärt werden. Es ist essentiell, um die definierte Problemstellung adäquat bearbeiten und beantworten zu können.

4.1 Zugrundeliegendes Gedankengebäude

Diese Arbeit soll als Ergänzung zur Sichtweise von ROTHER (vgl. Rother, 2013) und der erweiterten Ausführung von HEMPEN (vgl. Hempen, 2014) verstanden werden. Zielzustände eines gesamten Wertstroms (vgl. Sunk et al., 2015) sollen demnach (vorab) zu einem gewissen Grad spezifiziert werden können. Die genaue Umsetzung des Zielzustands obliegt den verantwortlichen Personen (d.h. Wertstromplaner und dem operativen Team) vor Ort. In der Umsetzung als IT Artefakt werden jedoch zu tätige Aktionen, Handlungen, Potentiale, etc. automatisiert bewertet und auch vorgeschlagen. Für den Wertstromplaner gilt, dass er im Zuge der Parametrisierung des nächsten Zielzustands im VSM bestmöglich durch IT-gestützte VSM-Analysen im Entscheidungsprozess unterstützt und geleitet wird (vgl. Serrano et al., 2008; Krishnaiyer and Chen, 2015). Das nachfolgende Vorgehensmodell basiert auf dem Problemlösungsprozess nach ATIEH et al., welcher aus den hier genannten Schritten besteht: (a) CSM-Analyse (hier: Istzustand) mit Visualisierung und Bewertung, (b) dynamisches Simulationsmodell, (c) Input-Daten bzw. -Parameter, (d) Identifikation des Bottlenecks, (e) Verbesserung der Input-Parameter mit integrierten Schleifen (hier: Iterationen), Verbesserung der Entscheidungen und Überprüfungen sowie (f) Änderung der Input-Parameter und deren Auswirkungen auf VSM-Kennzahlen in der FSM (hier: Zielzustand) (vgl. Atieh et al., 2015).

Für den betrachteten Unternehmensverbund wird daher angenommen, dass mehrere Produktionen ähnliche Produktionslinien und somit Wertströme aufweisen, die mit ähnlichen Prozesstechnologien ähnliche Produkte (d.h. Produktfamilien) erzeugen. Im Umkehrschluss kann daher ein und dasselbe Produkt in mehreren Fabriken bzw. Wertströmen hergestellt werden, wobei gleiche/ähnliche oder geringfügig unterschiedliche Prozesstechnologien, Lagerungsarten und Transportmittel innerhalb eines Wertstroms verwendet werden. Dabei sind einerseits historisch gewachsene Strukturen (bspw. für Infrastruktur und Hallenlayout) und andererseits die erforderlichen Ressourceneinsätze aller Art zu berücksichtigen. Bei der Zuordnung von Wertströmen zu Produktfamilien, Prozesstechnologien, Werken, etc. sind Stammdaten (vgl. Kapitel 5.1.2) erforderlich. Die erforderlichen Hintergrund-Analysen basieren auf diesen Stammdaten und den Ist-Daten sämtlicher Istzustände der Wertströme im Unternehmensverbund. Die Charakteristika der Gesamtheit an Wertströmen zur Ableitung der Stammdaten sind in Kapitel 2.9 dargelegt. Der Dissertation liegt deshalb die Annahme

zugrunde, dass sämtliche Wertströme des Unternehmensverbundes bekannt und mittels IT-gestützter VSM-Analyse (hier: VSM Tool) analysiert sind. Im Zeitverlauf werden diese immer wieder aktualisiert. Diese Analyse-Ergebnisse der Wertströme (d.h. die jeweiligen Istzustände) werden in einer VSM-Datenbank abgelegt und über die Stammdaten strukturiert aufbereitet und so reproduzierbar gemacht.

Auf Basis dieser strukturierten VSM-Daten und eines im Vorgehensmodell bzw. IT Artefakt abgebildeten Satzes von Planungswissen aus dem Wertstrom-Design soll für einen zuvor definierten Wertstrom ein nächster, zu erreichender Zielzustand IT-gestützt parametrisiert werden. Dieser Wertstrom einer definierten Produktfamilie ist zum Zeitpunkt t_0 vollumfassend analysiert, was sich als **Satz an Input-Parametern und daraus berechneten VSM-Kennzahlen** zeigt. Nach der IT gestützten Parametrisierung ergibt sich ein veränderter Satz aus Input-Parametern und neu berechneten VSM-Kennzahlen. Dieser neue, für den Zeitpunkt t_1 gültige Satz an Input-Parameter (z.B. Rüstzeit von 30 auf 20 Minuten verkürzen, Bestand in einer Lagerstufe von 150 auf 130 Stück reduzieren) und VSM-Kennzahlen gilt bis zum Erreichen ebendieser als **Zielzustand für t_1** . Sobald diese **in entsprechendem Ausmaß erreicht** sind, gilt der dann vorherrschende Zustand als **neuer Istzustand in t_1** (vgl. Rother, 2009; Hemen, 2014, p. 67). Dieser wird wiederum in der VSM-Datenbank abgelegt und fungiert als Basis für Verbesserungen anderer Wertströme im Unternehmensverbund. Der Weg dahin wird durch das nachfolgend beschriebene Vorgehensmodell und Zielsystem unterstützt.

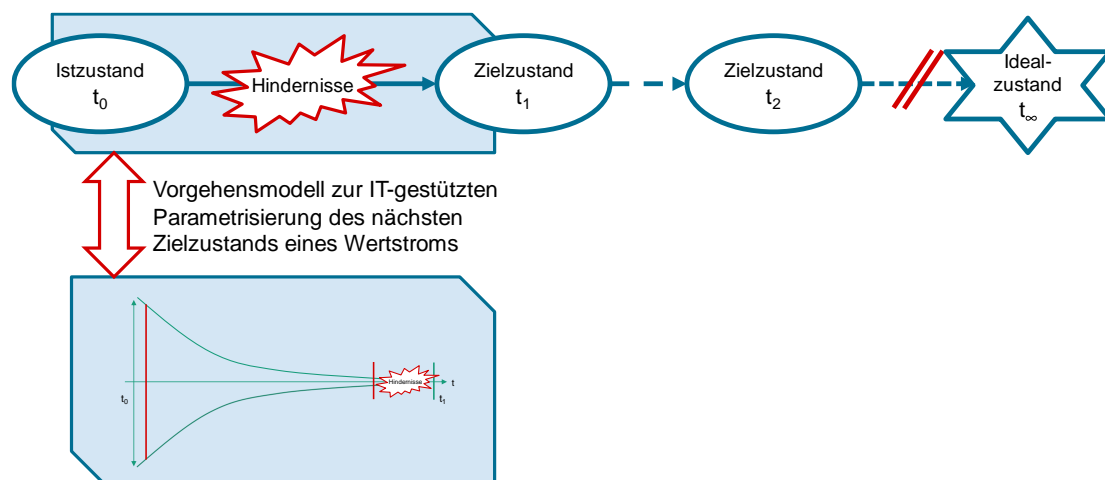


Abbildung 19: Gedankengebäude zur IT-gestützten Parametrisierung des nächsten Zielzustands eines Wertstroms im VSM

Es ist jedoch festzuhalten, dass das Planen und Durchführen von Verbesserungsmaßnahmen weiterhin vor Ort am Shopfloor zu erfolgen hat (vgl. Karim and Arif- Uz- Zaman, 2013), bspw. mit den empirischen Design-Methoden und -Ansätzen aus Kapitel 3.1. Der Wertstromplaner wird jedoch dabei unterstützt, trotz der vorherrschenden Komplexität an verfügbaren Daten, möglichen Alternativen und Handlungsoptionen möglichst effektiv und effizient vorzugehen. Die Trichterform des Vorgehensmodells (vgl. Abbildung 19) verdeutlicht dabei die Komplexität und Vielzahl an Handlungsoptionen, die zu Beginn dem Wertstromplaner zur Verfügung stehen. Das Vorgehensmodell mit den acht Schritten (hier: STEPS) leitet den Wertstromplaner durch die Parametrisierung und priorisiert dabei Aktivitäten mittels (hier: automatisierter) Hintergrund-Analysen.

Die neun STEPS sind wie folgt (vgl. Kapitel 4.4):

- STEP [0]: Vorbereitung und Szenarienbildung
- STEP [1]: Grob-Parametrisierung der Elemente im Wertstrom
- STEP [2]: Parametrisierung des Informationsflusses
- STEP [3]: Fein-Parametrisierung der Prozesse
- STEP [4]: Simulationsstudien im VSM
- STEP [5]: Abfallbewertung als Kennzahl der ökologischen Nachhaltigkeit
- STEP [6]: Bewertung des CDE-Werts der ökologischen Nachhaltigkeit
- STEP [7]: Wertschöpfung und Kosten
- STEP [8]: Parametrisierung abschließen und Zielzustand freigeben

Nach Abschluss der IT-gestützten Parametrisierung in STEP [8] kann der virtuelle Zielzustand des Wertstroms für die Umsetzung freigegeben werden (rote Linie rechts in Abbildung 20). Zuvor werden mithilfe der Aktivitäten in den STEPS [1]-[7] sowie mithilfe mehrerer Iterationen innerhalb und zwischen den STEPS die Zielgrößen des Zielsystems und die zugrundeliegenden Inputs-Parameter verbessert. Ebenso werden erforderliche Maßnahmen (wie bspw. Best Practice-Transfers, etc.) festgelegt. An dieser Stelle ist anzumerken, dass die Trichterform des Vorgehensmodells nach STEP [8] bewusst geöffnet ist, um den lösungsoffenen Handlungsfeldern (vgl. Hempten, 2014) nach Abschluss der Parametrisierung besondere Bedeutung beizumessen. Ein Zielzustand gilt als erreicht, sobald die Input-Parameter und VSM-Kennzahlen in angemessenem Umfang umgesetzt sind.

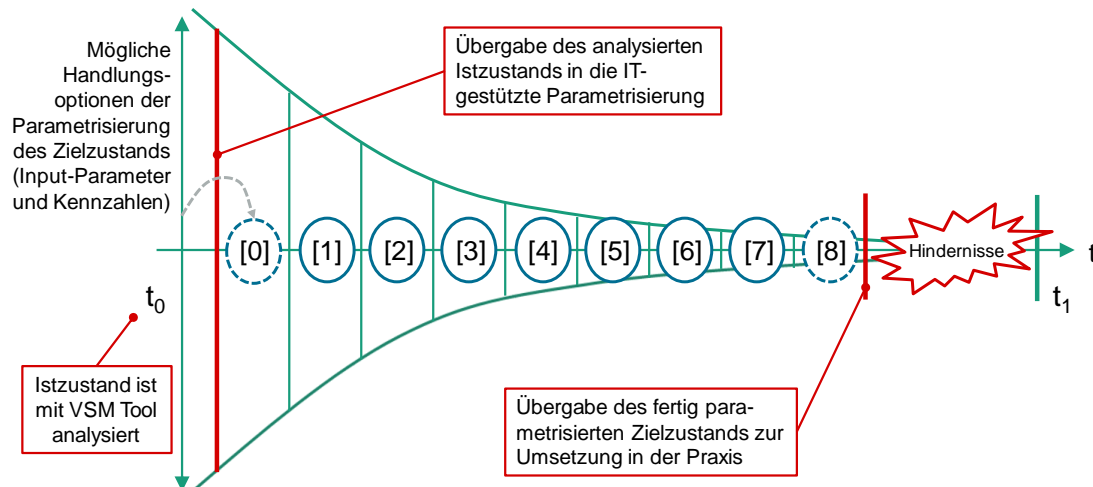


Abbildung 20: Vorgehensmodell im Überblick

Somit ist festzuhalten, dass die in Kapitel 3.2 dargestellten Ansätze den Wertstromplaner während der IT-gestützten Parametrisierung des nächsten Zielzustands eines Wertstroms unterstützen. Im Gegensatz dazu unterstützen die in Kapitel 3.1 vorgestellten Ansätze das operative Team bei der Umsetzung der Maßnahmen, also beim Erreichen des zuvor parametrisierten Zielzustands (vgl. STEP [8]). Das Vorgehensmodell sowie die zugrundeliegenden Aktivitäten, Hintergrund-Analysen und Design-Ansätze repräsentieren deshalb ein IT-gestütztes Entscheidungsunterstützungssystem bzw. einen Entscheidungsprozess für Wertstromplaner bei der Parametrisierung des nächsten Zielzustands eines Wertstroms.

4.2 Ableitung eines geeigneten Zielsystems

Dem Streben nach dem Idealzustand (vgl. Kapitel 2.6) liegt das Rationalisierungsparadigma aus „Lean“, also die kontinuierliche Steigerung der Produktivität des gesamten Wertstroms, zugrunde (vgl. Kurlang, 2013, p. 30) und findet sich auch im abgeleiteten Zielsystem der Dissertation wieder. Den Charakteristika des Idealzustands entsprechend werden dabei die in Theorie und Praxis anerkannten Zielgrößen minimiert (vgl. Vorgehensweise in Operations Research (OR): z.B. theoretische Zielfunktion 0 Stück Bestand) bzw. maximiert (OR: z.B. Zielfunktion 100% Auslastung). Die Zielgrößen, unter Berücksichtigung der fundamentalen Prinzipien (d.h. mathematischen Zusammenhängen) der „Factory Physics“ (vgl. Hopp and Spearman, 2011), können sein: (a) die klassischen, jedoch konkurrierenden Zielgrößen Kosten, Zeit und Qualität (vgl. Steven, 2007, p. 12f) aus der Produktionstheorie, (b) die Zieldimensionen des Wertstromdesigns bzw. der Fabrikplanung/Produktion (vgl. Erlach, 2010, p. 13f), (c) die internen und externen logistischen Zielgrößen der Produktionsplanung und -steuerung (vgl. Lödding, 2008, p. 19ff). Die Präzisierung des Zielsystems für die Top-down strukturierte Parametrisierung ist im Entscheidungsprozess von hoher Bedeutung, um den möglichen Handlungsalternativen eine entscheidende Richtung zu geben und somit die bestmögliche Auswahl zu treffen (vgl. Laux et al., 2012, p. 13). Deshalb wird der Festlegung des Zielsystems in dieser Arbeit auch hohe Bedeutung beigemessen, da so auch die strategischen Ziele auf die operative Ebene herunter gebrochen werden können (vgl. Sihn et al., 2016, p. 21).

Die beiden Autoren *KAPLAN* und *NORTON* veröffentlichten 1996 „The Balanced Scorecard“ (BSC) und schufen so die Basis zur Verbindung von strategischen Zielen und deren Umsetzung auf operativer Ebene (vgl. Kaplan and Norton, 1996). Sie weisen auf die vier Perspektiven „Finanzen“, „Kunden“, „interne Prozesse“ sowie „Lernen und Entwickeln“ hin, wobei mittels „Strategy Map“ die Unternehmensstrategie in Kennzahlen abgebildet wird, die auf unterschiedliche Ebenen und Personen anwendbar sind. Die Parameter und Kennzahlen von Wertströmen können als elementarer Bestandteil der „internen Prozesse“ (d.h. der wertschöpfenden Produktionsprozesse) gesehen werden und Einzug in die innerbetriebliche BSC finden. Andere Autoren (vgl. Seyedhosseini et al., 2011; Gram, 2013) weisen auf die Umsetzung von „Lean Management“ „und Lean Principles“ (vgl. Womack and Jones, 2003) mittels Integration in eine Balanced Scorecard hin. Das im Rahmen der vorliegenden Dissertation erstellte Zielsystem repräsentiert deshalb operative Kennzahlen (vgl. Kapitel 2.7), die in aggregierter Form auf strategischer Ebene zur Verfügung gestellt werden können und deshalb eine belastbare Grundlage für strategische Entscheidungen sowie zur Umsetzung der Unternehmensstrategie auf operativer Ebene liefern.

Für diese Dissertation wurden folgende vier übergeordnete Kennzahlen im Zielsystem (als Zielgrößen) festgelegt, wobei diese jeweils an den eigenen Fall (d.h. an erhobene Kennzahlen) angepasst und erweitert werden können:

- Lead Time (LT) / Durchlaufzeit (DLZ) [h] (oder Fabrikstage)
- Balancing-Factor (BF) [-]
- Costs / Stückkosten [EUR/Stück]
- Carbon Dioxide Equivalents (CDE) / CDE-Wert [kgCO₂/Stück]

Diese vier genannten Ziele repräsentieren das Spektrum an Kennzahlen aus Kapitel 2.7 in angemessenem Rahmen, wobei nachfolgend im Detail dazu Stellung bezogen wird.

<p>Durchlaufzeit / Lead Time [h]:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Ziel: Reduktion gegen Null ■ Einflussgrößen: <ul style="list-style-type: none"> ■ Art und Anzahl der Lagerstufen ■ Bestand je Lagerstufe → Reichweite 	<p>Balancing-Factor [-]:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Ziel: Wert 1 ■ Einflussgrößen: <ul style="list-style-type: none"> ■ Keine OEE-Verluste der Prozesse ■ Sämtliche Prozesse haben gleiche Zykluszeiten und produzieren im Takt
<p>Stückkosten [EUR/Stück]:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Ziel: Reduktion ■ Einflussgrößen: <ul style="list-style-type: none"> ■ Input-Parameter, z.B. Zeiten, Flächen, Kosten lt. Stückliste ■ Faktorpreise bzw. Kostensätze 	<p>CDE-Wert [kgCO2/Stück]:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Ziel: Reduktion ■ Einflussgrößen: <ul style="list-style-type: none"> ■ Input-Parameter, z.B. EI [kWh/Stk.] ■ CO2-Äquivalente

Abbildung 21: Zielsystem im Vorgehensmodell

Die Kennzahlen des Zielsystems stellen jeweils ein quantitativ bewertetes Ergebnis aus den Ressourceneinsätzen in den Elementen des Wertstroms dar. Die Elemente sind demnach mehrere Prozesse, Lagerstufen und interne Transporte im Wertstrom – wobei Analyse und Bewertung im zugrundeliegenden Modell (vgl. VSM Tool im Kapitel 5.1.1) standardisiert und somit vergleichbar gemacht werden.

4.2.1 Durchlaufzeit

Die Durchlaufzeit (DLZ) ist jene Zeit, die ein beliebiger Prozess bzw. ein Wertstrom benötigt, um den Input (Material, Kunden, Geld, Information, etc.) in den Output (Güter, Dienstleistung) zu transformieren. Je nach Wahl der Messpunkte kann man die DLZ für (a) einen Prozess oder (b) einer ganzen Prozesskette (d.h. Wertstrom) ermitteln. Nach dem Gesetz von LITTLE (vgl. Little, 1961) geben der Kundentakt als Kehrwert der Abfertigungsrate am Wertstrom sowie die Anzahl sämtlicher wartender Elemente im Wertstrom (= Bestand in Lagerstufen vor Prozessen) Auskunft über die gesamte Reichweite und somit über die durchschnittliche (Auftrags-) Durchlaufzeit an. Genau betrachtet setzt sich die Durchlaufzeit jedoch aus Rüst- (RZ), Bearbeitungs- (BZ) und Prozess- (PZ) sowie aus Liege- (LZ) und Transportzeiten (TZ) zusammen, die man sowohl makroskopisch für den gesamten Wertstrom oder auch im Detail je Prozess und zugehörigem Wartesystem ermitteln kann. Liege- und Transportzeiten bestimmen dabei die Reichweiten (RW) bzw. Übergangszeiten ($j=1\dots m$) zwischen den Prozessen ($i=1\dots n$) (vgl. Kuhlang, 2010, p. 11f). Die Reichweiten repräsentieren dabei die Liegezeiten vor und nach der Bearbeitung (vgl. Sihn et al., 2016, p. 137f).

$$DLZ = \sum_i (BZ + PZ + RZ) + \sum_j RW = \sum_i (BZ + PZ + RZ) + \sum_j (LZ + TZ)$$

Formel 1: Berechnung der Durchlaufzeit (Kuhlang, 2010)

Diesen beiden Betrachtungsweisen liegt die Warteschlangentheorie mit dem Gesetz nach LITTLE ($L = \lambda * W$ (vgl. Little, 1961)) zugrunde, wobei die Zeitanteile am Prozess die Produktions- bzw. Abfertigungsrate und die Zeitanteile der Übergangszeit/Reichweiten den Bestand in Lagerstufen (= Warteschlange) repräsentieren. Verzweigte Wertströme weisen einen kritischen Pfad (engl. „Critical path“) auf, den es für die Bewertung der Durchlaufzeit zu identifizieren und im Design durch geeignete Maßnahmen zu verringern/eliminieren gilt (vgl. Braglia et al., 2006).

Im Wertstromdesign sind zwei Alternativen zur Ermittlung der Durchlaufzeit verfügbar. Für beide Alternativen wird jedoch der durchschnittliche Kundenbedarf pro Zeiteinheit (z.B. Tagesbedarf (TB)) als Abfertigungsrate verwendet. Die Unterschiede sind wie folgt:

1. ROTHER und SHOOK betrachten bei der DLZ-Bewertung nur die Lagerstufen am „kritischen Pfad“ und ermitteln für die Bestandsreichweiten der Lagerstufen einen (durchschnittlichen) Schätzwert (vgl. Rother and Shook, 2003, p. 28).

$$RW = \frac{\text{Bestand}}{\text{Tagesbedarf}}$$

Formel 2: Berechnung der Bestandsreichweite je Lagerstufe (nach ROTHER und SHOOK)

2. ERLACH betrachtet den „langsamsten Zweig“ bei der DLZ-Berechnung. Er summiert die Reichweiten der Lagerbestände (BM) und die Reichweiten des „Work in progress“ (WIP) der Prozesse und multipliziert diese Summe mit dem Anteil an Gutteilen (GT in %) bezogen auf den Tagesbedarf (TB). Außerdem wird die Anzahl Gleichteile je (Fertig-)Produkt (#T) berücksichtigt (vgl. Erlach, 2010, p. 103f).

$$DLZ = \sum_i RW_i = \sum_{i=1}^m \frac{(BM_i + WIP_i) * GT}{TB * \#T}$$

Formel 3: Berechnung der Bestandsreichweiten im langsamsten Zweig (nach ERLACH)

Daraus abgeleitet gilt der für den kritischen Pfad berechnete Flussgrad (FG; engl. „Flow rate“) als „Maß für die Dynamik in der Produktion“. Er vergleicht die Verweildauer eines Teils in den Prozessen (BZ und PZ in [Zeiteinheiten]) mit der Summe an Übergangszeiten eines Teils (Reichweite in [Tage] mal Netto-Arbeitszeit (AZ) in [Zeiteinheiten/Tag]). Es lassen sich unter Berücksichtigung des Schwankungsverhaltens des Kundenbedarfs somit Potentiale für Verbesserungen ableiten, wenn Stauungen bzw. Engpässe in der Prozesskette beseitigt werden (vgl. Erlach, 2010, p. 104f).

$$FG = \frac{\sum_{\text{Prozess}} (BZ + PZ)}{\sum_{\text{Lagerstufen}} (RW * AZ)} * 100\%$$

Formel 4: Berechnung des Flussgrades im langsamsten Zweig (nach ERLACH)

Für vereinfachte Analysen genügt daher die Betrachtungsweise von ROTHER und SHOOK. Wenn lange Prozesszeiten (bspw. Glühen) in großen Losen im Wertstrom vorhanden sind, muss man jedoch die exakte DLZ-Berechnung von KUHLANG bzw. ERLACH anwenden, um den Flussgrad richtig zu bewerten. Die dynamische VSM-Analyse mittels Simulationssoftware

ermöglicht eine detaillierte DLZ-Analyse inkl. einer dynamischen Bewertung der Bestände im Wertstrom. Dem Streben nach dem Idealzustand nach soll der Bestand im Wertstrom gegen Null gehen (Stichwort: kontinuierlicher Ein-Stück-Fluss). HOPP und SPEARMAN argumentieren jedoch, dass dem gegenüber der realistische Minimalbestand (engl. „Critical WIP level“) steht (vgl. Hopp and Spearman, 2011, p. 232). Diesen beiden Aspekten soll bei der Reduktion der Durchlaufzeit Rechnung getragen werden.

Zur Reduktion der Durchlaufzeit bieten sich folgende Stellhebel für Verbesserungen beispielhaft an, die im Rahmen des Vorgehensmodells an geeigneter Stelle mit dem erforderlichen Planungswissen zu berücksichtigen sind:

- Auswahl einer geeigneten Steuerungslogik zur Auftragsfreigabe in der Produktion
- Liegezeit- bzw. Bestandsreduktion (Übergangszeiten) durch:
 - Eingriff in Produktionssteuerung (Info-Fluss) (vgl. Rother and Shook, 2003)
 - EPEI-Betrachtungen, z.B.
 - Minimierung der Produktionslosgröße (vgl. Erlach, 2010)
 - Anzahl Teile pro Variante in der Lagerstufe
 - Rüstzeitminimierung
 - Verkürzung/Beschleunigung der Transportwege
- Steigerung der Abfertigungsraten am Prozess: Reduktion der Zykluszeiten durch Bearbeitungs- bzw. Prozesszeitenreduktion:
 - Beschleunigung der Zeiten, z.B. MTM-Bewertung (vgl. Kuhlang et al., 2011)
 - Trennung von Montage- und Logistiktätigkeiten (vgl. Erlach, 2010)
 - Erhöhung der Auslastung durch Anpassen der Ankunfts- bzw. Abfertigungsraten (vgl. Hopp and Spearman, 2011, p. 231)
 - Minimierung der Produktionslosgröße (vgl. Erlach, 2010)
- Berücksichtigung von stochastischen Einflussgrößen von:
 - Ankunfts- und Abfertigungsraten im Wertstrom
 - schwankendem Kundenbedarf bei der Szenarienbildung (vgl. STEP 0)

Für die Stellhebel ist jedoch vor der Realisierung in der Praxis eine Überprüfung der Wirksamkeit/Sinnhaftigkeit je Maßnahme erforderlich. Diese sind je Stellhebel ebenfalls im Vorgehensmodell zu berücksichtigen, was im vorgestellten Ansatz mittels Rückkopplung und Feedback im VSM Tool erfolgt, sodass mit der Überprüfung der Wirksamkeit der Forderung nach einem geschlossenen Regelkreis gerecht wird (vgl. Desrochers, 1990).

4.2.2 Balancing-Factor (BF)

Neben der Reduktion der Durchlaufzeit ist die Produktion im Kundentakt ein zentrales Thema im Toyota Produktionssystem (vgl. Takeda, 2009) und somit auch im Wertstromdesign (vgl. Rother et al., 2011). Es wird gefordert, ein Produktionssystem so zu konfigurieren, dass die Produktionsrate synchron mit dem Kundenbedarf im Einklang steht (vgl. Rother and Shook, 2003, p. 40), d.h. Verschwendungen (vgl. Ōno, 1988), bspw. in Form von Überproduktion, in sämtlichen Elementen des Wertstroms vermieden werden aber die Prozesse gleichzeitig nicht unausgelastet sind. Dies entspricht dem Charakteristikum eines Idealzustands in Form von „100% Wertschöpfung“, sofern die Bearbeitungs- und Prozesszeiten 100% wertschöpfend

sind. Da dies in der Realität nicht möglich ist und zudem Variabilität in den Zeiten (z.B. Bearbeitungszeiten, Abfertigungsraten, unterschiedliche Montagezeiten für unterschiedliche BOM-Teile der Variantenbildung, etc.) auftritt, wird in der Praxis ein Richtwert zur Auslegung einer Prozesskapazität (d.h. Zykluszeit) von ~85-90% des Kundentakts angenommen (vgl. Rother, 2013). Es wird daher bewusst eine Abweichung von „100% Wertschöpfung“ empfohlen, um auftretender Variabilität begegnen zu können. Der Kundentakt berechnet sich dabei wie folgt:

1. ROTHER und SHOOK betrachten beim Kundentakt (KT) als Betrachtungszeitraum den Tag und den Bedarf an Teilen für die betrachtete Produktfamilie im Betrachtungszeitraum (vgl. Rother and Shook, 2003, p. 40).

$$KT = \frac{\text{verfügbare Betriebszeit pro Schicht}}{\text{Kundenbedarf pro Schicht}}$$

Formel 5: Berechnung des Kundentakts (nach ROTHER und SHOOK)

2. ERLACH verwendet hingegen zur Berechnung des Kundentakts ein Jahr als Betrachtungszeitraum (vgl. Erlach, 2010, p. 48).

$$KT = \frac{\text{verfügbare Betriebszeit pro Jahr}}{\text{Kundenbedarf pro Jahr}}$$

Formel 6: Berechnung des Kundentakts (nach ERLACH)

Beide Berechnungsarten beziehen sich auf den Jahresdurchschnitt und liefern somit dieselben Ergebnisse als Durchschnittswerte (vgl. statische VSM-Analyse in Kapitel 5.1.1). Darüber hinaus können der Kundentakt als Verkaufsrate und die Zykluszeiten an Prozessen als Produktionsraten für dynamische VSM-Analysen (Simulationsstudie) herangezogen werden.

Die Zykluszeiten sämtlicher Prozesse im Wertstrom können dem Kundentakt im Taktabstimmungsdiagramm (engl. „Operator balance chart“ (OBC)) gegenübergestellt werden (vgl. Erlach, 2010, p. 108ff). Damit lassen sich für den Wertstromplaner Engpässe sowie Verschwendungen grafisch sichtbar machen, da diese – bei gleichen Schichtmodellen der Prozesse – die größte Zykluszeit¹⁹ und deshalb den höchsten Balken aufweisen. ERLACH beschreibt die möglichen Verlustarten je Prozess. Diese verursachen eine Reduktion des theoretischen Kundentakts in den Prozessen, bedingt als Störungsverluste, Rüstzeitverluste bei Variantenwechsel und als Qualitätsverluste aufgrund von Ausschuss und Nacharbeit (vgl. Erlach, 2010, p. 112). Diese Verlustarten werden bei der OEE-Bewertung von Prozessen berücksichtigt (vgl. Huang et al., 2002), und bedingen somit beschleunigte Zykluszeiten in den Prozessen, um innerhalb des Kundentakts produzieren zu können.

¹⁹ Die Zykluszeit gibt an, in welchem durchschnittlichen Intervall ein Stück den betrachteten Prozess verlässt (= Abfertigungsrate). Losfertigung bedingt zwar eine höhere Prozesszeit, wobei bspw. die Losgröße 100 Stück ist und sich somit die Zykluszeit auf 100 Stück aufteilt. Ebenso kann bspw. ein Hubvorgang eines Stanz-Prozesses gleichzeitig 15 Stück parallel stanzen, weshalb hier die Prozesszeit eines Hubvorgangs auf 12 Stück aufgeteilt wird.

Der im Rahmen dieser Dissertation entwickelte „Balancing-Factor“ (BF) begründet sich einerseits auf den Verschwendungen von Zeiten, die im OBC darstellbar sind, und andererseits auf der Datenstruktur im VSM Tool (vgl. Kapitel 5.1.1), die sich an den Grundlagen der OEE- und CTE-Bewertung orientiert (vgl. Kapitel 2.7). Je Prozess werden deshalb für die Berechnung des Faktors folgende Zeitarten als Input-Parameter benötigt, welche auch im VSM Tool Berücksichtigung finden:

- **CTT** (engl. „Customer takt time“): theoretischer Kundentakt auf Basis des vorherrschenden Schichtmodells je Prozess „i“ (d.h. bei 100% Wertschöpfung innerhalb der Netto-verfügbaren Arbeitszeit).
- **ATT** (engl. „Adjusted takt time“): aufgrund von Qualitätsverlusten (d.h. Ausschussraten je Prozess) und Verfügbarkeitsverlusten reduzierte CTT je Prozess „i“ (vgl. Huang et al., 2002). Die verfügbare ATT wird aufgrund der Verkettung der Prozesse „flussaufwärts“ stets gleich oder geringer als beim nachgelagerten Prozess sein, da sich Ausschussraten multiplizieren und sich somit je Prozess eine kumulierte Ausschussrate berechnen lässt (vgl. Edtmayr et al., 2016a; Sunk et al., 2016).
- **CT** (engl. „Cycle time“): Zykluszeit eines Prozesses „i“ (vgl. Erlach, 2010, p. 66).
- **CTid** (engl. „Ideal cycle time“): theoretisch mögliche Leistungsfähigkeit in Form von Geschwindigkeit (d.h. minimale Taktzeit) je Prozess „i“, da in der Praxis oftmals bewusst Leistungsverluste eingegangen werden um bspw. energieeffizient zu produzieren; oder bspw. reduziertem Takt für den Wertstrom bei geringem Kundenbedarf mit gleichzeitig überdimensionierten Kapazitäten.

Mit den genannten Input-Parametern und lokal berechneten Kennzahlen (vgl. Kapitel 5.1.1) der Prozesse im Wertstrom lässt sich der BF wie folgt als qualitative Kenngröße berechnen:

$$BF = \{T_{vs}\} * \{RR_{vs}\} * \{CTE_{vs}\} * \{SC_{vs}\}$$

Formel 7: Berechnung des Balancing-Factors (BF)

Mit:

Tabelle 6: Berechnung der vier Bestandteile des Balancing-Factors (BF)

Formeln für das Forschungsprojekt ²⁰	Zukünftig zu verwendende Formeln ²¹
$\{T_{vs}\} = \left\{ 1 - VarK \frac{\sum_{i=1}^n \frac{CT_i}{CTT_i}}{i} \right\}$ <p>Formel 8: Berechnung des Takt-Factors (T_{vs})</p>	$\{T_{vs}\} = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n \frac{CT_i}{CTT_i}}{i} \right\}$ <p>Formel 9: Berechnung des Takt-Factors (T_{vs})</p>

²⁰ Anmerkung: im Zuge des Forschungsprojekts wurden Schichtmodelle anders bewertet als in der finalen Version des VSM Tools. Die Gründe dafür sind dem Autor und den Projektpartnern des Unternehmensverbands bekannt. Zur Evaluierung des Use Cases wird deshalb der Variationskoeffizient (VarK) bei der Berechnung des „Balancing-Factors“ eingeführt. Die „Formeln für das Forschungsprojekt“ beziehend sich deshalb zur Evaluierung des Vorgehensmodells (vgl. Kapitel 7).

²¹ Anmerkung: einzelne Zeitanteile im Zähler dürfen nicht größer als die Zeitanteile im Nenner sein, sonst wird der BF ad absurdum geführt. Aufgrund fehlender Daten mit neuer Bewertung der Schichtmodelle ist eine Gewichtung der Bestandteile untereinander zu evaluieren und ggf. zu berücksichtigen.

$\{RR_{VS}\} = \left\{ 1 - \text{Var}K \frac{\sum_{i=1}^n \frac{ATT_i}{CTT_i}}{i} \right\}$ <p>Formel 10: Berechnung des Run Ratio-Factors (RR_{VS})</p>	$\{RR_{VS}\} = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n \frac{ATT_i}{CTT_i}}{i} \right\}$ <p>Formel 11: Berechnung des Run Ratio-Factors (RR_{VS})</p>
$\{CTE_{VS}\} = \left\{ 1 - \text{Var}K \frac{\sum_{i=1}^n \frac{CTId_i}{CT_i}}{i} \right\}$ <p>Formel 12: Berechnung des CTE-Factors (CTE_{VS})</p>	$\{CTE_{VS}\} = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n \frac{CTId_i}{CT_i}}{i} \right\}$ <p>Formel 13: Berechnung des CTE-Factors (CTE_{VS})</p>
$\{SC_{VS}\} = * \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n CTT_i}{i * \text{MAX}(CTT_i)} \right\}$ <p>Formel 14: Berechnung des Shift-Factors (SC_{VS})</p>	$\{SC_{VS}\} = * \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n CTT_i}{i * \text{MAX}(CTT_i)} \right\}$ <p>Formel 15: Berechnung des Shift-Factors (SC_{VS})</p>

Der Takt-Factor (T_{VS}) bewertet den Zeitanteil von Verschwendung der Zykluszeiten gegenüber dem lokalen Kundentakt. Die ATT im Verhältnis zur CTT entspricht in der OEE-Bewertung den Verfügbarkeits- und Qualitätsverlusten, was sich im Run Ratio-Factor (RR_{VS}) ausdrückt. Die OEE-Bewertung wird durch den CTE-Factor (CTE_{VS}) vervollständigt, da hiermit Leistungsverluste im Vergleich zur theoretischen Leistungsfähigkeit berechnet werden können. Darüber hinaus ist der Shift-Factor (SC_{VS}) ein Maß für die Synchronisierung der Prozesse innerhalb eines Wertstroms. Ungleiche Schicht-Modelle im Wertstrom resultieren stets im Bestandsaufbau zwischen Prozessen und somit in einer Erhöhung der Durchlaufzeit.

Mit dem BF wird deshalb auf Wertstrom-Ebene versucht, der OEE-Bewertung als zentrale Kennzahl der Bewertung der Wirksamkeit von Lean-Praktiken in der Praxis Rechnung zu tragen (vgl. Gupta and Vardhan, 2016). Die detaillierte BF-Bewertung der Prozesse wird im Vorgehensmodell in STEP [3] durchgeführt und kann durch Aufzeigen von Handlungsalternativen (vgl. Zammori et al., 2011) entsprechend verbessert werden.

Der berechnete Balancing-Factor (BF) ergibt einen Wert im Bereich zwischen (0...1], wobei Werte <1 der vier Bestandteile eine Reduktion des BF verursachen und somit zu vermeiden sind. Ein BF mit dem Wert 1 stellt eine mit dem Kundentakt (KT) synchrone Produktion und somit „100% Wertschöpfung“ und Produktion „(...) im Kundentakt“ lt. Idealzustand (vgl. Kapitel 2.6) dar. Die vier Bestandteile des BF, für die – bis auf den Shift-Factor – jeweils arithmetische Mittel über die Zeitanteile der Prozesse berechnet werden, verursachen nachfolgend stehende negative Auswirkungen bei einer Abweichung von 1.

1. **T_{VS}**: Wenn CT < CTT eines beliebigen Prozesses, dann treten Auslastungsverluste auf.
2. **RR_{VS}**: Wenn ATT < CTT eines beliebigen Prozesses, dann treten Verfügbarkeits- bzw. Qualitätsverluste (lokal und – aufgrund der Verkettung der Prozesse – graphenbasiert berechnet) auf.

3. **CTE_{VS}**: Wenn $CT_{id} < CT$, dann treten (bewusst eingegangene) Leistungsverluste auf (vgl. Huang et al., 2002)
4. **SC_{VS}**: Wenn die CTT der Prozesse „i“ voneinander abweichen, so werden die Prozesse in unterschiedlichen Schichtmodellen betrieben. Falls Anzahl an Schichten pro Tag, Anzahl und Dauer an Pausen etc. in den Prozessen im Wertstrom variieren, so variieren auch die Netto-verfügbaren Arbeitszeiten je Tag in den Prozessen des Wertstroms. Als Konsequenz baut sich entlang des Wertstroms über den Tagesverlauf Bestand auf und ab, was sich in einer Erhöhung der durchschnittlichen Durchlaufzeit widerspiegelt.

Die Zeitanteile zur Berechnung der vier Bestandteile des BF sind in Abbildung 22 grafisch dargestellt:

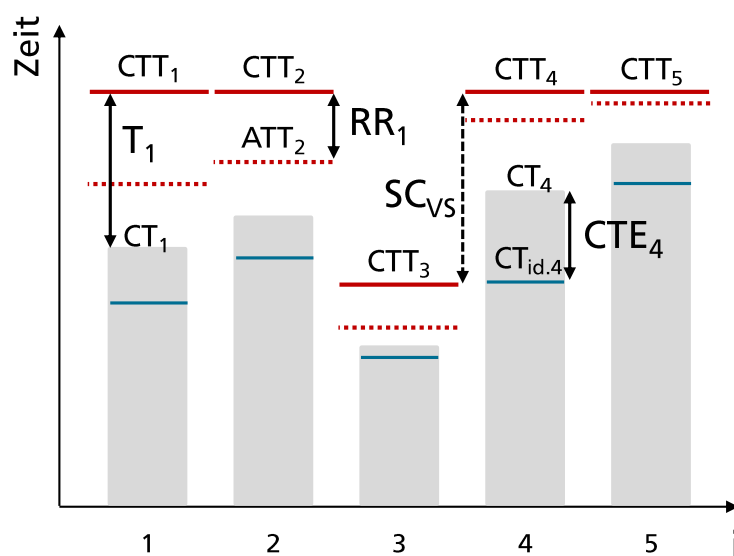


Abbildung 22: Zeitanteile des Balancing-Factors im Operator Balance Chart grafisch dargestellt

Zur Erhöhung des BF bzw. den Bestandteilen des BF bieten sich folgende Stellhebel für Verbesserungen an, wobei das Planungswissen im VSM-Design in STEP [3] berücksichtigt wird:

1. **CT/CTT**: Kapazitätsbetrachtung im Detail
 - Über- bzw. Unterkapazität
 - Zuordnung der Kapazitäten zu den unterschiedlichen Wertströmen
2. **ATT/CTT**: OEE-Betrachtung im Detail
 - Stillstandzeiten
 - Lokale Ausschussrate
 - Kumulierte Ausschussrate aufgrund von Verkettungen im Wertstrom
3. **CT_{id}/CT**: Kapazitätsbetrachtung im Detail
 - Verschwendung durch Überkapazitäten
 - Zuordnung der Kapazitäten zu unterschiedlichen Wertströmen
4. **CTT**: Betrachtung der Netto-verfügbaren Arbeitszeit im Detail
 - Schichtmodell in voneinander unabhängig gesteuerten Abteilungen
 - Pausenregelung und geplante Stillstandzeiten

Abweichungen vom Wert 1 der vier Bestandteile zur Berechnung des Balancing-Factors verursachen Bestandsanhäufungen zwischen Prozessen und somit eine Erhöhung der Durchlaufzeit.

4.2.3 Stückkosten

Mittels prozessorientierter Kostenrechnung ist es im Wertstrom²² möglich, die erforderlichen Input-Faktoren bzw. den getätigten Ressourceneinsatz je Stück als „direkte Einzelkosten“ monetär zu bewerten (vgl. Abuthakeer et al., 2010). Der Ressourceneinsatz setzt sich aus unterschiedlichen Produktionsfaktoren und deren Faktorpreisen zusammen, welche bspw. folgende sind:

- Material lt. Stückliste inkl. Stückpreis (d.h. Variantenstücklisten für die betrachtete Produktfamilie) (vgl. Samaranayake, 2013; Alvandi et al., 2016)
- Zeiten (Zykluszeiten, Transportzeiten, Handlingzeiten)
- Kostensätze für Personal, Betriebsmittel, Transportmittel
- Ressourceneinsatz für direkt zuordenbare Gemeinkosten, z.B. Flächen und Flächenkostensätze
- Energieverbräuche und Energie-Kostensätze
- Kosten für Ausschussraten und Entsorgung, sowie Aufwände für internes Handling
- Monetär bewertete Verschwendungen auf Wertstromebene aggregiert

Zur Reduktion der direkten Einzelkosten je Stück bieten sich folgende Stellhebel für Verbesserungen beispielhaft an, die im Rahmen des Vorgehensmodells an geeigneter Stelle zu berücksichtigen sind:

1. Veränderung der Produktionsfaktoren (Input-Parameter) durch:
 - Rückschlüsse auf Kostentreiber in (Varianten-) Stücklisten sind möglich, da diese mit der Grundgesamtheit in Datenbank vergleichbar sind
 - Veränderung der Zeiten (Zykluszeiten, Transportzeiten, Handlingzeiten)
 - Veränderung der erforderlichen Grundflächen durch Erhöhung der Flächenproduktivität
 - Reduktion der Ausschussraten etc.
2. Veränderung der Kostensätze durch:
 - Änderung der Prozesstechnologie; d.h. Maschinenstundensätze
 - Wechsel auf andere, verfügbare Kapazitäten in der betrachteten Produktion
 - Personalkostensätze
 - Wechsel zu einem anderen Transportsystem
 - Energiemix des Standorts etc.

Für die Stellhebel ist jedoch vor der Realisierung in der Praxis eine Überprüfung der Wirksamkeit/Sinnhaftigkeit je Maßnahme erforderlich. Diese sind je Stellhebel ebenfalls im Vorgehensmodell zu berücksichtigen (vgl. Regelkreis in Kapitel 4.3).

²² Die Bewertung der Stückkosten im VSM Tool richtet sich nach den Ansätzen der Literatur und ist Bestandteil der Dissertation von Thomas Edtmayr. Deshalb wird im Rahmen dieser Arbeit nicht darauf eingegangen.

Anmerkung: Im VSM Tool (vgl. Kapitel 5.1.1) zur statischen VSM-Analyse ist eine Bewertung der direkten Stückkosten hinterlegt. Die Ergebnisse werden je Prozess, Transport und Lagerstufe sowie auch für den kumulierten Wert, der die direkten Selbstkosten repräsentiert, in einer erweiterten Datenlinie analog zu logistischen Datenlinien (vgl. Kuhlang et al., 2011) abbildet. Aus Gründen der Verschwiegenheitspflicht gegenüber dem Projektpartner wird im Rahmen dieser Dissertation nicht näher darauf eingegangen und die Berechnung der Stückkosten in den weiteren Ausführungen werden somit als gegeben hingenommen.

4.2.4 CDE-Wert

Heutige Anforderungen an Produkte beinhalten eine Möglichkeit zur Bewertung des CO₂-Ausstoßes während der Produktion (vgl. Kapitel 2.7) in [kgCO₂/Stück]. Wie in Kapitel 2.6 erklärt ist durch eine Verbesserung der ökologischen Ressourceneinsätze auch eine Verbesserung der Stückkosten möglich. Zur Reduktion des CDE-Wertes bieten sich folgende Stellhebel für Verbesserungen beispielhaft an, die im Rahmen des Vorgehensmodells an geeigneter Stelle zu berücksichtigen sind. Diese lassen sich als Reduktion (engl. „Reduce“ (vgl. Faulkner and Badurdeen, 2014)) bzw. Vermeidung (engl. „Prevention“ (vgl. Kurdve et al., 2015)) beschreiben:

1. Veränderung der CO₂-Ausstoß fördernden Produktionsfaktoren (Input) durch:
 - Lösemiteleinsetz (vgl. Lu et al., 2012, p. 60)
 - Energieeinsatz (Strom, Gas, Druckluft), bspw. durch Maßnahmen aus dem Energiewertstromdesign (vgl. Erlach, 2009, p. 51ff)
 - Treibstoff-Einsatz (Benzin, Diesel, etc.) (vgl. Faulkner and Badurdeen, 2014; Jasch, 2000; Venkat and Wakeland, 2006; Pusavec et al., 2010)
2. Veränderung der Umrechnungsfaktoren (= CO₂-Äquivalenz-Faktoren) durch:
 - Wahl des Lösemittels nach Gefahrgutklassen
 - Energiemix (Strom, Gas (Butangas, Propangas, etc.), Druckluft) (vgl. Pusavec et al., 2010)

Anmerkungen: Im VSM Tool (vgl. Kapitel 5.1.1) ist eine prozessorientierte, direkte Ressourcenverbrauchsrechnung für CDE-relevante Input-Faktoren inkl. Umrechnung in [kgCO₂/Stück] integriert, wobei die Ergebnisse der Bewertung als Datenlinie analog zu logistischen Datenlinien (vgl. Kuhlang et al., 2011) abgebildet werden. Aus Gründen der Verschwiegenheitspflicht gegenüber dem Projektpartner wird im Rahmen dieser Dissertation nicht näher darauf eingegangen und die Berechnung des CDE-Werts somit als gegeben hingenommen²³. Eine Übersicht bezüglich unterschiedlicher Ansätze zur Bewertung des CO₂-Ausstoßes aus der Fachliteratur ist in Kapitel 2.7 dargestellt. Es sei hier jedoch erwähnt, dass sich der hier verwendete prozessorientierte Ansatz von den zumeist verwendeten Bilanzierungsansätzen unterscheidet.

²³ Siehe: Dissertation von Thomas Edtmayr.

4.2.5 Weitere mögliche Zielgrößen im Zielsystem

Die vier vorgestellten Zielgrößen im Zielsystem für IT-gestützte Parametrisierung des nächsten Zielzustands eines Wertstroms im VSM stellen keinen Anspruch auf Vollständigkeit und sind deshalb nicht allumfassend. Die Zielgrößen wurden im Rahmen der Auftragsforschung mit dem Projektpartner gemeinsam festgelegt, und können dem eigenen Bedarfsfall – je nach Datenverfügbarkeit und Randbedingungen aller Art – angepasst und erweitert werden. Für mögliche Ergänzungen im Zielsystem bieten sich für unterschiedliche Anwendungen folgende weitere Zielgrößen an:

- **Variabilität/Flexibilität:** EPEI-Werte für einzelne Prozesse sowie auch den gesamten Wertstrom betreffend (vgl. Erlach, 2010, p. 72ff)
- **Flächenproduktivität:** Verbesserung der Flächenbilanz im Rahmen der Fabrikplanung/-restrukturierung (vgl. VDI, 2011b, sec. Blatt 1), z.B. das Verhältnis von produktiver (Prozesse) zur dispositiver (Logistik: Transportwege und Lager) Flächen; sowie Reduktion beider Flächenanteile
- **Transportwege und -zeiten** für logistische Wertströme (vgl. Kuhlang et al., 2011; Sunk et al., 2014a)
- **Produktivität:** Gesamt- und Teilproduktivität (vgl. Nebl, 2007, p. 18ff)
- **Investitionen:** Abschätzung der erforderlichen monetären Aufwände (Kaizen und Innovation) für das Erreichen der parametrisierten Zielzustände in der Praxis durch Best Practice Transfer (vgl. Sullivan et al., 2002)
- **Qualitätsverluste durch Ausschussraten** im gesamten Wertstrom monetär bewertet²⁴
- **Mittlere Auslastung der Prozesse bzw. Kapazitäten** im Wertstrom (vgl. Zammori et al., 2011)
- **Servicegrad bzw. Lieferfähigkeit** (vgl. Lödding, 2008, p. 20ff) des Wertstroms aufgrund von Simulationsstudien und dem aktuellen Produktionsprogramm (vgl. STEP [4] im Vorgehensmodell); die statische VSM-Betrachtung dieser Kennzahl wird nicht berücksichtigt

²⁴ Siehe: Dissertation von Thomas Edtmayr.

4.3 Regelkreis zur Verbindung von Zielsystem und Vorgehensmodell

Die Funktionsweise der IT-gestützten Parametrisierung wird anhand eines einfachen Flussdiagramms in Anlehnung an BOKRANZ und LANDAU dargelegt (vgl. Bokranz and Landau, 2012, p. 30).

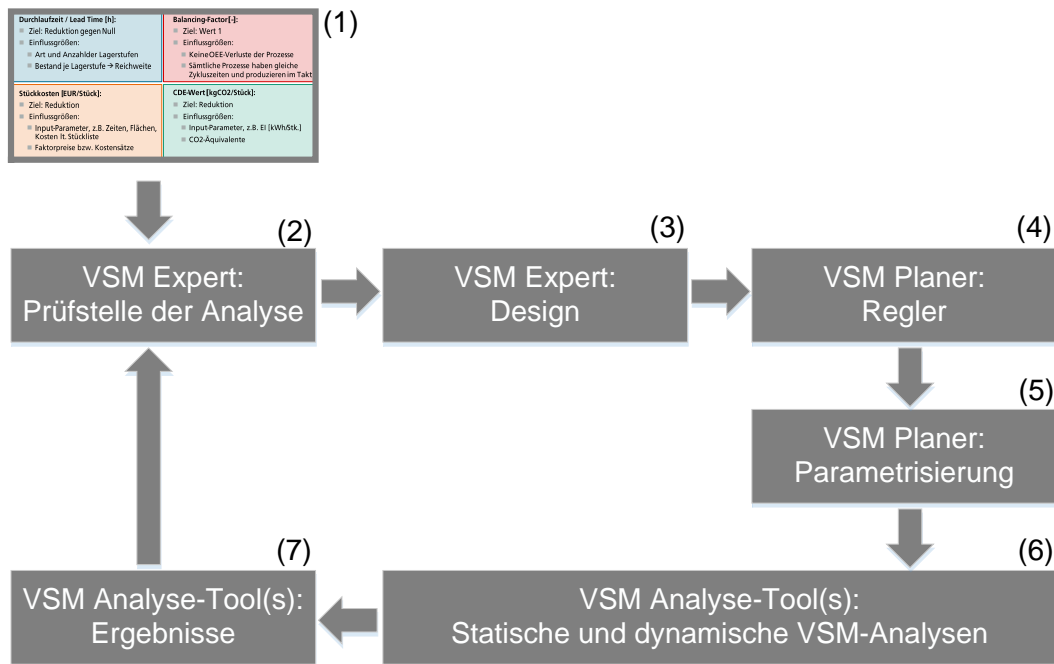


Abbildung 23: Regelkreis zur Verbindung von Zielsystem und Vorgehensmodell zum IT-gestützten VSM

Die Elemente im Regelkreis stehen dabei wie folgt in Abhängigkeiten zueinander: (1) das Zielsystem mit den o.g. vier Ausprägungen der gewählten Zielgrößen geben die Führungsgrößen vor und repräsentieren dabei die Unternehmensstrategie auf operativer Ebene, bspw. durch unterschiedliche Nutzensgewichtung der Zielgrößen; (2) im IT Artefakt (hier: VSM Expert) werden Analyse-Ergebnisse aus den verfügbaren VSM Tool(s) mit den Zielgrößen verglichen; (3) darauf aufbauend und mit den vorhandenen VSM-Design-Ansätzen werden Handlungsoptionen IT-gestützt erarbeitet ; automatisierte Hintergrundanalysen durch detaillierte Aufbereitung von Kennzahlen und Ressourceneinsätzen in den Elementen des Wertstroms zeigen größtmögliche Potentiale auf; (4) diese werden dem Wertstromplaner (hier: VSM Planer) als Entscheidungsunterstützung vorgelegt und in (5) die Ja/Nein-Entscheidung zur Parametrisierung des Zielzustands überführt; (6) als Regelstrecke der IT-gestützten Parametrisierung werden VSM-Analyse-Tool(s) (hier: VSM Tool zur statischen und Simulationsstudien zur dynamischen Bewertung) verwendet; (7) die Analyse-Ergebnisse der Regelstrecke werden anschließend für (2) aufbereitet.

In der dargestellten Form wird die von MELTON dargelegte Vorgehensweise (vgl. Melton, 2005) als geschlossener Regelkreis erweitert und so die PDCA-Vorgehensweise der kontinuierlichen, schrittweisen Verbesserung – bereits in der Parametrisierung – ermöglicht. Der erste Schritt wird durch die standardisierte VSM-Bewertung mit dem VSM Tool unterstützt,

in der unternehmensweiten VSM-Datenbank sind VSM-Daten als „Fakten“ (vgl. Kapitel 5.1) ähnlicher Wertströme verfügbar. Die Schritte 2 und 3 (Daten-Analyse, Design von Änderungen) sind im o.a. Regelkreis berücksichtigt, Schritt 4 (Änderung umsetzen) erfolgt nach abgeschlossener Parametrisierung und Schritt 5 (Erfolg messen) kann bereits während der IT-gestützten Parametrisierung durchgeführt werden (vgl. Ruiz- de- Arbulo- Lopez et al., 2013). Der vorgestellte Regelkreis der IT-gestützten Parametrisierung ist die Basis der Iterationen bzw. Iterationsschleifen im Vorgehensmodell.

4.4 Vorgehensmodell im Detail

Zur Beantwortung der Problemstellung und des Forschungsbedarfs (vgl. Kapitel 1.2) wird ein Vorgehensmodell entwickelt, welches die (hier: IT-gestützte) Parametrisierung des nächsten Zielzustands eines Wertstroms ermöglicht und das dem IT Artefakt (vgl. Kapitel 5) zugrunde liegt. Das Vorgehensmodell dient nach HEVNER et al. als Methode und definiert so den Prozess der Problemlösung sowie der Untersuchung des Lösungsraums (vgl. Hevner et al., 2004). Es orientiert sich dabei an einem Rahmen zur Top-down Einführung der fünf Lean-Prinzipien im Lean Management (vgl. Karim and Arif- Uz- Zaman, 2013) ebenso wie an einem Prozessmodell zum simulationsgestützten VSM (vgl. Ali et al., 2015).

Die vier Zielgrößen im Zielsystem werden primär im Vorgehensmodell berücksichtigt und mittels Iterationen schrittweise verbessert. Dabei werden jedoch auch andere Zielgrößen und Input-Parameter (indirekt) beeinflusst. Abbildung 24 zeigt neben der beschriebenen Trichterform des Vorgehensmodells auch die erforderlichen Schritte (STEPS [0-8]) im Überblick. Die darin enthaltenen, Top-down strukturierten Aktivitäten und Iterationsschritte (Schleifen, engl. „Loops“) leiten den Wertstromplaner durch die Handlungsoptionen des Entscheidungsprozesses und priorisieren dabei Aktionen mithilfe automatisierter, Bottom-up Hintergrund-Analysen. Dies ermöglicht eine Priorisierung der Handlungsfelder mit größtmöglichen Auswirkungen auf die Zielgrößen des Zielsystems. Hierbei unterstützt das Vorgehensmodell mittels PDCA-Iterationen, also mittels Überprüfung auf Wirksamkeit als Feedback-Loop anhand des zuvor vorgestellten Regelkreises. Ab STEP [5] werden die noch verfügbaren Handlungsoptionen eingeschränkt, da die größten Potentiale in den STEPS davor bereits bestmöglich erschlossen wurden. Der Trichter wird von STEP [1] bis zu STEP [8] hin schmaler, da die noch verfügbaren Handlungsoptionen immer weiter eingeschränkt werden und die Auswirkungen auf die Zielgrößen verstärkt abnehmen. Es wird jedoch hervorgehoben, dass der Trichter auch nach STEP [8] zumindest teilweise geöffnet ist, da die praktische Umsetzung im Zeitverlauf auch geringfügig andere Ergebnisse (positiv als auch negativ) als in der Parametrisierung aufweisen kann. In den jeweiligen STEPS wird der Bezug zwischen den darin enthaltenen Aktivitäten und den direkten (Pfeil) bzw. indirekten (strichlierter Pfeil) Auswirkungen auf die Zielgrößen des Zielsystems dargestellt.

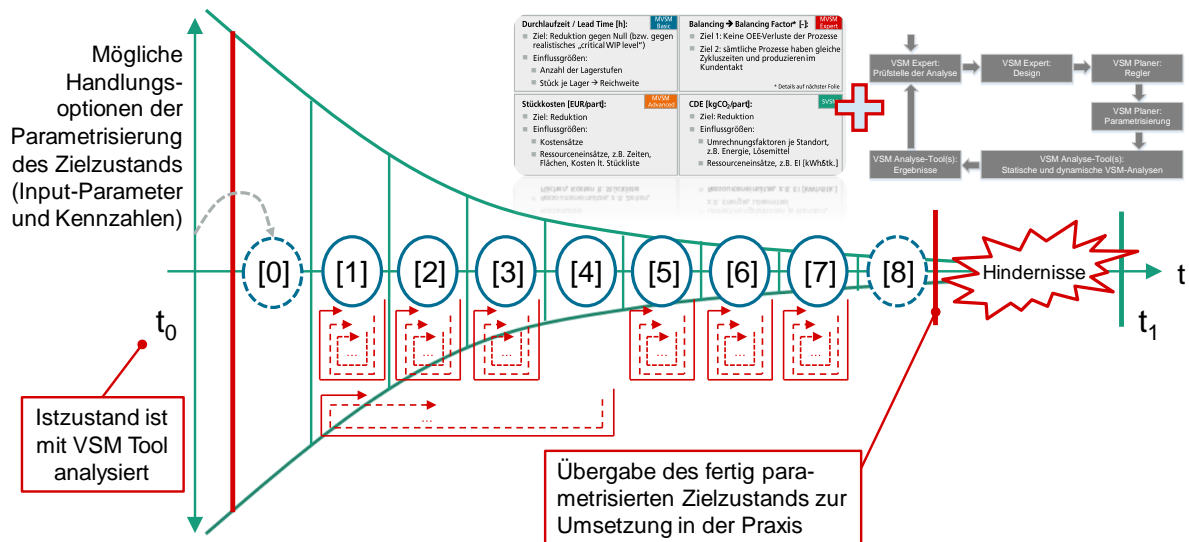


Abbildung 24: Zugrundeliegendes Vorgehensmodell im Detail

Durch das Vorgehensmodell mit den Top-down strukturierten Aktivitäten wird die Komplexität der Gesamtheit an möglichen Handlungsoptionen reduziert. Der Wertstromplaner wird dabei unterstützt, die zur Verbesserung der Kennzahlen des Wertstroms erforderlichen Maßnahmen effektiv und effizient zu erarbeiten. Es sind sowohl innerhalb der STEPS als auch STEPS-übergreifend Iterationen möglich. Der Wertstromplaner entscheidet selbst, wann welche Aktivitäten und Iterationen abgeschlossen sind und wann zu einem nachfolgenden STEP übergegangen werden kann. Das Vorgehensmodell, abgebildet im IT Artefakt, unterstützt den Anwender somit im Entscheidungsprozess dabei, die Zielgrößen des Zielsystems nachhaltig und realistisch zu parametrisieren und umzusetzen.

4.4.1 STEP [0]: Vorbereitung und Szenarienbildung

Es wird davon ausgegangen, dass zum Zeitpunkt t_0 der Istzustand des Wertstroms mit VSM Tool(s) – statisch (hier: VSM Tool) und/oder dynamisch (VSM Simulation) – umfassend analysiert und somit bekannt ist. Darauf aufbauend sind zukünftige Szenarien²⁵ in Form von unterschiedlichen Kundenbedarfen für den Zielzustand zum Zeitpunkt t_1 zu bilden. Grundsätzlich ist im VSM der Wertstrom auf das durchschnittliche (engl. „Average“) Szenario auszulegen. Darüber hinaus können jedoch (a) saisonale Verläufe bzw. (b) Bedarfsschwankungen (vgl. McDonald et al., 2012), (c) Minimum und Maximum²⁶ oder (d) Anlaufverhalten (vgl. Bokranz and Landau, 2012, p. 53) von Bedeutung sein, welche im VSM Tool abzubilden sind. Mit dem Einsatz von Simulationssoftware im Design einer FSM bzw. eines Zielzustands werden in STEP [0] deshalb folgende, zusätzliche Schritte erforderlich (Details siehe STEP [4]):

²⁵ Szenarien im IT-gestützten VSM beziehen sich auf die Abbildung von prognostiziertem Kundenverhalten zum Zeitpunkt t_1 (d.h. Stückzahlen pro Schicht, Tag, Woche, etc.)

²⁶ Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden Minimum und Maximum berücksichtigt.

Tabelle 7: Aktivitäten in STEP [0]

ID	Beschreibung der Top-down strukturierten Aktivitäten
[0.1]	Vorbereitende Analyse und Aufbereitung des dynamischen Kundenverhaltens sowie Festlegung für den Zeitpunkt t_1 <ul style="list-style-type: none"> • Festlegung (Beibehaltung oder Änderung) des durchschnittlichen Kundenbedarfs (Average-Szenario) • Festlegung (Beibehaltung oder Änderung) des maximalen Kundenbedarfs (Average-Szenario) • Festlegung (Beibehaltung oder Änderung) des minimalen Kundenbedarfs (Average-Szenario)
[0.2]	Durchführung einer statischen Bewertung der CSM zum Zeitpunkt t_0 mit dem VSM Tool und Festhalten von: <ul style="list-style-type: none"> • Ausprägungen der Input-Parameter • Ausprägungen der lokal berechneten Kennzahlen • Ausprägungen der graphenbasiert berechneten Kennzahlen • Ausprägungen der Zielgrößen des Zielsystems
[0.3]	Inhalte aus STEP [4]: Durchführung einer Simulationsstudie zur dynamischen Bewertung der CSM zum Zeitpunkt t_0 mit dem Kundenverhalten für t_1 als Eingangsgröße „Durchsatz“ (vgl. Lian and Van Landeghem, 2002) <ul style="list-style-type: none"> • Auswertung von Beständen • Auswertung von Durchlaufzeiten • Auswertung von Auslastungen der Prozesse • Auswertung des Lieferservicegrads
[0.4]	Festlegung (Beibehaltung oder Änderung) der Anzahl der Fabrikstage je Jahr für den zu betrachtenden Wertstrom für den Zeitpunkt t_1

Die Auswirkungen der unterschiedlichen Szenarien sind direkt in den VSM-Kennzahlen und auch im Zielsystem ersichtlich. Parallel zum durchschnittlichen Tagesbedarf (z.B. bezogen auf den Jahresbedarf (vgl. Erlach, 2010, p. 47)) werden die Auswirkungen auf die unterschiedlichen Szenarien betrachtet, was unmittelbare Auswirkungen auf die Parametrisierung hat (z.B. als bewusst eingegangene Verluste im Taktabstimmungsdiagramm bzw. OBC).

Der Wertstrom zum Zeitpunkt t_0 repräsentiert dabei einen realen Wertstrom mit realen Faktoreinsätzen und realen Kennzahlen als CSM (engl. „Current state map“). Ab dem Zeitpunkt der Szenarienbildung in STEP [0] ist der im VSM Tool modellierte und analysierte Wertstrom als „virtueller Wertstrom“ bzw. als virtuelle FSM (engl. „Future state map“) und somit als ein Bestandteil der „digitalen Fabrik“ zu sehen (vgl. VDI, 2011a, sec. Blatt 2, p. 3f). Diese virtuelle FSM kann anschließend dem IT Tool VSM Expert zur Parametrisierung für den Zeitpunkt t_1 übergeben werden (vgl. Hempten, 2014, p. 46; Sunk et al., 2015).

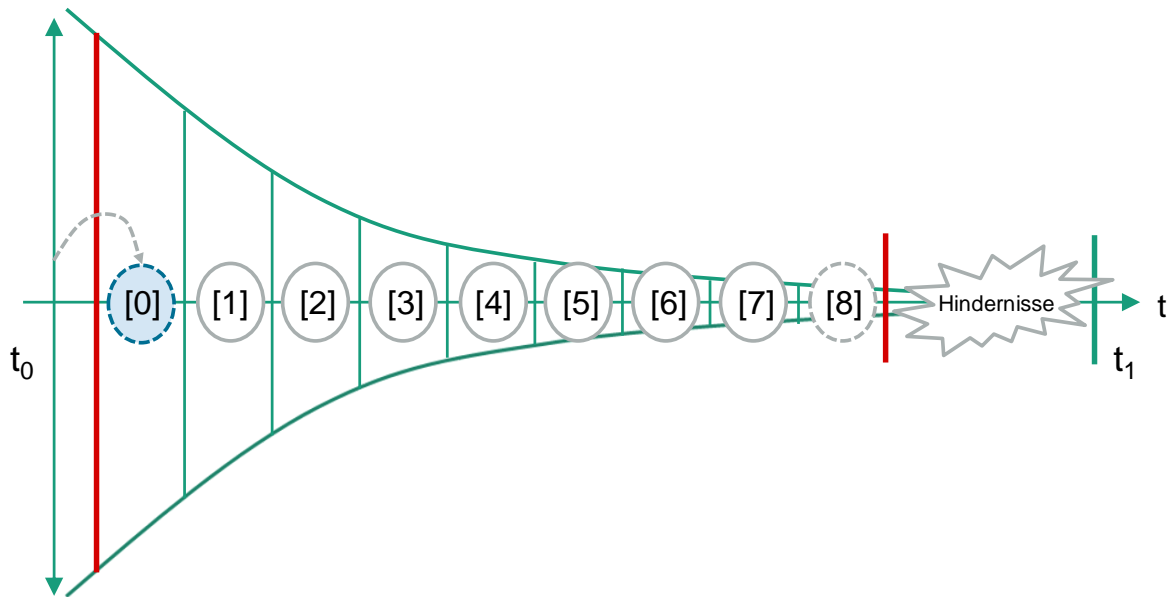


Abbildung 25: STEP [0] im Vorgehensmodell

4.4.2 STEP [1]: Grob-Parametrisierung der Elemente im Wertstrom

Nach Festlegung der Szenarien für t_1 wird in STEP [1] die Grob-Parametrisierung der Elemente im virtuellen Wertstrom betrachtet, analysiert und parametrisiert. Als Grundlage hierfür zählt das übergeordnete Zielsystem, indem die Zielgrößen mit der Ist-Parametrisierung vom Zeitpunkt t_0 für die Szenarien des Zeitpunkts t_1 berechnet werden.²⁷ Dabei ist wieder zu beachten, dass das Average-Szenario aus STEP [0] maßgebliche Bedeutung für die Parametrisierung hat, die weiteren Szenarien jedoch Randbedingungen für den Wertstromplaner im Rahmen der Entscheidungsfindung in den weiteren STEPS liefern.

Die Grob-Parametrisierung beschäftigt sich mit Anzahl und Art der Elemente im Wertstrom. In der Graphentheorie entsprechen die Prozesse und Lagerstufen den Knoten, Transporte wiederum repräsentieren die zugehörigen Kanten. Die Anzahl der Transportpfeile ergibt sich somit aus den Materialflüssen zwischen den definierten Prozessen und Lagerstufen als Quellen und Senken. Darüber hinaus werden in STEP [1] das Brutto-Kapazitätsangebot der Prozesse (d.h. Netto-verfügbare Arbeitszeit) sowie grundlegende Ressourcen (Angebote und Bedarfe) parametrisiert. Dabei werden aus den 7 Leitlinien (vgl. Rother et al., 2011, p. 35ff) bzw. 10 Gestaltungsrichtlinien (vgl. Erlach, 2010, p. 117ff) die kapazitiven Auslegungen der Prozesse am Kundentakt (I) und flussorientiertes Ideal-Layout (X) im Wertstrom adressiert. Die Top-down strukturierten Aktivitäten in der IT-gestützten Parametrisierung in STEP [1] sind deshalb wie folgt (Tabelle 8):

Tabelle 8: Aktivitäten in STEP [1]

ID	Beschreibung der Top-down strukturierten Aktivitäten
[1.1a]	Festlegung der Anzahl an Prozessen (Prozesstechnologie) im Wertstrom <ul style="list-style-type: none"> • Beibehaltung der Anzahl an Prozessen

²⁷ Wenn sich keine Änderung in den Szenarien ergeben hat, so hat dies keine Auswirkungen auf die Zielgrößen des Zielsystems, d.h. in STEP 0 wurden keine Änderungen getätigt.

	<ul style="list-style-type: none"> ○ Anzahl paralleler, gleichartiger Prozesse (Arbeitsplätze, Maschinen, Kavitäten, etc.) ○ Anzahl serieller Prozesse ● Änderung der Anzahl an Prozessen <ul style="list-style-type: none"> ○ Anzahl paralleler, gleichartiger Prozesse ○ Anzahl serieller Prozesse
[1.1b]	Festlegung der Arten der Prozesse (Prozesstechnologie) im Wertstrom <ul style="list-style-type: none"> ● Beibehaltung der Prozesstechnologie je Prozess ● Änderung der Prozesstechnologie je Prozess
[1.1c]	Festlegung der „ groben “ Input-Parameter der Prozesse (Prozesstechnologie) im Wertstrom <ul style="list-style-type: none"> ● Festlegung (Beibehaltung oder Änderung) des Schichtmodells je Prozess <ul style="list-style-type: none"> ○ Durchschnittliche Anzahl Schichten je Fabriktag ○ Berücksichtigung des Pausenmodells zur Festlegung der Nettoverfügbaren Arbeitszeit ○ → Abstimmung mit dem Kundentakt ● Festlegung (Beibehaltung oder Änderung) der Anzahl (Produktions-)Mitarbeiter je Prozess je Fabriktag ● Festlegung (Beibehaltung oder Änderung) des benötigten Brutto-Flächenbedarfs → unter Berücksichtigung der Layout-Anordnung
[1.2a]	Festlegung der Anzahl an Lagerstufen (Lagerungsart) im Wertstrom <ul style="list-style-type: none"> ● Beibehaltung der Anzahl an Lagerstufen <ul style="list-style-type: none"> ○ Anzahl paralleler, gleichartiger Lagerstufen ○ Anzahl serieller Lagerstufen ● Änderung der Anzahl an Lagerstufen <ul style="list-style-type: none"> ○ Anzahl paralleler, gleichartiger Lagerstufen ○ Anzahl serieller Lagerstufen
[1.2b]	Festlegung der Arten der Lagerstufen (Lagerungsart) im Wertstrom <ul style="list-style-type: none"> ● Beibehaltung der Lagerungsart je Lagerstufe ● Änderung der Lagerungsart je Lagerstufe
[1.2c]	Parametrisierung der Gebindearten in Lagerstufen im Wertstrom (Haupt-Materialfluss) <ul style="list-style-type: none"> ● Festlegung (Beibehaltung oder Änderung) der Gebindeart je Lagerstufe ● Festlegung (Beibehaltung oder Änderung) des erforderlichen Flächenbedarfs je Gebindeart ● Festlegung der Anzahl Teile in Stück je Gebinde ● Ermittlung (Beibehaltung oder Änderung) des erforderlichen Flächenbedarfs je Stück
[1.2d]	Parametrisierung der Gebindearten in Lagerstufen im Wertstrom (BOM-Teile) <ul style="list-style-type: none"> ● Festlegung (Beibehaltung oder Änderung) der Gebindeart je Lagerstufe ● Festlegung (Beibehaltung oder Änderung) des erforderlichen Flächenbedarfs je Gebindeart ● Festlegung der Anzahl Teile in Stück je Gebinde
[1.2e]	Festlegung der „ groben “ Input-Parameter der Lagerstufen (Lagerungsarten) im Wertstrom <ul style="list-style-type: none"> ● Festlegung (Beibehaltung oder Änderung) der Anzahl (Logistik-)Mitarbeiter je Lagerstufe je Fabriktag ● Festlegung (Beibehaltung oder Änderung) der Handlingszeit je Stück je Lagerstufe

	<ul style="list-style-type: none"> • Festlegung (Beibehaltung oder Änderung) der Anzahl an Gebinden bzw. Stück je Lagerstufe zur Reichweiten-Berechnung <ul style="list-style-type: none"> ○ Durchschnittswert ○ Maximalwert ○ Minimalwert(e) → Bestellbestand und Sicherheitsbestand (vgl. Gudehus, 2012, p. 91ff) • Festlegung (Beibehaltung oder Änderung) des benötigten Brutto-Flächenbedarfs je Lagerstufe → unter Berücksichtigung der Layout-Anordnung (Haupt-Materialfluss) • Festlegung (Beibehaltung oder Änderung) des darin inkludierten Brutto-Flächenbedarfs der BOM-Teile → unter Berücksichtigung der Layout-Anordnung
[1.3a]	<p>Festlegung der Anzahl an Transporten (Transportmittel) im Wertstrom</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ziel: Vervollständigung der Quelle-Senke Beziehungen • Ggf. Adaption der Anzahl an Transporten <ul style="list-style-type: none"> ○ Anzahl paralleler, gleichartiger Transporte ○ Anzahl serieller Transporte ○ → Berücksichtigung der Verzweigungen im Materialfluss
[1.3b]	<p>Festlegung der Arten der Transporte (Transportmittel) im Wertstrom</p> <ul style="list-style-type: none"> • Beibehaltung des Transportmittels je Transport • Änderung des Transportmittels je Transport • → Berücksichtigung der Verzweigungen im Materialfluss
[1.3c]	<p>Parametrisierung der Gebindearten in Transporten im Wertstrom (Haupt-Materialfluss)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Festlegung (Beibehaltung oder Änderung) der Gebindeart je Transport • Festlegung der Anzahl Teile in Stück je Gebinde
[1.3d]	<p>Festlegung der „groben“ Input-Parameter der Transporte (Transportmittel) im Wertstrom</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ziel: Vervollständigung der Quelle-Senke Beziehungen • Aufteilungen des Materialflusses (Summe der ausgehenden Materialflüsse je Quelle ist 100%) • Festlegung (Beibehaltung oder Änderung) der benötigten Transportstrecke (ohne Retourweg) → unter Berücksichtigung der Layout-Anordnung • Festlegung (Beibehaltung oder Änderung) der benötigten Transportzeit je Transportvorgang (ohne Retourweg) • Festlegung (Beibehaltung oder Änderung) der Anzahl an Gebinde bzw. Stück je Transportvorgang (ohne Retourweg) → Anmerkung: Gebindeart zuvor in Lagerstufe (= Quelle) definiert • Festlegung (Beibehaltung oder Änderung) der Anzahl (Logistik-)Mitarbeiter je Transport je Fabriktag

In STEP [1] werden die Zielgrößen des Zielsystems in unterschiedlichem Ausmaß beeinflusst und verbessert. Primär wird versucht, die Zielgröße „Durchlaufzeit“ des Zielsystems zu verbessern, gefolgt vom „Balancing-Factor“ und den „Stückkosten“. Der „CDE-Wert“ wird nicht aktiv beeinflusst. In den STEPS 3 und 4 hat aufgrund der Analyse- und der Design-Ergebnisse eine erneute Grob-Parametrisierung zu erfolgen, bspw. sind hier eine FIFO-Kopplung von Prozessen oder eine erforderliche, neue Parametrisierung der Lagerbestände in Stück zu nennen.

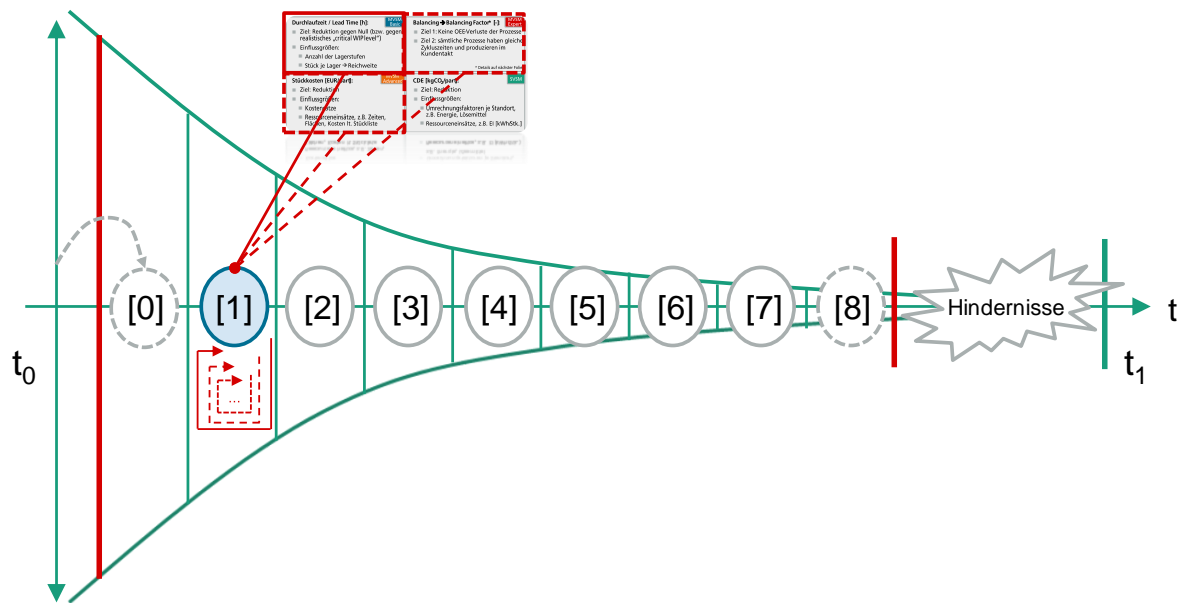


Abbildung 26: STEP [1] im Vorgehensmodell

Die Top-down strukturierten Aktivitäten werden in STEP [1] im IT Artefakt durch Bottom-up strukturierte Hintergrund-Analysen und durch (automatisierte) Design-Vorschlägen unterstützt (siehe Kapitel 6.2). Eine Priorisierung der Analysen und, in weiterer Folge, der Handlungsalternativen in STEP [1] erfolgt nach Kostentreibern im Wertstrom der Zielgröße „Stückkosten“ im Zielsystem. Die Stellhebel zur Beeinflussung der Stückkosten nehmen von Prozessen über Lagerstufen bis hin zu den Transporten kontinuierlich ab. Im IT Artefakt werden dem Wertstromplaner die Ergebnisse der Hintergrund-Analysen ebenso wie die vorgeschlagenen Handlungsalternativen in geeigneter Weise aufbereitet und zur Entscheidungsfindung vorgelegt – vgl. Interaktionsbereich in Kapitel 6.1.5.

4.4.3 STEP [2]: Parametrisierung des Informationsflusses

In STEP [2] werden organisatorische Rahmenbedingungen der Grob-Parametrisierung des Wertstroms detailliert betrachtet, analysiert und parametrisiert. Primäres Ziel dabei ist die Reduktion der Bestände in den Lagerstufen, um somit auch die Durchlaufzeit als übergeordnete Zielgröße im Zielsystem zu reduzieren (vgl. Design-Ansätze aus Kapitel 3.2). Im Detail werden auf Grundlage der definierten Bestände in STEP [1] die zugehörigen Steuerungslogiken festgelegt, um einem „kontinuierlichen Ein-Stück-Fluss im Kundentakt“ näher zu kommen. Sind in den Lagerstufen unterschiedliche Varianten des Fertigprodukts vorhanden, so sind die Parametrisierungen der Bestände auf jede Variante einzeln anzuwenden. Weiters sind die Bestände der Varianten der BOM-Teile zu parametrisieren und der Informationsfluss des Wertstroms in geeigneter Form auszulegen. STEP [2] steht in enger Wechselwirkung mit STEP [1], sofern eine Änderung vorzunehmen ist. Im Wesentlichen handelt es sich dabei um die Festlegung (Beibehaltung oder Änderung) der erforderlichen Maßnahmen zur Implementierung einer JIT-Produktion. Damit soll der Wertstrom von einer zentralen Push- zu einer dezentral organisierten Pull-Steuerung umgestellt werden (vgl. Sihn et al., 2016, p. 110ff).

Dabei werden aus den 7 Leitlinien (vgl. Rother et al., 2011, p. 35ff) bzw. aus den 10 Gestaltungsrichtlinien (vgl. Erlach, 2010, p. 117ff) die Prozessintegration (II), die FIFO-Kopplung (III) und Kanban-Kopplung (IV), die Identifikation und Festlegung des Schrittmacher-Prozesses (V), die Festlegung der Freigabeeinheit (VI), der Produktionsmix-Ausgleich (VII) und auch die (Engpass-) Steuerung (VIII) im Wertstrom adressiert. Dies ist jedoch nur durch umfangreicher Kenntnis des Kundenverhaltens (aus: Vergangenheitsdaten oder Forecast des Produktionsprogramms) sowie unter Berücksichtigung des dynamischen Verhaltens des Wertstroms auf Basis eines realen Produktionsprogramms möglich (vgl. Esfandyari et al., 2011; McDonald et al., 2012; Reményi and Staudacher, 2014). Die Top-down strukturierten Aktivitäten in der IT-gestützten Parametrisierung in STEP [2] sind deshalb wie folgt (vgl. Tabelle 9):

Tabelle 9: Aktivitäten in STEP [2]

ID	Beschreibung der Top-down strukturierten Aktivitäten
	Auswahl einer für die FSM geeigneten Steuerung des Wertstroms (vgl. Kapitel 3.2.3) ²⁸
[2.1]	Festlegung (Beibehaltung oder Änderung) der FIFO-Kopplung von Prozessen
[2.2]	Festlegung (Beibehaltung oder Änderung) der Kopplung von Prozessen mittels FIFO-Bahnen
[2.3]	Festlegung (Beibehaltung oder Änderung) der CONWIP-Kopplung von Prozessen bzw. Prozessgruppen <ul style="list-style-type: none"> • CONWIP-Loop, ggf. einer gemischten MTS- und MTO-Produktionsstrategie (vgl. Hopp and Spearman, 2011)
[2.4]	Festlegung (Beibehaltung oder Änderung) der Kanban-Kopplung von Prozessen
	Festlegung (Beibehaltung oder Änderung) der erforderlichen Maßnahmen zur Implementierung einer JIT-Produktion
[2.5]	Identifikation des Schrittmacher-Prozesses (V): <ul style="list-style-type: none"> • Identifikation des Schrittmacher-Prozesses im Wertstrom aufgrund der Variantenerzeugung → Indikator: (hinterlegte) Stückliste bzw. Variantenstückliste • Festlegung einer geeigneten Ansteuerung des Schrittmacher-Prozesses (Art, Freigabeeinheit (VI) und Produktionsmix auf Basis von Vergangenheitsdaten bzw. des Forecasts/ Produktionsprogramms (VII) • Bottleneck (vgl. Erlach, 2010)
[2.6]	ACHTUNG: Idealerweise sind Schrittmacher und Bottleneck Prozesse auf derselben Stufe (falls diese parallel sind), jedoch wird in der Fachliteratur eine Klarstellung der Begriffe gefordert (vgl. Serrano et al., 2008). Identifikation des Bottlenecks (Atieh et al., 2015) zur Engpass-Steuerung (XIII): <ul style="list-style-type: none"> • Identifikation des primären Engpasses im Wertstrom bzw. der Engpässe und ggf. der Veränderung der Zykluszeit (engl. „Cycle time“ (CT)) • Identifikation weiterer, kritischer Engpässe und ggf. Veränderung der Zykluszeiten (CT) nach Engpassverschiebung, falls dies die Ergebnisse der Simulationsstudie in STEP [4] erfordern • Festlegung einer geeigneten Ansteuerung des Engpass-Prozesses (Art, Freigabeeinheit (VI) und Produktionsmix auf Basis von Vergangenheitsdaten bzw. des Forecasts/ Produktionsprogramms • Schrittmacher (vgl. Erlach, 2010)

²⁸ „Bei unveränderter Logik der Produktionssteuerung kann die Bestandreichweite nur durch Reduktion der Losgrößen verringert werden.“ (Erlach, 2010, p. 105)

[2.7]	<p>Durchführung einer EPEI-Bewertung (vgl. Erlach, 2010, p. 72ff) bzw. EFEI-Bewertung (vgl. Bohnen et al., 2013) am Bottleneck bzw. Schrittmacher-Prozess (Anm.: sofern bereits bekannt) zur Schaffung der geforderten/gewünschten Variantenflexibilität in Abhängigkeit der zuvor definierten Steuerung des Wertstroms</p> <ul style="list-style-type: none"> • Losgrößen je Variante je Prozess, bspw. EOQ und EPL (vgl. Hopp and Spearman, 2011, p. 53ff) • Fixe oder variable Rüstzeit zwischen Varianten (z.B. großes und kleines Umrüsten) je Prozess festlegen • Statische Berechnung der Wiederbeschaffungszeiten für nachgelagerte Prozesse für die Kopplungsarten <ul style="list-style-type: none"> ○ Prozessintegration erfolgt direkt (WBZ=0) ○ FIFO-Kopplung über FIFO-Dimensionierung bzw. EPEI-Wert ○ Kanban-Kopplung über EPEI-Wert • Änderung bzw. Anpassung der Losgrößen der Varianten in Prozessen (VII), falls statische oder dynamische Bewertungen (Anmerkung: durch Hinweise aus der Simulationsstudie in STEP [4]) dies erfordern • Änderung bzw. Anpassung der Bestände in Lagerstufen (d.h. Puffer), falls statische oder dynamische Bewertungen (Anmerkung: durch Hinweise aus der Simulationsstudie in STEP [4]) dies erfordern
[2.8]	<p>Festlegung der Auftragserzeugung und Auftragsfreigabe am Bottleneck bzw. Schrittmacher-Prozess und den anderen Prozessen im Wertstrom</p> <ul style="list-style-type: none"> • Automatische, dezentrale Pull-Steuerung (vgl. Rother and Shook, 2003) • Alternativ: Zentrale Push-Steuerung • Freigabelisten und Prioritätslisten (vgl. Hopp and Spearman, 2011) • TOC (vgl. Goldratt and Cox, 2013) • MRP Synchro (vgl. Bertolini et al., 2013), WLC (vgl. Marangoni et al., 2013), POLCA oder VMI (vgl. Zammori et al., 2009) • MES-Funktionalitäten (vgl. Roessler et al., 2015)
[2.9]	<p>Betrachtung der Inbound-Materialflüsse (Wiederbeschaffungszeiten und Bestände)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wareneingang (DLZ-relevant) <ul style="list-style-type: none"> ○ Anbindung der Kundenabrufe beim Versandprozess an die PPS ○ Anbindung des Haupt-Lieferanten des Wertstroms an die PPS ○ Berücksichtigung bzw. Auslegung der Wiederbeschaffungszeiten ○ (Ggf. Kapitalbindung) • Bestände und Prozesse außerhalb des Haupt-Materialflusses (BOM-Teile → nicht relevant für die Durchlaufzeit-Berechnung, da nicht im Haupt-Materialfluss) <ul style="list-style-type: none"> ○ Materialbereitstellung an den Prozessen (JIT/JIS, Kanban-Pull) sowie Bestandsreichweiten der Varianten-Stücklisten je Prozess ○ Berücksichtigung bzw. Auslegung der Wiederbeschaffungszeiten ○ (Ggf. Kapitalbindung)
[2.10]	<p>Festlegung (Beibehalten oder Änderung) der Wertstrom-Symbole zur Beschreibung des Informationsflusses bzw. der Ansteuerung der Prozesse für die FSM des virtuellen Wertstroms</p>
[2.11]	<p>Hinzufügen, Beibehalten bzw. Ändern der textuellen Beschreibungen zur Erklärung des Informationsflusses</p>

In STEP [2] wird die Zielgröße „Durchlaufzeit“ des Zielsystems direkt beeinflusst, die „Stückkosten“, aufgrund der Kapitalbindung in den Lagerstufen, nur indirekt. Die Parametrisierung hat keinen Einfluss auf den „Balancing-Factor“ und den „CDE-Wert“. In STEP 4 wird der Informationsfluss zur Steuerung der Prozesse in das Simulationsmodell übernommen und überprüft. Allfällige Änderungen sind in den STEPS [1] und [2] zu tätigen.

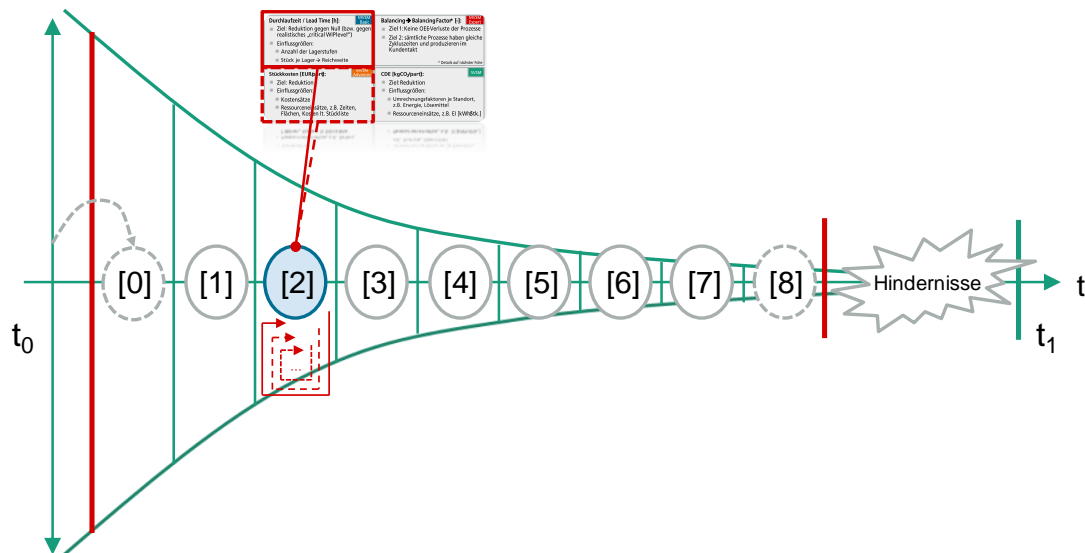


Abbildung 27: STEP [2] im Vorgehensmodell

Die Top-down strukturierten Aktivitäten werden in STEP [2] im IT Artefakt durch Bottom-up strukturierte Hintergrund-Analysen und (automatisierte) Design-Vorschlägen unterstützt (siehe Kapitel 6.2). Eine Priorisierung der Analysen und deshalb der Handlungsalternativen in STEP [2] erfolgt nach den 7 Leitlinien (vgl. Rother et al., 2011, p. 35ff) bzw. nach den 10 Gestaltungsrichtlinien (vgl. Erlach, 2010, p. 117ff). Anzustrebender Idealzustand ist der „Kontinuierliche Ein-Stück-Fluss“, wobei daraus abgeleitet FIFO-Kopplung, FIFO- bzw. CONWIP-Bahnen und Kanban-Supermärkte zu implementieren sind. Im IT Artefakt werden die Ergebnisse der Hintergrund-Analysen ebenso wie die vorgeschlagenen Handlungsalternativen dem Wertstromplaner in geeigneter Weise aufbereitet und ausgewiesen – vgl. Interaktionsbereich in Kapitel 6.1.5.

4.4.4 STEP [3]: Fein-Parametrisierung der Prozesse

Die Fein-Parametrisierung in STEP [3] beschäftigt sich im Detail mit den Input-Parametern der Prozesse. Dabei wird vor allem das tatsächlich verfügbare Netto-Kapazitätsangebot der Prozesse hinsichtlich des lokalen Kundentakts parametrisiert, um dem anzustrebenden Charakteristikum Produktion „(...) im Kundentakt“ des Idealzustands (vgl. Kapitel 2.6) zu entsprechen. Vorrangig wird deshalb der Balancing-Factor des Zielsystems beeinflusst. Dabei werden aus den 7 Leitlinien (vgl. Rother et al., 2011, p. 35ff) bzw. aus den 10 Gestaltungsrichtlinien (vgl. Erlach, 2010, p. 117ff) die kapazitiven Auslegungen der Prozesse am Kundentakt (I), die Trennung von Produktion und Materialfluss, sowie (IX) die Eliminierung von Verschwendung (vgl. Ōno, 1988) in den Prozessen (d.h. Zeiten (vgl. Kuhlant et al., 2011)) des Wertstroms adressiert. Transporte und Lagerstufen werden in STEP [3] nicht

parametrisiert. Die Top-down strukturierten Aktivitäten in der IT-gestützten Parametrisierung in STEP [3] sind deshalb wie folgt (Tabelle 10):

Tabelle 10: Aktivitäten in STEP [3]

ID	Beschreibung der Top-down strukturierten Aktivitäten
	Festlegung (Beibehaltung oder Änderung) des Netto-verfügbaren Kapazitätsangebots für die Ausrichtung der Prozesse am Kundentakt unter Anlehnung an die OEE-Bewertung (vgl. Muthiah and Huang, 2006)
[3.1]	Identifikation und Bestimmung des wertschöpfenden Zeitanteils der Zykluszeit <ul style="list-style-type: none"> • %-Anteil an wertschöpfender Zeit (engl. „Value adding time“ (VA)) (vgl. Müller et al., 2014) → Reduktion! • %-Anteil an nicht-wertschöpfender Zeit (engl. „Non-value adding time“ (NVA)) (vgl. Müller et al., 2014) <ul style="list-style-type: none"> ○ %-Anteil unterstützende Zeit → Reduktion! ○ %-Anteil Verschwendung („Muda“) (Womack and Jones, 2003) → Eliminierung!
[3.2]	OEE: Verfügbarkeitsfaktor und Qualitätsfaktor → ATT (engl. „Adjusted takt time“) <ul style="list-style-type: none"> • Festlegung (Beibehaltung oder Änderung) der geplanten Stillstandzeiten je Prozess • Festlegung (Beibehaltung oder Änderung) der ungeplanten Stillstandzeiten je Prozess • Festlegung (Beibehaltung oder Änderung) der lokalen Ausschussraten je Prozess • → Berücksichtigung der kumulierten Ausschussraten (graphenbasiert berechnete Kennzahl je Prozess)
[3.3]	OEE: Leistungsfaktor <ul style="list-style-type: none"> • Beeinflussbarkeit der Zykluszeit (CT) • Parametrisierung der Geschwindigkeitsverluste → ideale Zykluszeit (CT_{id})
[3.4]	Ggf. Parametrisierung der Zykluszeiten zum Angleichen an den lokalen Kundentakt je Prozess → Überlappen, Splitten, Beschleunigen als Design-Ansätze (vgl. Sihm et al., 2016, p. 91f) und auch als Kavitäten/parallele Ressourcen in STEP [1]

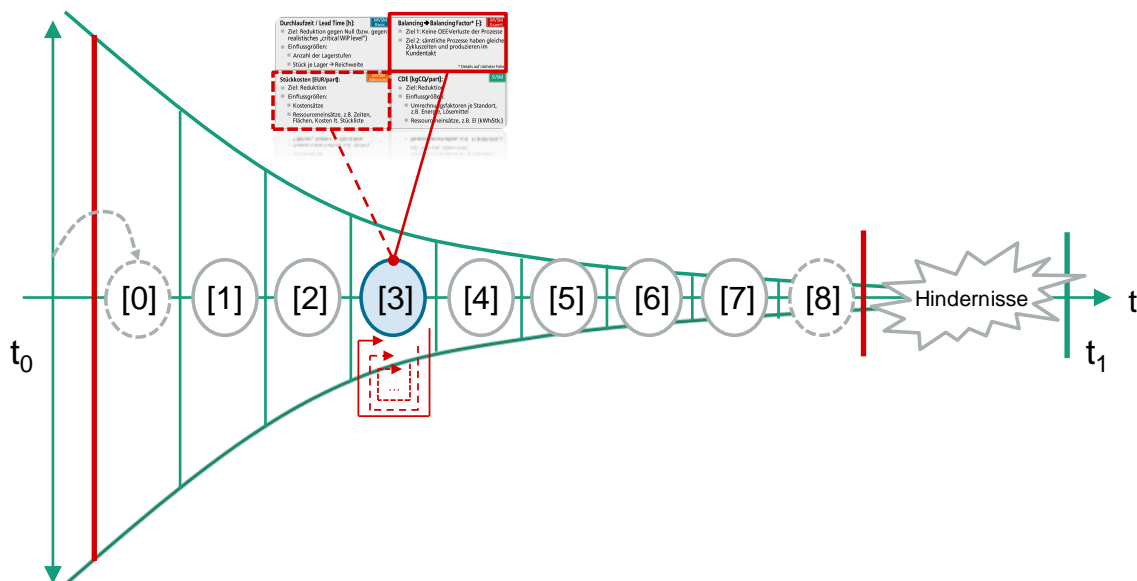


Abbildung 28: STEP [3] im Vorgehensmodell

In STEP [3] wird die Zielgröße „Balancing-Factor“ des Zielsystems direkt beeinflusst. Die Parametrisierung hat keinen Einfluss auf die „Stückkosten“, den „Balancing-Factor“ und den „CDE-Wert“. Für STEP 4 werden sowohl die Grob- als auch die Fein-Parametrisierung in das Simulationsmodell übernommen und überprüft. Allfällige Änderungen sind lt. Vorgehensmodell in den STEPS [1] und [3] zu tätigen.

4.4.5 STEP [4]: Simulationsstudien im VSM

In STEP [4] werden die bis dahin veränderte Konfiguration sowie die verbesserten/geänderten Input-Parameter, ebenso wie der Informationsfluss zur PPS mittels Simulationsstudie(n) überprüft. Ziel ist der Erkenntnisgewinn über den aktuellen Zustand der Parametrisierung hinsichtlich weiterer Optimierungspotentiale einerseits und hinsichtlich bisheriger, kritischer Parametrisierungen andererseits, um diese ggf. rückgängig zu machen. Es wird somit die grundsätzliche Realisierbarkeit unter bestimmten Randbedingungen überprüft, was vertiefenden, ergänzenden Analysen des Wertstroms entspricht. STEP [4] kann deshalb in STEP [0] als auch nach STEP [7] durchgeführt werden, wobei die Auswirkungen der IT-gestützten Parametrisierung nach STEP [3] sinnvoll überprüfbar sind.

Grundsätzlich eignen sich Wertströme als Objekte für dynamische und diskrete Simulationen (vgl. Helleno et al., 2015). Der Detaillierungsgrad der Simulationsstudie im VSM ist abhängig von: (a) der Datenstruktur der IT-gestützten Wertstrom-Analyse (hier: VSM Tool); (b) dem Vorhandensein eines realitätsgetreuen Produktionsprogramms (als diskrete, externe Ereignisse) und (c) Kenntnissen über statistische Verteilungen von Ankunfts- und Abfertigungsraten im Wertstrom. Die IT-gestützte Wertstromanalyse entspricht aufgrund der verwendeten Durchschnittswerte an Input-Parametern zur VSM-Kennzahlen-Berechnung einer statischen Simulation. Für die Erstellung eines dynamischen Simulationsmodells sowie zur Durchführung von VSM-Simulationsstudien sind die Top-down strukturierten Aktivitäten in der IT-gestützten Parametrisierung in STEP [4] – basierend auf Kapitel 3.2.4 – deshalb wie folgt (Tabelle 11):

Tabelle 11: Aktivitäten in STEP [4]

ID	Beschreibung der Top-down strukturierten Aktivitäten
Erstellung des VSM-Simulationsmodells	
[4.1a]	<p>Übergabe des mit dem VSM Tool analysierten Wertstroms in die Simulationssoftware.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Übergabe der Input-Parameter zur Definition der finiten Ressourcen im Wertstrom <ul style="list-style-type: none"> ○ Knoten: Prozesse und Lagerstufen ○ Kanten: Materialfluss <ul style="list-style-type: none"> ▪ Aufteilung des verzweigten Materialflusses ▪ Lokale und kumulierte (= graphenbasiert berechnete) Ausschussraten • Übergabe der lokal und graphenbasiert berechneten Kennzahlen
[4.1b]	<p>Festlegung und Bildung von Warteschlangen-Systemen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bestand der Lagerstufen → Warteschlange <ul style="list-style-type: none"> ○ Durchschnittsbestand ○ Maximalbestand ○ Sicherheitsbestand und Meldebestand

	<ul style="list-style-type: none"> • Abfertigungsraten der Prozesse je Warteschlangensystem → Zykluszeit p_i • Ankunftsrate der vorgelagerten Warteschlangensysteme → Zykluszeit p_{i-1} • Festlegung der statistischen Verteilungen von Ankunfts- und Abfertigungsraten, da diese nicht in der statischen VSM-Analyse mit dem VSM Tool verfügbar sind • → auftretende Variabilität in Zeiten, BOM-Teilen etc. in den Elementen des Wertstroms reduziert die Leistungsfähigkeit des Wertstroms (vgl. Hopp and Spearman, 2011, p. 264ff) • Anmerkung 1: Transporte werden vereinfacht als infinite Ressourcen angesehen und sind somit nicht relevant für Ankunftsrate • Anmerkung 2: die Berücksichtigung des dynamischen Lieferantenverhaltens (vgl. Gudehus, 2012) ist für BOM-Teile nicht erforderlich, da die Materialversorgungen nicht im Haupt-Materialfluss des Wertstroms angeordnet sind
[4.1.c]	Integration des Informationsflusses zur Steuerung der Warteschlangensysteme in das VSM-Simulationsmodell je nach verwendetem Konzept (Lian and Van Landeghem, 2002); (Coppini et al., 2011); (Lu et al., 2011); (Reményi and Staudacher, 2014)
[4.1.d]	Produktionsprogramm (externe diskrete Ereignisse) für den Wertstrom mit der zugrundeliegenden statistischen Verteilung (vgl. Esfandyari et al., 2011) unter Berücksichtigung der Reihenfolgebildung (vgl. Bohnen et al., 2013) erstellen. Dabei ist Kenntnis über das dynamische Kundenverhalten erforderlich (vgl. Gudehus, 2012).
[4.1.e]	Überprüfung, ob Simulationsmodell der Realität (d.h. CSM zum Zeitpunkt t_0) entspricht.
Durchführung von Experimenten mit dem VSM-Simulationsmodell	
[4.2]	Simulationsstudien mit der Parametrisierung des Istzustands zum Zeitpunkt t_0 bzw. für den virtuellen Wertstrom des Zielzustands für t_1 durchführen <ul style="list-style-type: none"> • Mit Parametrisierung des Istzustands (CSM) • Mit Parametrisierung eines virtuellen Zielzustands, d.h. inkl. getätigter Änderungen der IT-gestützten Parametrisierung (virtueller FSM) • Ggf. Bottleneck-Identifizierung durchführen (vgl. Ali et al., 2015) • Ggf. dynamische Kostenbewertung in Abhängigkeit von (Varianten-)Stücklisten (hier: BOM-Teile) durchführen (vgl. Samaranayake, 2013; Melouk et al., 2013; Alvandi et al., 2016)
Auswertung des VSM-Simulationsmodells	
[4.3]	Auswertung der Simulationsstudie zur dynamischen Bewertung des nächsten Zielzustands des (hier virtuellen) Wertstroms (vgl. Lian and Van Landeghem, 2002; Helleno et al., 2015) <ul style="list-style-type: none"> • Auswertung von Beständen in den Warteschlangensystemen • Auswertung von Durchlaufzeiten • Auswertung von Auslastungen der Prozesse • Auswertung des Lieferservicegrads des Wertstroms • Auswertungen des möglichen Outputs, d.h. der maximal möglichen Leistungsfähigkeit des Wertstroms unter Berücksichtigung des dynamischen Verhaltens der Elemente im Wertstrom
Ergänzende Überprüfungen der IT-gestützten Parametrisierung	
[4.4a]	Überprüfung der Warteschlangensysteme im Wertstrom mittels logistischer Kennlinien (vgl. Nyhuis and Wiendahl, 2012; Hopp and Spearman, 2011, p. 208ff)
[4.4b]	Analyse der frei werdenden Kapazitäten und deren Auswirkungen auf die Gemeinkosten als unbeantwortete Fragestellung der Fachliteratur (vgl. Ruiz-de-Arbulo-Lopez et al., 2013)

Achtung: erforderliche Änderungen in der IT-gestützten Parametrisierung des nächsten Zielzustands des (hier: virtuellen) Wertstroms haben aufgrund der Verkettung der Elemente im Wertstrom zuerst in der statischen VSM-Analyse und somit im VSM Tool zu erfolgen!

Die Überprüfungen der IT-gestützten Parametrisierung in STEP [4] hat keinen direkten Einfluss auf die Zielgrößen des Zielsystems. Nach Abschluss eines Experiments in der VSM-Simulationsstudie gibt es vier Möglichkeiten, um im Vorgehensmodell weiter vorzugehen:

1. Änderungen der Grob- Parametrisierung aufgrund grober Mängel nach dynamischer VSM-Simulation (grobe Überlast an Prozessen, Dimensionierung eines Kanban-Supermarkts: z.B. Anzahl Teile je Variante, Durchlaufzeit, Probleme mit Termintreue, etc.) in der Konfiguration/ Parametrisierung → STEP [1]
2. Änderungen des Informationsflusses aufgrund grober Mängel nach dynamischer VSM-Simulation (zu hohe Durchlaufzeit, Probleme mit Termintreue, etc.) → STEP [2]
3. Änderungen der Fein-Parametrisierung aufgrund grober Mängeln nach dynamischer VSM-Simulation (geringfügige Überlast an Prozessen und Lagerstufen, zu hohe Variabilität der Abfertigungsraten (d.h. Zykluszeiten) an Prozessen, etc. → STEP [3]
4. Die Ergebnisse der dynamischen VSM-Simulation sind für den Wertstromplaner zufriedenstellend, es sind keine Änderungen in der Parametrisierung oder im Produktionsprogramm erforderlich → STEP [5]

Der Fortschritt im Vorgehensmodell bezüglich STEP [4] ist in Abbildung 29 dargestellt, wobei auf die mögliche Notwendigkeit einer erneuten vollständigen bzw. teilweisen Durchführung der STEPS 1-3 hingewiesen wird.

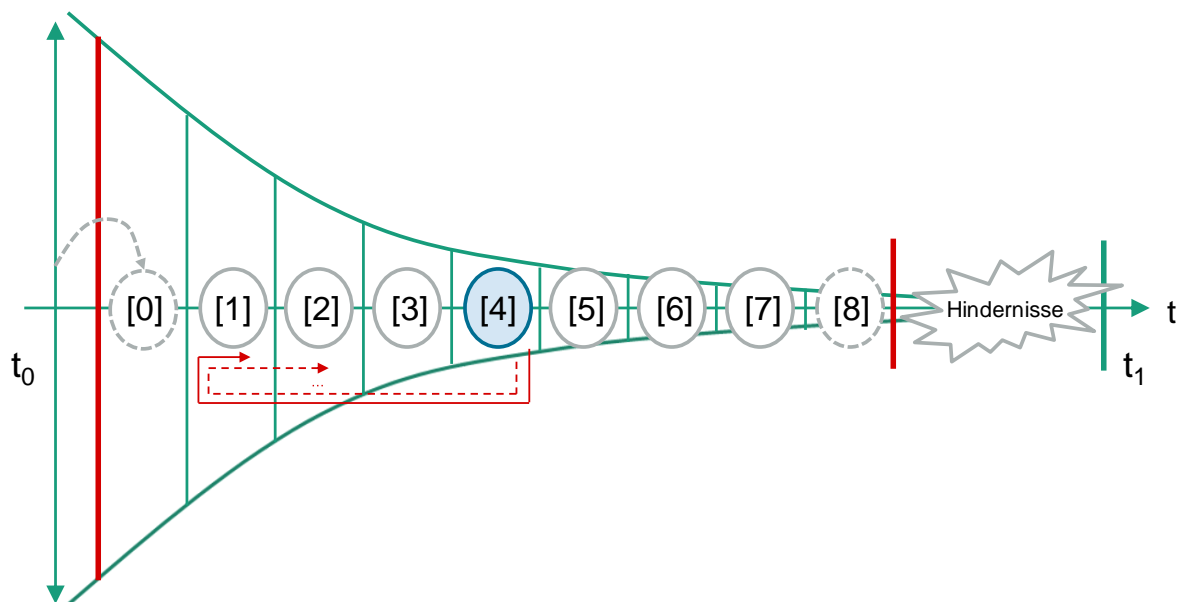


Abbildung 29: STEP [4] im Vorgehensmodell

4.4.6 STEP [5]: Abfallbewertung als Kennzahl der ökologischen Nachhaltigkeit

STEP [5] beschäftigt sich mit der detaillierten Parametrisierung von Input-Parametern der Elemente im Wertstrom, welche Auswirkungen auf die Abfallbewertung (hier: Restmüll (engl. „Disposal“)) je Stück haben. Es wird somit die ökologische Nachhaltigkeit des Wertstroms verbessert, die im VSM Tool²⁹ abgebildet ist (vgl. René Berndt et al., 2016; Edtmayr et al., 2016a; Sunk et al., 2016). Die darauf basierenden Handlungsalternativen sind als Top-down strukturierte Aktivitäten in der IT-gestützten Parametrisierung in STEP [5] deshalb wie folgt (Tabelle 12):

Tabelle 12: Aktivitäten in STEP [5]

ID	Beschreibung der Top-down strukturierten Aktivitäten
[5.1]	Festlegung (Beibehaltung oder Änderung) des Brutto- und Netto-Materialeinsatzes je Ressourcenart je Prozess → Bewertung der Brutto-Netto-Mengendifferenz <ul style="list-style-type: none"> • Fokus: Identifikation der Treiber und Priorisierung nach Beeinflussbarkeit bzgl. BOM-Teilen je Prozess im Detail (vgl. Benchmark-Kriterium)
[5.2]	Festlegung (Beibehaltung oder Änderung) des Brutto-Materialeinsatzes je Ressourcenart je Prozess je Rüstvorgang <ul style="list-style-type: none"> • Fokus 1: Rüstvorgänge optimieren, um Rüstabfälle zu reduzieren • Fokus 2: Losgröße zur Umlegung je Stück → vgl. STEP [1]
[5.2]	Ggf. Festlegung (Beibehaltung oder Änderung) der lokalen und kumulierten Ausschussraten je Ressourcenart je Prozess <ul style="list-style-type: none"> • Fokus: Weitere Reduktion der Ausschussraten in den Prozessen, um den Abfall je Stück weiter zu reduzieren
[5.4]	Festlegung (Beibehaltung oder Änderung) der Zuordnung der Verwertungskategorie im idealtypischen Verwertungskreislauf (vgl. Edtmayr et al., 2016a) des anfallenden Abfalls je Prozess in Prozent (Summe: 100%) → Zuführung des Abfalls einer „höheren“ Verwertungskategorie. <ul style="list-style-type: none"> • Fokus 1: Disposal → jener Abfall der eingesetzten, materiellen Ressourcen, der keiner der oben genannten Verwertungskategorie zugeführt werden kann, ist als Restmüll (engl. „Disposal“) zu betrachten und deshalb als Verschwendungsart zu vermeiden. • Fokus 2: Recovery → thermische Weiterverwertung der eingesetzten, materiellen Ressourcen, um diese in Form von Energie dem Wertstrom zuzuführen • Fokus 3: Recycle → Weiterverwendung des Abfalls der eingesetzten, materiellen Ressourcen in anderer physikalischer/chemischer Zusammensetzung • Fokus 4: Reuse → Wiederverwendung des Abfalls der eingesetzten, materiellen Ressourcen in derselben physikalischen/chemischen Zusammensetzung • Fokus 5: Prevention → jeglicher Abfall, der im Wertstrom anfallen kann, ist grundsätzlich zu vermeiden (vgl. [5.1], [5.2], [5.3])
[5.5]	Verkauf statt Entsorgung des anfallenden Abfalls der jeweiligen Verwertungskategorien

²⁹ Die vollständigen Ergebnisse, die im Rahmen des Forschungsprojekts erarbeitet wurden sind Teil der Dissertation von Thomas Edtmayr. Deshalb wird hier nicht näher darauf eingegangen. Die Modellierung im VSM Tool wird somit als gegeben hingenommen.

Die Ressourcentreiber sind aufgrund der Modellierung im VSM Tool im (virtuellen) Wertstrom durchgängig transparent dargestellt, sowohl in der lokalen (d.h. je Element) als auch in der kumulierten Bewertung. Sobald die Ergebnisse für den virtuellen Wertstrom zufriedenstellend für den Wertstromplaner sind, kann zu STEP [7] übergegangen werden. Die Parametrisierung in STEP [5] hat keinen direkten Einfluss auf die Zielgrößen des Zielsystems, wobei durch Abfallreduktion die „Stückkosten“ (hier (VSM Tool): Kosten der Nachhaltigkeit) ebenfalls reduziert werden.

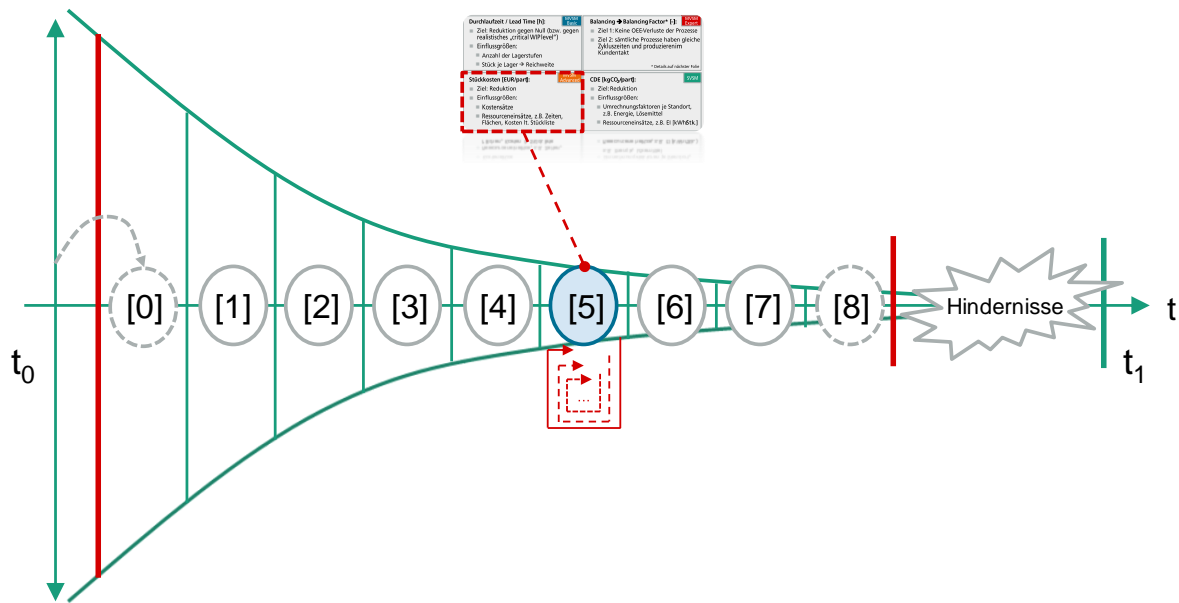


Abbildung 30: STEP [5] im Vorgehensmodell

4.4.7 STEP [6]: Bewertung des CDE-Werts der ökologischen Nachhaltigkeit

STEP [6] beschäftigt sich mit der detaillierten Parametrisierung von Input-Parametern derer Elemente im Wertstrom, welche Auswirkungen auf den CDE-Wert je Stück haben. Es wird somit die ökologische Nachhaltigkeit des Wertstroms verbessert, die im VSM Tool³⁰ abgebildet ist (vgl. Edtmayr et al., 2016b). Die darauf basierenden Handlungsalternativen sind als Top-down strukturierte Aktivitäten in der IT-gestützten Parametrisierung in STEP [6] deshalb wie folgt (Tabelle 13):

Tabelle 13: Aktivitäten in STEP [6]

ID	Beschreibung der Top-down strukturierten Aktivitäten
[6.1]	Festlegung (Beibehaltung oder Änderung) des Energiemix (CO ₂ eq bzw. CO ₂ -Äq.) am betrachteten Standort für die betrachteten Ressourceneinsätze ³¹ (vgl. Nachhaltigkeit in Kapitel 2.7); hier:

³⁰ Die vollständigen Ergebnisse, die im Rahmen des Forschungsprojekts erarbeitet wurden sind Teil der Dissertation von Thomas Edtmayr. Deshalb wird hier nicht näher darauf eingegangen. Die Modellierung im VSM Tool wird somit als gegeben hingenommen.

³¹ Anmerkung: die Angabe des Ressourceneinsatzes im VSM Tool ist bspw. in kWh/Stk. oder kg/Stk. Deshalb kann mit dem VSM Tool der CDE-Wert in kgCO₂ je Stück ermittelt werden.

	<ul style="list-style-type: none"> Für die Energieintensität in kWh: <ul style="list-style-type: none"> Elektrizität in kgCO₂/kWh Druckluft: abhängig vom Energieverbrauch der Infrastruktur-Prozesse in kgCO₂/kWh Erdgas in kgCO₂/kWh Lösemittel in kgCO₂/kg → ohne Einteilung in Gefahrenklassen
[6.2]	<p>Energieintensive Elemente im Wertstrom identifizieren, welche Auswirkungen auf den CDE-Wert je produziertem Stück haben (hier: Strom, Gas, Druckluft, Lösemittel) (vgl. Edtmayr et al., 2016b) bzw. Peripherie-Sichtweise der indirekten Ressourceneinsätze (vgl. Haag, 2013; Müller et al., 2014); hier:</p> <ul style="list-style-type: none"> Prozesse: <ul style="list-style-type: none"> Direkt zuordenbare Energieeinsätze Indirekt zuordenbare Energieeinsätze Verwertungskreisläufe (Reuse, Recycle, Recovery, Disposal) je Prozess Transporte → direkt zuordenbare Energieeinsätze Lagerstufen → Summe aus direkt und indirekt zuordenbaren Energieeinsätzen
[6.3]	<p>Festlegung (Beibehaltung oder Änderung) des Energieeinsatzes an den Elementen im Wertstrom bezogen auf die in [6.1] genannten Ressourceneinsätze</p> <ul style="list-style-type: none"> Energieintensive Prozesse (direkt) Energieintensive Prozesse (indirekt) Energieintensive Verwertungskreisläufe (Reuse, Recycle, Recovery, Disposal je Prozess) Energieintensive Transporte (direkt) Energieintensive Lagerstufen (direkt und indirekt)
[6.4]	<p>Festlegung (Beibehaltung oder Änderung) der Standortwahl hinsichtlich CDE-Wert.</p>

In STEP [6] wird die Zielgröße „CDE-Wert“ des Zielsystems durch die Parametrisierung der zugrundeliegenden Input-Parameter direkt beeinflusst. Die anderen Zielgrößen werden nicht beeinflusst.

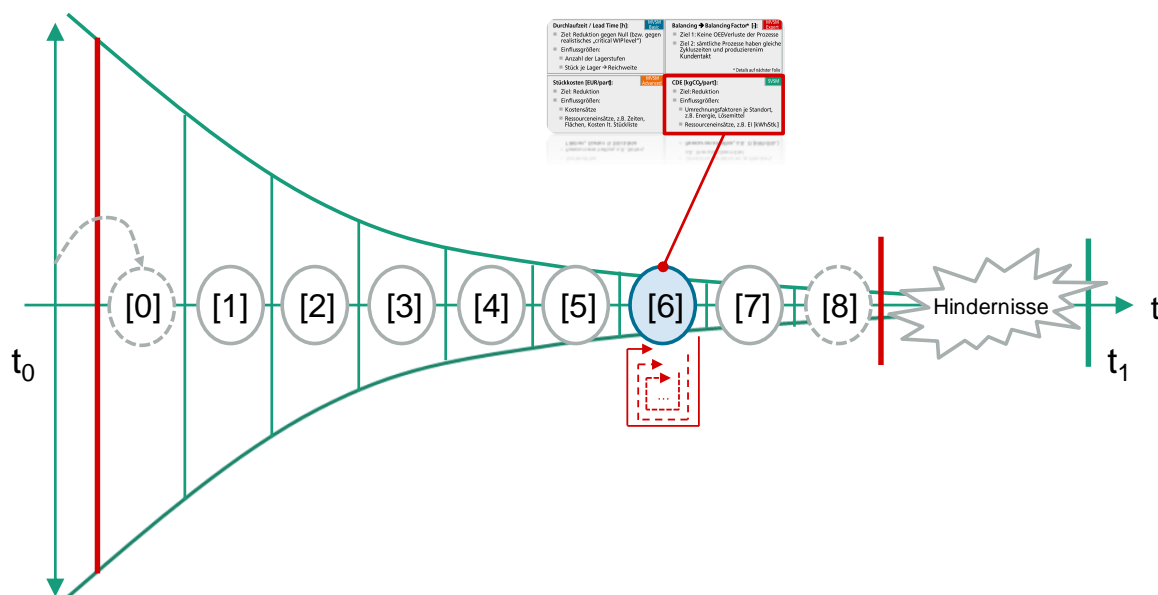


Abbildung 31: STEP [6] im Vorgehensmodell

4.4.8 STEP [7]: Wertschöpfung und Kosten

STEP [7] beschäftigt sich mit der detaillierten Parametrisierung von Input-Parametern derer Elemente im Wertstrom, welche Auswirkungen auf die Stückkosten (hier: direkte Einzelkosten je Stück) haben. In den STEPS [1] und [3] werden die Input-Parameter festgelegt, die starken Einfluss auf die Stückkosten haben. Deshalb liegt der Fokus hier auf den Potentialen bzgl. der Identifikation von Kostentreibern (z.B. Vorschlag einer alternativen Prozesstechnologie) sowie auf der Beeinflussbarkeit der Faktorpreise für den gesamten Wertstrom. Die Einschränkung der Handlungsalternativen auf die Faktorpreise wird durch die weitere Verengung im Trichtermodell verdeutlicht (siehe Abbildung 32). Bei der Bewertung der direkten Einzelkosten werden dem Fertigprodukt direkt zuordenbare Ressourceneinsätze zugeordnet, weshalb eine Bewertung der Leerkosten explizit nicht behandelt wird (vgl. Abuthakeer et al., 2010; Ruizde- Arbulo- Lopez et al., 2013). Der Bewertung der Stückkosten liegt deshalb die folgende Beziehung zugrunde (Formel 16).

$$k_v(x) = c * x_v$$

Formel 16: Proportionale Kostenfunktion der variablen Stückkosten

Mit:

- k_v ... Stückkosten der direkt zuordenbaren Kosten
- c ... Faktorpreis einer Ressource
- x_v ... Ressourceneinsatz (hier: Input-Parameter)

Diese Kostenfunktion wird für die Ressourcenarten (a) Maschine (d.h. für Prozess, Transport und Lagerstufe), (b) Mitarbeiter (Produktion und Logistik), (c) Fläche (d.h. Gebäude- und Infrastruktur), (d) Material (d.h. BOM-Teile), (e) Energie mit Kostensätzen bezogen auf Stück, m, m², Jahr, Fabriktag, kWh und Maschinen- bzw. Mitarbeiterstunde angewendet. Die Bewertung des gebundenen Kapitals je Lagerstufe und für den gesamten Wertstrom kann sowohl absolut (Wertschöpfung bis zu Lagerstufe mal Anzahl Teile in Lagerstufe) als auch relativ, bezogen auf die Reichweite des gebundenen Kapitals mal Zinssatz, jeweils als graphenbasiert berechnete Kennzahlen, erfolgen. Darüber hinaus wird die Kostenbewertung auf die Bewertung der Nachhaltigkeit angewendet, woraus sich ebenfalls Handlungsalternativen für das VSM-Design ableiten lassen. Die Bewertung der Stückkosten sowie die Festlegung der Faktorpreise³² ist ebenso wie die Bewertung der Nachhaltigkeitskosten je Stück im VSM Tool³³ abgebildet (vgl. Kapitel 5.1.1). Die Top-down-Aktivitäten in der IT-gestützten Parametrisierung in STEP [7] sind deshalb wie folgt (Tabelle 14):

Tabelle 14: Aktivitäten in STEP [7]

ID	Beschreibung der Top-down strukturierten Aktivitäten
[7.1]	Festlegung (Beibehaltung oder Änderung) der Faktorpreise je Ressourcenart je Prozess, Lagerstufe und Transport hinsichtlich Stückkosten

³² Wie in Kapitel 4.2.3 erwähnt, existiert eine Kostenbewertung im zugrundeliegenden VSM Tool. Im Rahmen dieser Dissertation wird nicht näher auf die möglichen Faktorpreise eingegangen.

³³ Die vollständigen Ergebnisse, die im Rahmen des Forschungsprojekts erarbeitet wurden sind Teil der Dissertation von Thomas Edtmayr. Deshalb wird hier nicht näher darauf eingegangen. Die Modellierung im VSM Tool wird somit als gegeben hingenommen.

4.4.9 STEP [8]: Parametrisierung abschließen und Zielzustand freigeben

Nach Abschluss der IT-gestützten Parametrisierung wird in STEP [8] der virtuelle Wertstrom als Zielzustand für t_1 zur Umsetzung freigegeben. Wie eingangs beschrieben, ist der Trichter auch nach STEP [8] zumindest teilweise geöffnet, da die praktische Umsetzung im Zeitverlauf auch geringfügig andere (positive als auch negative) Ergebnisse als in der Parametrisierung aufweisen kann. Sowohl die Parametrisierung als auch die Umsetzung des Zielzustands ist abgeschlossen, sobald die Ergebnisse, repräsentiert durch das Zielsystem, für den Wertstromplaner zufriedenstellend sind. Aufgrund der getroffenen Entscheidungen in der IT-gestützten Parametrisierung sind dem Wertstromplaner die Benchmarks im Unternehmensverbund bekannt. Dadurch können konkrete Maßnahmen zur Umsetzung festgelegt werden, um die Input-Parameter und die VSM-Kennzahlen (lokal und graphenbasiert berechnet) des Zielzustands für t_1 zu erreichen. Nach Freigabe des IT-gestützten, parametrisierten nächsten Zielzustands des Wertstroms ist dieser in einem definierten Zeitraum zu erreichen. Die Top-down strukturierten Aktivitäten in der IT-gestützten Parametrisierung in STEP [8] sind deshalb wie folgt (Tabelle 15):

Tabelle 15: Aktivitäten in STEP [8]

ID	Beschreibung der Top-down strukturierten Aktivitäten
[8.1]	Überprüfung und Freigabe der zu erreichenden Zielgrößen im Zielsystem (im IT Artefakt) <ul style="list-style-type: none"> • Durchlaufzeit • Balancing-Factor bzgl. Taktung und Kapazitätsdimensionierung • Stückkosten • CDE-Wert
[8.1]	Überprüfung und Freigabe der zu erreichenden Input-Parameter sowie der lokal und graphenbasierten VSM-Kennzahlen im Wertstrom (im IT Artefakt) <ul style="list-style-type: none"> • Prozesse im Detail • Lagerstufen im Detail • Transporte im Detail • Produktivitätskennzahlen im Detail • Klassische Datenlinie mit Durchlaufzeit(en) und Bearbeitungszeit(en) • Erweiterte Datenlinien (vgl. Rene Berndt et al., 2016; René Berndt et al., 2016), etc.
[8.2]	Festlegung von bekanntem Maßnahmen des zu erreichenden Zielzustands; z.B. Wertstromschleifen (vgl. Rother and Shook, 2003, p. 86f) <ul style="list-style-type: none"> • Inhalte • Verantwortlichkeiten • Termine, etc.
[8.3]	Festlegung der lösungs-offenen Handlungsfelder im Wertstrom (vgl. Hempen, 2014) <ul style="list-style-type: none"> • Inhalte • Verantwortlichkeiten • Termine, etc.
[8.4]	Übergabe der IT-gestützten Parametrisierung des nächsten Zielzustands an das operative Team zur Umsetzung.

STEP [8] des Vorgehensmodells ist in Abbildung 33 dargestellt. Ab hier gilt es, den parametrisierten, nächsten Zielzustand für die Umsetzung freizugeben. In der Praxis sind nach der Freigabe Hindernisse zu überwinden, wobei die genauen Maßnahmen noch lösungsoffen bleibt (vgl. Kapitel 2.6).

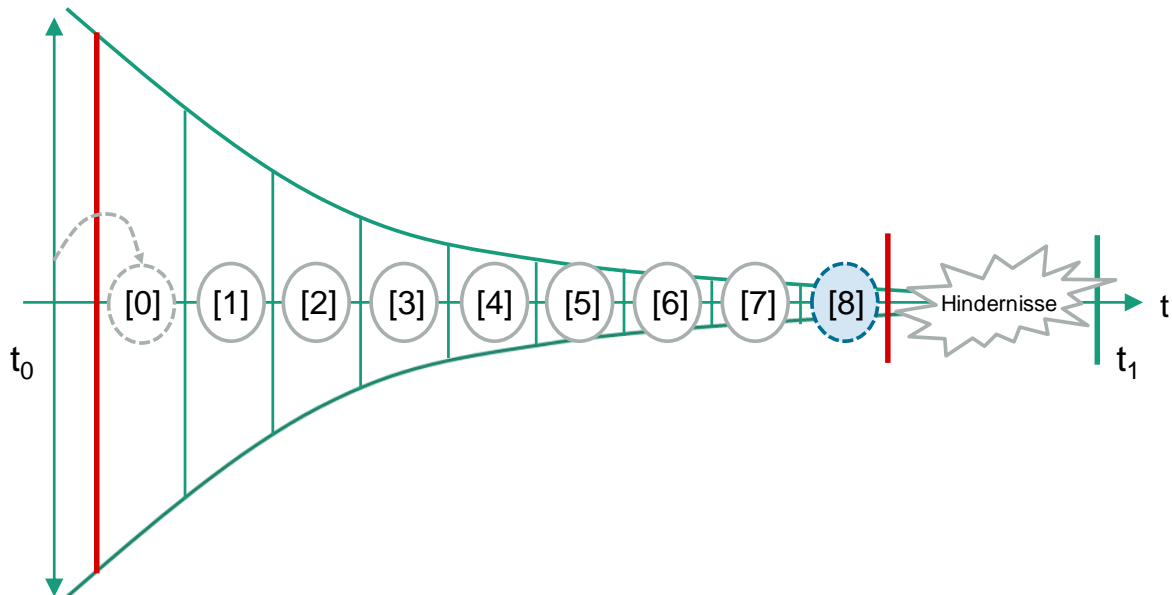


Abbildung 33: STEP [8] im Vorgehensmodell

4.4.10 Forderung nach einem allgemeingültigen Vorgehensmodell

Das in dieser Dissertation präsentierte Vorgehensmodell basiert auf anerkannten und praktizierten Ansätzen und Verfahren über Design im VSM. Es wird gezeigt, wie die in Kapitel 3 vorgestellten Design-Ansätze Top-down strukturiert durchzuführen sind, um ausgehend von einer CSM unter Zuhilfenahme einer IT-gestützten Parametrisierung zu einer verbesserten FSM zu gelangen. Der Regelkreis der Parametrisierung zeigt dabei auf, wie mittels mehrfacher Iterationen ein Zielzustand IT-gestützt festgelegt und spezifiziert werden kann. Die Umsetzung der Schritte im Vorgehensmodell ist jedoch nicht explizit von den hier präsentierten und verwendeten, IT-gestützten Ansätzen abhängig und kann auch mit Standardsoftware (z.B. MS Office) durchgeführt werden.

Der Regelkreis ist somit das Bindeglied zwischen dem Vorgehensmodell und dem Zielsystem. Zusammen ergibt das ein, für den Anwendungsfall spezifisches, Entscheidungsunterstützungssystem zur Parametrisierung des nächsten Zielzustands eines Wertstroms. Die Top-down strukturierten Aktivitäten der Design-Ansätze sind für Wertstromplaner auch als Checkliste für mögliche Handlungsoptionen zur Verbesserung eines Wertstroms zu verstehen, wovon sich ein allgemein gültiges Vorgehensmodell ableiten lässt. Die Wirksamkeit des Vorgehensmodells stützt sich dabei vor allem auf Bottom-up (Hintergrund-) Analysen der Wertströme aus der VSM-Datenbank, da sonst das Praxisrelevante Zitat von LIKER und MEIER aus Kapitel 2.7 bestätigt werden muss.

4.5 Zwischenfazit / Zusammenfassung des Kapitels

In Kapitel 4 wurden Grundlagen erarbeitet, die eine IT-gestützte Parametrisierung des nächsten Zielzustands eines Wertstroms ermöglichen und so den/die Wertstromplaner vor Ort bei der Verbesserungsarbeit an Wertströmen unterstützen. Ausgehend vom realen Wertstrom, der mittels VSM Tool umfassend analysiert wurde, kann mit den Top-down strukturierten Aktivitäten in den STEPS [1]-[8] ein (virtueller) Wertstrom IT-gestützt parametrisiert werden, um nach Realisierung der getroffenen Maßnahmen einen verbesserten Zielzustand zu erreichen. Der Parametrisierung ist ein Zielsystem übergeordnet, dessen Zielgrößen in den unterschiedlichen STEPS schwerpunktartig verbessert werden. Die Parametrisierung greift dabei auf IT-gestützte Analysen und Wissen/Information – in der VSM-Wissensbasis (u.a. VSM-Datenbank) abgelegt – zurück. Das dafür erforderliche Know-how für Analyse- und Design wird im folgenden Kapitel detailliert vorgestellt.

Ferner liefert das Vorgehensmodell zur IT-gestützten Parametrisierung des nächsten Zielzustands eines Wertstroms wichtige Hinweise auf die Strukturplanung im Allgemeinen und auf die Standortwahl im Speziellen. Dies lässt sich – unabhängig von den erreichbaren Zielgrößen des Zielsystems – bspw. durch einen Vergleich der Faktorpreise bei der Stückkosten-Bewertung als auch bei den Äquivalenzwerten der ökologischen Nachhaltigkeit begründen. Somit lassen sich auch Maßnahmen zur Reduktion der Umweltbelastung (Abfall in kg je Stück und CDE-Wert in kgCO₂ je Stück) den Kostennachteilen gegenüberstellen, um den Entscheidungsprozess zu unterstützen.

5 Architektur des IT Artefakts

Nach HEVNER et al. ist die prototypische Implementierung der Konstrukte, Modelle und Methoden in das IT Artefakt VSM Expert als Instanziierung zu verstehen. Es folgt daher eine Beschreibung der Elemente des IT Artefakts als Instanziierung des Vorgehensmodells in einem prototypischen Informationssystem zur Entscheidungsunterstützung im VSM. Die hier vorgelegten Inhalte sind aus der Literatur abgeleitet und wurden allesamt prototypisch implementiert. Für eine professionelle Implementierung werden ergänzende Sicherheitsfunktionalitäten empfohlen, um dieses IT Artefakt in die technische Infrastruktur der Unternehmensumgebung zu integrieren. Die sechs Richtlinien nach HEVNER et al. sind dabei zu berücksichtigen (vgl. Hevner et al., 2004).

5.1 Elemente und Interaktionen des IT Artefakts

Die prototypische Implementierung der Inhalte der Dissertation in die Praxis als software-intensives System (i.e. Expertensystem als wissensbasiertes System) richtet sich nach METAXIOTIS et al. als Grundlage für Expertensysteme in der Produktionsplanung und -steuerung (vgl. Metaxiotis et al., 2002). Hier werden Struktur und Inhalte sowie deren Interaktionen als IT Architektur des Expertensystems beschrieben.

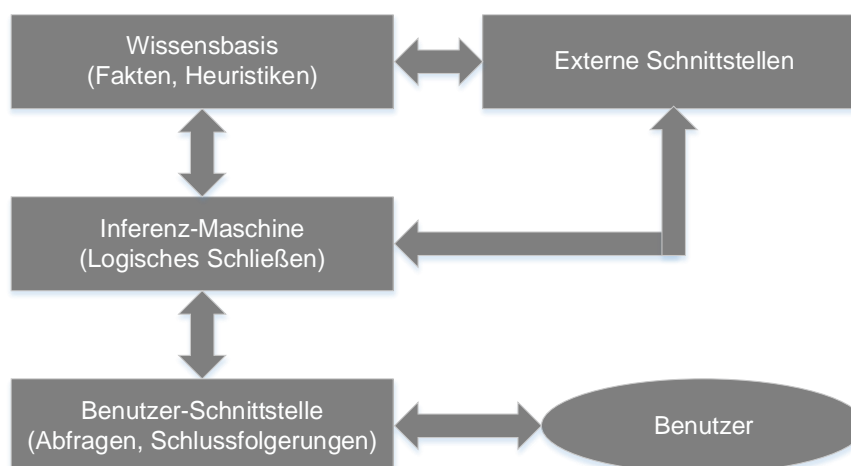


Abbildung 34: Beispielhafte IT Architektur eines Expertensystems (vgl. Metaxiotis et al., 2002)

Wissen setzt sich als oberste Stufe einer Begriffshierarchie aus vernetzten Informationen zusammen. Informationen wiederum bestehen aus Daten, die über eine Semantik in einen Kontext gebracht werden und diese Daten sind zusammengesetzte Zeichen nach einem definierten Regelsystem (i.e. Syntax) (vgl. Bodendorf, 2006). Bei der benötigten Wissensbasis handelt es sich um eine relationale Datenbank (vgl. Lai et al., 2011), in der Wissen elektronisch gesammelt wird (vgl. Beierle and Kern-Isberner, 2014, p. 20). Die **Wissensbasis** repräsentiert das strukturierte (vgl. Cebi et al., 2009), regelbasierte, jedoch permanent vorhandene und durch logische Schlussfolgerungen (vgl. Lai et al., 2011) erweiterbare (vgl. Behrend, 2013),

deklarative Wissen (vgl. Angele et al., 1998) in formalisierter Ausprägung (vgl. Huth and Ryan, 2004, p. 3ff, 26; Beierle and Kern-Isberner, 2014, p. 18ff, 158, 352). Im Kontext wissensbasierter Systeme ist das Problemwissen aus der Wissensbasis konzeptionell von der automatisierten Verarbeitung getrennt (vgl. Runde et al., 2011; Beierle and Kern-Isberner, 2014, p. 158). Demnach ist auch das Design-Wissen des Wertstromplaners Bestandteil der Wissensbasis.

Fakten werden im vorliegenden Fall über das VSM Tool generiert und mittels Schnittstellen in die Wissensbasis (konkret: **VSM-Datenbank**) übertragen. Fakten sind Input-Parameter und berechnete Kennzahlen, die einen spezifischen Wertstrom definieren. Die spezifischen Wertströme sind entweder reale Ist-Wertströme zum Zeitpunkt t_0 oder sogenannte virtuelle Wertströme, wenn sich diese in der Phase der Parametrisierung befinden. Zu **Heuristiken** werden jene Bewertungen, Vorhersagen, Algorithmen etc. gezählt, die zur Abbildung des Wissens von realen Personen in der Domäne Wertstromdesign zählen und somit u.a. in Kapitel 3.2 dargestellt wurden (vgl. Metaxiotis et al., 2002). Als **externe Schnittstelle** wird unter anderem das **VSM Tool** angesehen, das in Kapitel 5.1.1 beschrieben wird.

Die **Benutzer-Schnittstelle** ist ein Anwendungsprogramm mit einer grafischen Benutzer-Oberfläche (GUI), das den **Benutzer** (i.e. Wertstromplaner) durch das Vorgehensmodell leitet und bei der Parametrisierung des nächsten Zielzustands eines Wertstroms unterstützt. Über die GUI tätigt der Wertstromplaner Abfragen an die Wissensbasis, die mittels **Inferenz-Maschine** (engl. „Engine“) verarbeitet (i.e. logisches Schließen) werden und die dem Anwender über die GUI als **Schlussfolgerungen** zur Entscheidungsfindung vorgelegt werden (vgl. Metaxiotis et al., 2002).

5.1.1 VSM Tool als externe Schnittstelle des IT Artefakts

Als externe Schnittstelle in der vorgestellten IT Architektur wird in diesem Abschnitt das im Rahmen des Forschungsprojekts weiterentwickelte VSM Tool zur standardisierten Wertstrom-Analyse vorgestellt. Die heutigen Anforderungen an das traditionelle VSM sind mannigfaltig. Dies ist bspw. durch die zu betrachtenden Input-Parameter, die zu berechnenden Kennzahlen und durch eine hohe Komplexität wegen der immer stärker werdenden Variantenvielfalt und und der zunehmenden Verzweigungen im Produktionssystem und deshalb auch der Wertströme begründbar. Leistungsstarke Hardware ermöglicht heute ein zeitgerechtes VSM mit IT-Support (vgl. Cottyn et al., 2011) in der frühen Planungs- und Bewertungsphase (vgl. Abdulmalek and Rajgopal, 2007). Das verwendete VSM Tool ermöglicht eine standardisierte³⁵ Wertstrom-Analyse mit den traditionellen VSM-Kennzahlen und -Datenlinien, z.B. Produktivität, Flächen, Transportwege, Transportzeiten, Kosten und Nachhaltigkeit (Abfall und CO₂) (vgl. René Berndt et al., 2016; Berndt and Sunk, 2016; Rene Berndt et al., 2016). Ein VSM Tool schafft Transparenz in Wertströmen, indem der zur Herstellung des geforderten Kundenbedarfs erforderliche Ressourceneinsatz – bspw. in Form von Zeit, Personal, Material, Energie, Fläche, Betriebsmittel etc. – mit in der Praxis anerkannten Kennzahlen bewertet

³⁵ Die standardisierte Wertstromanalyse betrifft einerseits die einheitliche Eingabe von Input-Parametern und die Berechnung von VSM-Kennzahlen, und andererseits die gleiche Handhabung und Betrachtungsebene im VSM von mehreren Personen bzw. Abteilungen in einem Unternehmen.

werden kann³⁶. Durch Änderung der Input-Parameter können im traditionellen VSM somit bspw. Verbesserungsmaßnahmen sofort und monetär bewertet werden. Dies hilft, um in der praktischen Verbesserungsarbeit zielgerichtet Maßnahmen setzen zu können (vgl. Edtmayr et al., 2016b) und steigert die Leistungsfähigkeit von VSM in der Praxis (vgl. Serrano et al., 2008). Zur Bewertung der Durchlaufzeit ist die Berechnung des kritischen Pfads hinterlegt (vgl. Werners, 2008, p. 230). Die eingegebenen Input-Parameter können ebenso wie die berechneten Kennzahlen aus dem VSM Tool exportiert und in eine Datenbank importiert werden. Diese Funktionalitäten sind elementarer Bestandteil der gesamten IT Architektur der IT-gestützten Parametrisierung des nächsten Zielzustands eines Wertstroms im VSM. Das VSM Tool fungiert somit als repräsentatives Modell, um den realen Unternehmensfall in einem Informationssystem abzubilden. Dies ermöglicht die mathematische Grundlage für die quantitative Evaluierung des IT Artefakts bspw. mittels analytischer Simulationen oder dem quantitativen Vergleichen verschiedener Design-Alternativen. Modelle wie dieses erzeugen sowohl Problem- als auch Lösungsverständnis (vgl. Hevner et al., 2004).

Ferner wird auf die Kombination von IT-gestützten VSM Tools der Wertstrom-Analyse in Kombination mit DES hingewiesen, indem Änderungen vorab und ohne Eingreifen in das reale Produktionssystem durchführbar und bewertbar sind (vgl. Lian and Van Landeghem, 2002). Das verwendete VSM Tool ist in der Lage, die Input-Parameter und die berechneten VSM-Kennzahlen in eine Simulationssoftware unter Berücksichtigung einer geeigneten Notation bidirektional zu übertragen. Somit werden auch die Limitierungen des traditionellen VSM-Vorgehens wie bspw. das Umgehen mit mehreren VSM-Versionen, das Fehlen dynamischer Analysen und das verzweigte Routing im Wertstrom adressiert (vgl. Agyapong-Kodua et al., 2012).

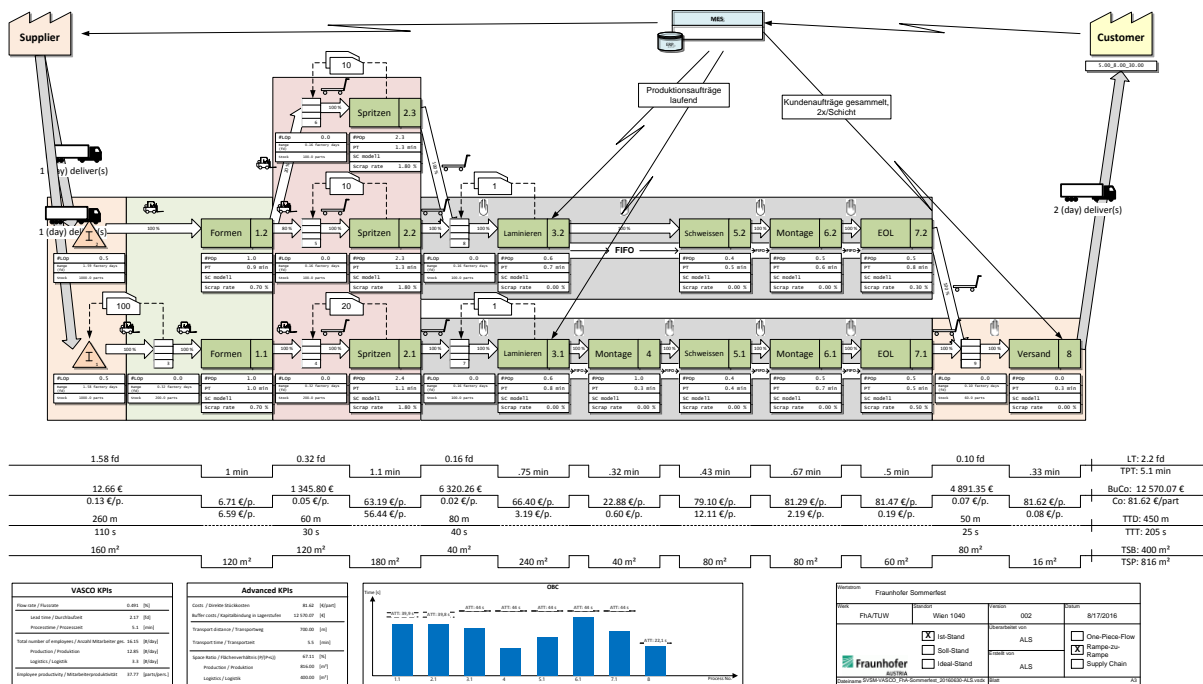


Abbildung 35: Beispiel-Wertstrom mit dem VSM Tool umfassend analysiert

³⁶ Diese Inhalte wurden ebenfalls im Rahmen des Forschungsprojekts entwickelt und sind Bestandteil der Dissertation von Thomas Edtmayr. Deshalb wird im Rahmen dieser Arbeit nicht darauf eingegangen.

In den nachfolgenden Tabellen sind Abbildungen aus dem VSM Tool dargestellt. Diese sollen verdeutlichen, wie die standardisierte Bewertung der Wertströme erfolgt. Nach Visualisierung des Istzustands des Wertstroms mit den traditionellen VSM-Symbolen ist die Eingabe der Input-Parameter erforderlich, um sowohl lokale als auch über den Wertstrom kumulierte Kennzahlen zu berechnen. Im ersten Schritt ist dazu die Eingabe des Kundenbedarfs in Stück pro Tag im Kunden-Element rechts oben erforderlich. Im VSM Tool sind dazu drei unterschiedliche Szenarien vordefiniert: (a) Durchschnitt, (b) Maximum und (c) Minimum (Abbildung 36 a).

Danach wird das zu analysierende Szenario mittels Drop-down-Feld ausgewählt (Abbildung 36 b). Im vorliegenden Beispiel-Wertstrom mit beispielhaften Input-Parametern ist der Kundenbedarf für das Durchschnitt-Szenario 610 Stück pro Tag ausgewählt.

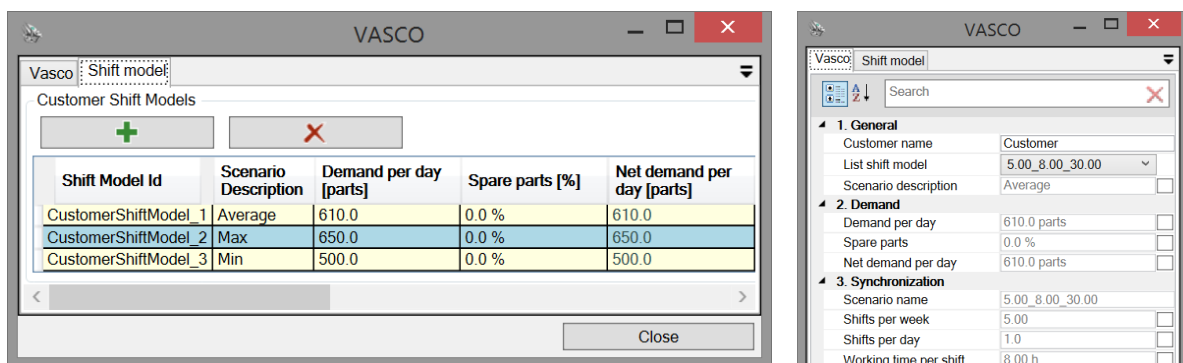


Abbildung 36 a-b: Eingabe des Kundenbedarfs und Auswahl des Szenarios

Um den erforderlichen Kundenbedarf produzieren zu können, ist die interne Produktion und somit der Wertstrom mit den erforderlichen VSM-Informationen zu parametrisieren. Im Fall des VSM Tools bedeutet dies die Eingabe der „Stammdaten des Wertstroms“ (siehe Abbildung 37 a-d):

- Schichtmodelle mit netto-verfügbaren Arbeitszeiten, die je Prozess ausgewählt werden können (a)
- Prozesstechnologien und Referenzwerte (Grenzwerte), die je Prozess ausgewählt werden können (b)
- Transportmittel und deren Kostensätze (c)
- Kostensätze für Personal und Energie (d)

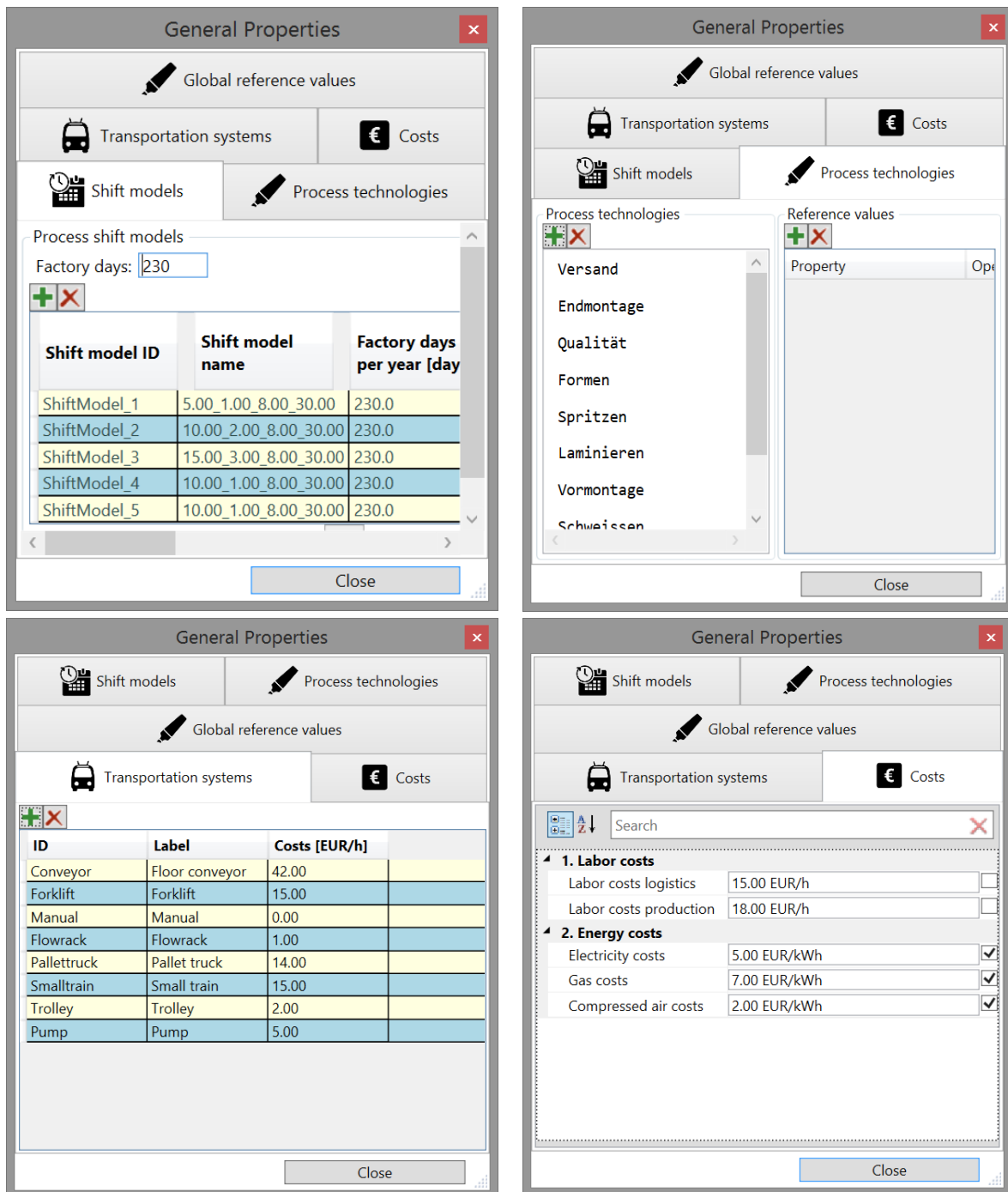


Abbildung 37 a-d: Eingabe der allgemeinen Wertstromeigenschaften im VSM Tool

Nach Eingabe des Kundenbedarfs und der Stammdaten des Wertstroms wird mit der Eingabe der Input-Parameter – also der Ressourceneinsätze – der Istzustand in Form von berechneten VSM-Kennzahlen abgebildet. In Abbildung 38 a-d sind Screenshots aus dem VSM Tool zur Eingabe der Input-Parameter in den Elementen des Wertstroms (a, b: Prozesse, c: Lagerstufen, d: Transporte) angeführt. Input-Parameter sind in den Abbildungen als weiße Felder mit schwarzer Schrift gekennzeichnet. Daraus lassen sich lokale Kennzahlen (hier: weiße Felder mit grauer Schrift) sowie VSM-Kennzahlen (hier: dunkelgrau schraffierte Felder) berechnen.

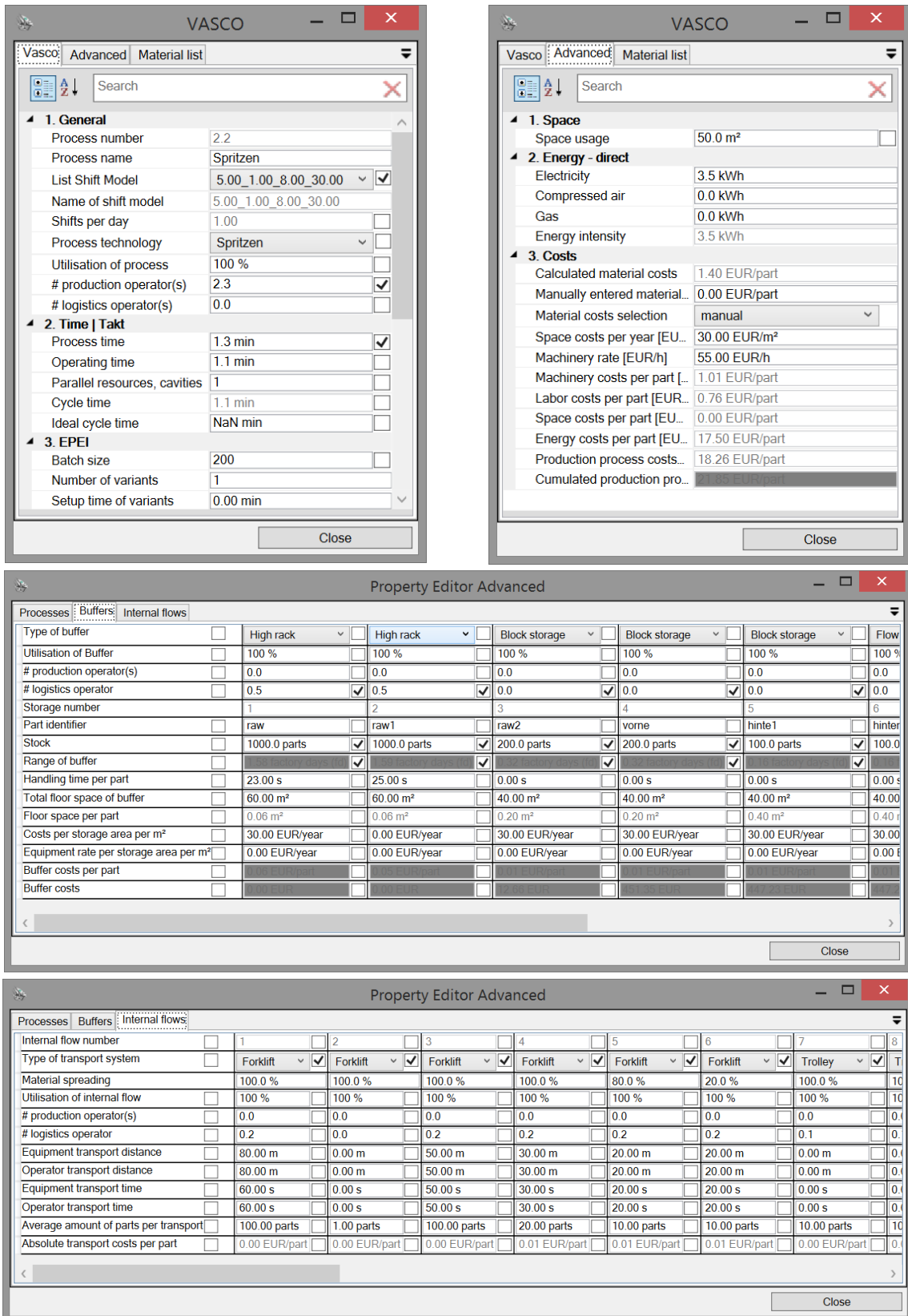


Abbildung 38 a-d: Eingabe der Input-Parameter im VSM Tool (Prozesse, Lagerstufen, Transporte)

Die Summe an Input-Parametern und berechneten VSM-Kennzahlen ergeben den analysierten Istzustand des Wertstroms. Diese beinhalten sämtliche bekannte Analyse-Möglichkeiten für Wertströme in Form von VSM-Kennzahlen (Flussrate; Mitarbeiter-Produktivität) und den Satz an verfügbaren und bekannten Datenlinien (Bearbeitungs- und Durchlaufzeit; Transportweg und -zeit; Produktions- und Logistikfläche, direkte Einzelstückkosten; Abfall; CO₂ – vgl. Kapitel 2.7). Die Input-Parameter und die berechneten VSM-Kennzahlen können direkt in eine geeignete DES-Software für die dynamische Simulation übergeben werden. Geänderte Input-Parameter in der Simulationssoftware können in das VSM Tool überführt werden, sodass sich die VSM-Kennzahlen der statischen Simulation neu berechnen lassen (vgl. Abbildung 38 a-d).

5.1.2 Wissensbasis als relationale Datenbank in der IT Architektur

Aus dem oben beschriebenen VSM Tool werden die erhobenen Ist-Wertströme mit den Input-Parametern und den berechneten VSM-Kennzahlen zum jeweiligen Zeitpunkt t_0 in die Datenbank überführt. Die eindeutige Zuordnung des Datensatzes zum Wertstrom erfolgt dabei über definierte Stammdaten. Die für diese Arbeit verwendete Stammdaten sind Top-down strukturiert wie folgt:

- Zuordnung zum Unternehmensbereich
 - Unternehmensgruppe
 - Name des Unternehmens
 - Ort des Unternehmens
- Definition der Produktfamilie
 - Projektname
 - Produktname
- Zuordnung zum Kunden / zu den Kunden
 - Name des Kunden
 - Ort des Kunden

Die Stammdaten sind in der VSM-Datenbank zu pflegen, also zu ändern, zu ergänzen und gegebenenfalls zu löschen. In der prototypischen Umsetzung werden bei jedem Datenbank-Import die Datensätze mittels eigener Import-Anwendung ermöglicht. Die Zuordnung des VSM-Datensatzes zu einer Produktfamilie erfolgt dabei mittels Drop-down-Auswahl der Stammdaten. Um einen Wertstrom im Unternehmensverbund eindeutig zu identifizieren, sind sieben Stammdaten einzugeben. Die Import-Anwendung dient in der prototypischen Umsetzung als externe Schnittstelle zwischen der Wissensbasis und dem VSM Tool, das ebenfalls als externe Schnittstelle angesehen wird.

Die hier verwendeten Stammdaten beziehen sich somit auf folgende, in Kapitel 2.9 festgehaltenen Charakteristika der betrachteten Unternehmensform:

- Vielzahl ähnlicher Produktionen und somit vergleichbarer Produktfamilien in der variantenreichen Serienfertigung
- Vielzahl ähnlicher Wertströme

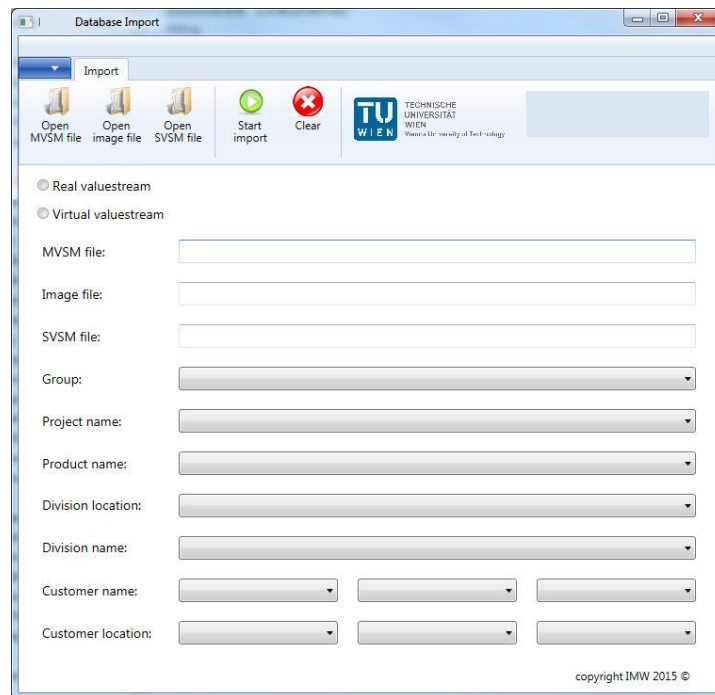


Abbildung 39: Screenshot der Import-Anwendung mit den Stammdaten als Drop-down-Felder

Über den Zeitverlauf werden dabei mehrmals Datensätze erhoben und in die VSM-Datenbank als „Bewegungsdaten“ überführt, weshalb im ER-Modell der VSM-Datenbank die zentrale Tabelle „Edition“ existiert (siehe Abbildung 40).

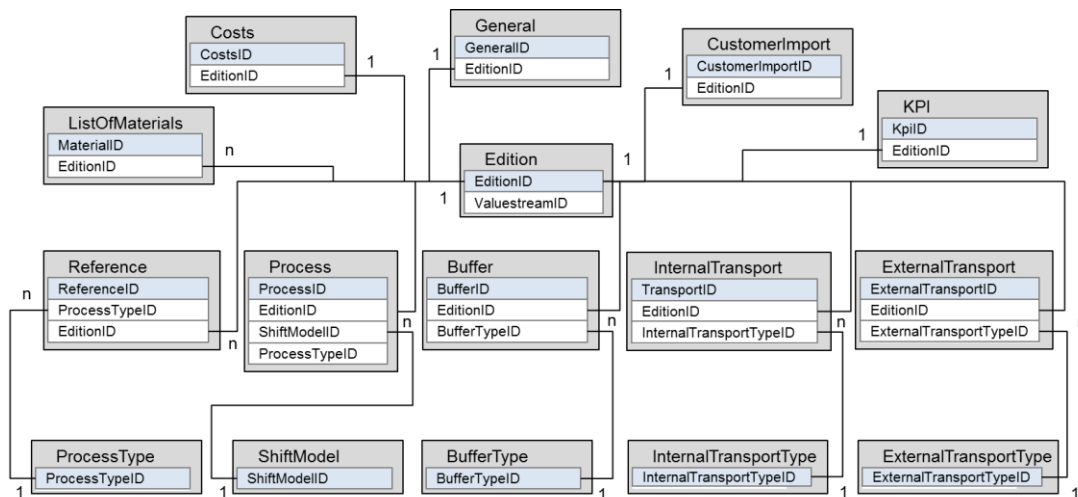


Abbildung 40: Ausschnitt ER-Modell mit Darstellung der Bewegungsdaten (vereinfachte Darstellung mit Schlüsselattributen)

Um die Vergleichbarkeit der Datensätze und somit Wertströme innerhalb des Unternehmensverbundes sicherzustellen, sind im VSM Tool weitere „Stammdaten“ hinterlegt für: (a) Personalstruktur (Produktion/Logistik), (b) Prozesstechnologien, (c) Lagerungsarten, (d) Transportmittel – jeweils inkl. Kostensätze. Dies ermöglicht eine strukturierte, standardisierte und somit vergleichbare Analyse der Elemente des Wertstroms und des gesamten Wertstroms. Diese adressieren die folgenden, in Kapitel 2.9 genannten Charakteristika der Unternehmensform:

- Ähnliche Personalstrukturen inkl. Kostensätzen
- Vielzahl ähnlicher Prozesstechnologien
- Vielzahl ähnlicher interner Transportmittel
- Vielzahl ähnlicher Lagerhaltungssysteme

Neuartige Technologien sind in das VSM Tool integrierbar, weshalb mittels der zu erhebenden Input-Parametern diese auch standardisiert bewertbar und somit vergleichbar sind. Sämtliche genannte Input-Parameter und berechnete Kennzahlen in der Datenbank sind in weiterer Folge explizit vorhanden und deshalb als elementare Grundlage im IT Tool „VSM Expert“ verwertbar.

5.1.3 Prototyp VSM Expert als zentrales Element des IT Artefakts

Im IT Tool „VSM Expert“ erfolgt die prototypische Umsetzung der Konstrukte, Modelle und Methoden in das IT Artefakt und ist demnach als Bestandteil der Instanziierung zu verstehen (vgl. Hevner et al., 2004). VSM Expert wird verwendet, um sämtliche Daten und Informationen der Wissensbasis auszuwerten und in Form von Wissen dem Wertstromplaner aufzubereiten, sodass dieser die bestmögliche Grundlage zur Entscheidungsfindung vorfindet.

Die nachfolgende Abbildung 41 zeigt die Einbettung von VSM Expert in die Architektur des IT Artefakts. Während das VSM Tool und die angebundene, optionale Simulationssoftware (hier: DES) gemeinsam mit der Import-Anwendung als externe Schnittstellen dargestellt werden, beinhaltet VSM Expert mehrfache Funktionalitäten des IT Artefakts.

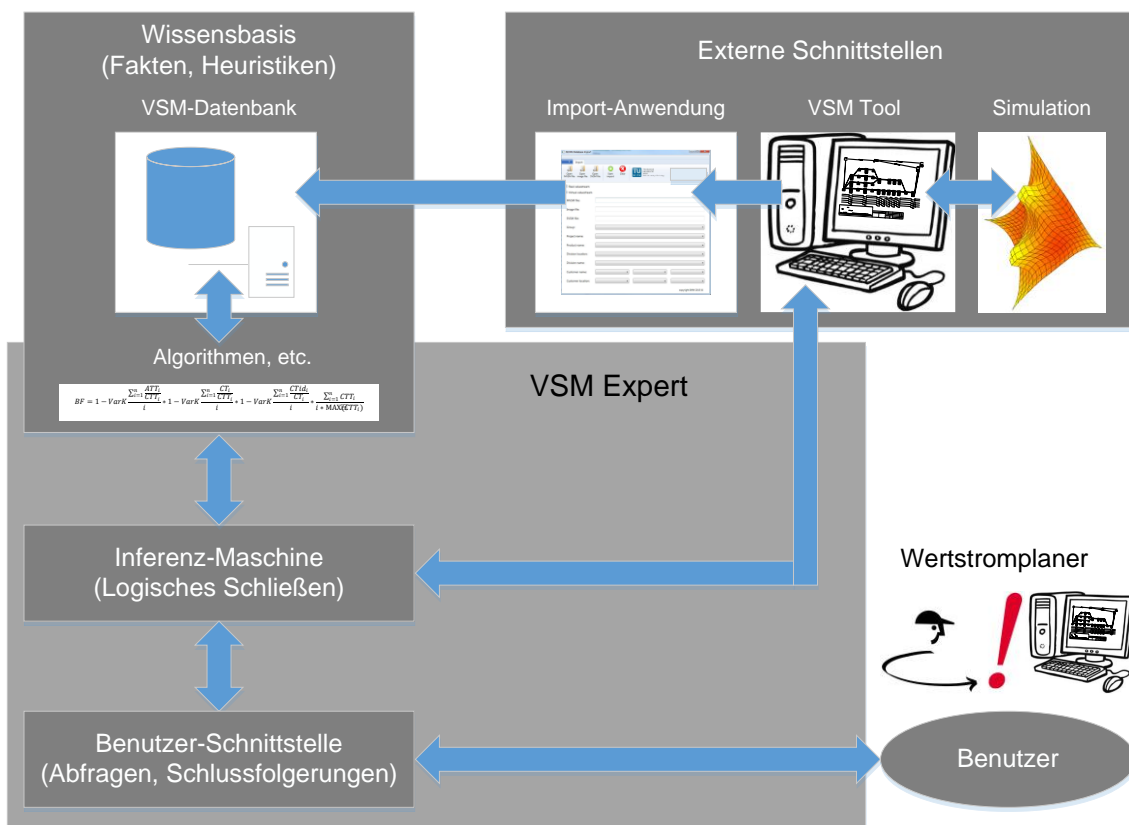


Abbildung 41: Prototypische Umsetzung des IT Artefakts mit VSM Expert

Die relationale VSM-Datenbank liefert Fakten als erster Bestandteil der Wissensbasis. Der zweite Bestandteil der Wissensbasis wird über Methoden zur Analyse der Ist-Daten in der VSM-Datenbank und in den Design-Algorithmen (vgl. Kapitel 6) abgebildet. Die Inferenz-Maschine ist das Bindeglied zwischen der Benutzer-Schnittstelle und der Wissensbasis, Schlussfolgerungen resultieren in der Parametrisierung des nächsten Zielzustands des Wertstroms. Die Parametrisierung und ggf. die Änderung der Input-Parameter wird – als statistische VSM-Analyse – im VSM Tool durchgeführt. Allfällige dynamische VSM-Analysen zur Überprüfung der Wirksamkeit werden im VSM-Simulationsmodell durchgeführt. Die grafische Benutzeroberfläche (engl. GUI) von VSM Expert ist die Benutzer-Schnittstelle zwischen dem Wertstromplaner und dem IT Artefakt, das die IT-gestützte Parametrisierung des nächsten Zielzustands eines Wertstroms unterstützt. In der GUI sind sowohl das Vorgehensmodell als auch das Zielsystem (vgl. Kapitel 4) integriert, sodass der Wertstromplaner systematisch durch die Design-Alternativen und -Ansätze geleitet wird. Dabei obliegt es dem Wertstromplaner, ob und welche Änderungen in der Parametrisierung des Wertstroms zu erfolgen haben.

Demnach ist das IT Artefakt ein Entscheidungsunterstützungssystem und erfüllt die in Kapitel 2.8.2 dargelegten Kriterien. Die konkrete Vorgehensweise, die eingebetteten Methoden sowie der Umgang mit dem IT Artefakt werden in den Kapiteln 6 und 7 beschrieben. An dieser Stelle sei jedoch erwähnt, dass zwischen realen und virtuellen Wertströmen unterschieden wird. Reale Wertströme bilden einen Datensatz mit realen Ist-Daten, wobei virtuelle Wertströme sowohl einen fertig parametrisierten Zielzustand als auch Zwischenschritte bei der Parametrisierung (vgl. Regelkreis in Kapitel 4.3) darstellen können.

5.2 Die Rolle des Wertstromplaners

Die vorliegende Dissertation unterstützt die Forderung nach der Änderung der Denkweise von verantwortlichen Personen in der Produktion, nämlich bei der Hinterfragung von aktuellen Zuständen in Prozessen und von Möglichkeiten zur Änderung des aktuellen Ablaufs mittels Verbesserungen (vgl. Emiliani and Stec, 2004). Der aktuelle Zustand eines Wertstroms wird somit stets hinterfragt und auf mögliche Verbesserungen überprüft. Der Wertstromplaner selbst wird in seiner täglichen Arbeit unterstützt und kann erforderliche Änderungen bzw. Verbesserungsmaßnahmen sowohl qualitativ als auch quantitativ bewerten. Vor allem der zukünftige Zielzustand ist mit den zu tätigen Maßnahmen und Veränderungen auf operativer Ebene gut kommunizierbar. Die Ergebnisse und somit die investitionsrelevanten Entscheidungen sind durch finanzielle und nicht-finanzielle Kennzahlen ebenfalls gut belegbar. Diese betreffen Ausprägungen der Leistung, Auslastung, erforderliche Anzahl an Mitarbeitern, Wettbewerbsfähigkeit und Kundenzufriedenheit (vgl. Emiliani and Stec, 2004).

Um dies zu erreichen, wird ein Wertstrom auf operativer Ebene vom Wertstromplaner mit den Mitarbeitern gemeinsam erhoben und als Istzustand zum Zeitpunkt t_0 im VSM Tool abgebildet. Anschließend unterstützt das vorgestellte Vorgehensmodell mit dem übergelagerten Zielsystem – abgebildet im prototypischen VSM Expert – den Wertstromplaner bei der Parametrisierung des Zielzustands, den es danach anzustreben und zu erreichen gilt. Hier werden Verbesserungspotentiale identifiziert, bewertet und priorisiert. Auf Basis des expliziten

Wissens bestehend aus Datensätzen und VSM-Planungswissen in der Wissensbasis werden Maßnahmen und Best Practice-Transfers abgeleitet. Im Zuge der Parametrisierung werden die zu tätigen Änderungen und Maßnahmen protokolliert und dokumentiert. Der parametrisierte Wertstrom wird nach Abschluss und Freigabe der operativen Ebene zur Umsetzung übergeben. Die Art und Weise der tagtäglichen Vorgehensweise zum Erreichung des parametrisierten Wertstroms, bestehend aus zukünftigen Ausprägungen von Input-Parametern und berechneten Kennzahlen, ist dem operativen Team überlassen. Die Ausprägungen der Parametrisierung entsprechen den Kriterien eines leistungssteigernden und lernförderlichen Zielzustands (vgl. Hempen, 2014; Sunk et al., 2015). Der Wertstromplaner fungiert in der Umsetzungsphase somit als externer Unterstützer. Dies ermöglicht sowohl den persönlichen als auch den organisatorischen Aufbau von System- und Methodenkompetenzen im Zuge von Produktivitätssteigerungen (vgl. Edtmayr et al., 2013).

Bisher wurden organisatorische Aspekte zur Integration von VSM und Lean-Strategien in Unternehmen in der Fachliteratur weitgehend ignoriert, weshalb die Einführung von Lean oftmals zu Verschwendung in Form der Ressourcen „Kosten“ und „Zeit“ führte (vgl. Hines et al., 2004; Karim and Arif- Uz- Zaman, 2013). Ebenso ist das Betreiben des IT Artefakts kein Bestandteil des Forschungsvorhabens, weshalb hier zukünftiger Forschungsbedarf im Rahmen der Verhaltenswissenschaft in Informationswissenschaften aufgezeigt wird (vgl. Hevner et al., 2004).

6 How-to-Knowledge: Implementierung des Vorgehensmodells in VSM Expert

Das How-to-Knowledge (i.e. Anwendungswissen der IT-gestützten Parametrisierung des nächsten Zielzustands eines Wertstroms) in der Domäne Value Stream Mapping (VSM) stellt nach HEVNER et al. eine Ansammlung an Methoden dar, die bspw. mathematische Algorithmen, textuelle Beschreibungen, Best Practice-Ansätze etc., aber auch eine Kombination ebendieser darstellen (vgl. Hevner et al., 2004). In diesem Kapitel wird die Implementierung des Vorgehensmodells im VSM Expert des IT Artefakts vorgestellt. Außerdem wird gezeigt, wie der Wertstromplaner durch (automatisierte) Hintergrund-Analysen und Design-Vorschläge unterstützt und mittels Vorgehensmodell im Entscheidungsprozess der IT-gestützten Parametrisierung des nächsten Zielzustands eines Wertstroms geleitet wird.

6.1 Benutzer-Schnittstelle von VSM Expert

VSM Expert ist das zentrale Element der Instanziierung (d.h. IT Artefakt) und beinhaltet als Prozess (vgl. Hevner et al., 2004) das erschaffene Vorgehensmodell. Deshalb wird zu Beginn die Benutzer-Schnittstelle bzw. die grafische Benutzeroberfläche (engl. „Graphical user interface (GUI)“) von VSM Expert dargestellt. In der prototypischen Umsetzung des IT Artefakts hat VSM Expert direkte Schnittstellen zum VSM Tool und zur VSM-Datenbank, die in der GUI abgebildet sind. Deshalb sind die Import-Anwendung zur VSM-Datenbank ebenso wie das VSM Tool als eigenständige, von VSM Expert unabhängige, IT Tools zu behandeln. Innerhalb von VSM Expert ist die prototypische GUI in sechs Segmente unterteilt:

1. Zielsystem mit Zielgrößen
 - a. Tabellarische Auswertung
 - b. Grafische Darstellung inkl. Verlauf
2. Import/Export-Schnittstelle
 - a. VSM Tool
 - b. VSM-Datenbank
3. Vorgehensmodell zur Orientierung
4. Navigation durch das Vorgehensmodell
 - a. Regelkreis(e)
 - b. Top-down strukturierte Aktivitäten
5. Interaktion mit dem Wertstromplaner
 - a. Hintergrund-Analysen
 - b. Benchmark-Kriterium zur Priorisierung
 - c. Inferenz-Maschine für Design-Vorschläge
6. Protokoll

Die GUI mit ihren Segmenten ist in der Abbildung 42 dargestellt. Die jeweiligen Segmente werden in den folgenden Sub-Kapiteln vorgestellt.

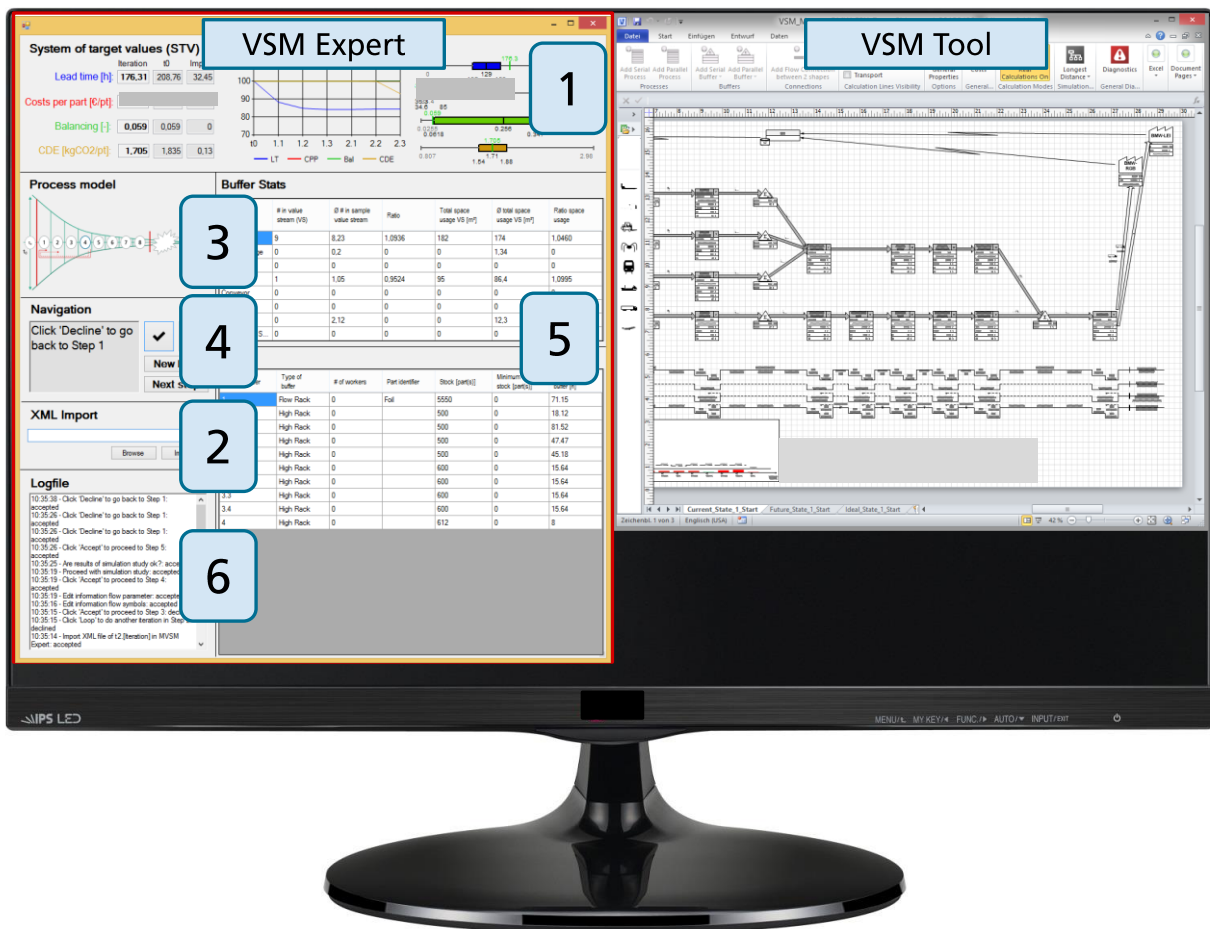


Abbildung 42: Die sechs Segmente der GUI von VSM Expert mit dem VSM Tool als externe Schnittstelle

Die einzelnen Segmente im Expertensystem stehen in starker Wechselwirkung zueinander. Während das (1) Zielsystem dem Vorgehensmodell übergeordnet ist, ermöglichen die anderen Segmente eine (4) Navigation durch das (3) Vorgehensmodell sowie eine (5) Interaktion des Wertstromplaners mit den Analysen der Daten in der (2) VSM-Datenbank. Die Auswirkungen der IT-gestützten Parametrisierung werden während der Aktivitäten des Vorgehensmodells über den Regelkreis im VSM Tool (vgl. Kapitel 4.3 und 5.1.3) im (1) Zielsystem tabellarisch und grafisch dargestellt. Das (6) Protokoll dokumentiert die Aktivitäten des Wertstromplaners in VSM Expert um eine Reproduzierbarkeit (vgl. Hevner et al., 2004) der IT-gestützten Parametrisierung zu ermöglichen.

6.1.1 Zielsystem mit Zielgrößen

Das Segment (1) repräsentiert die „Prüfstelle der Analyse“ des Regelkreises (vgl. Kapitel 4.3) zwischen der IT-gestützten Parametrisierung und dem Wertstromplaner. Es wird die Wirksamkeit der Parametrisierung auf die Zielgrößen überprüft und dargestellt. Mit dieser Prüfstelle kann der Wertstromplaner jederzeit feststellen, ob die getätigten Änderungen in der Parametrisierung den gewünschten Verbesserungen entsprechen (siehe Abbildung 43).

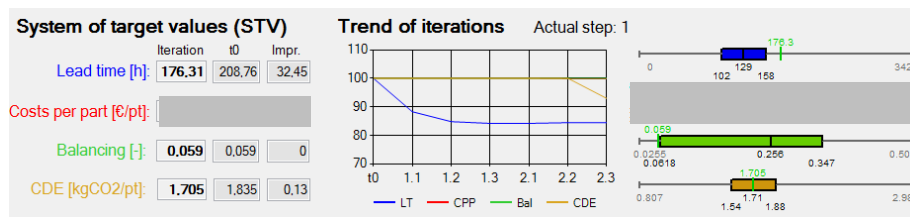


Abbildung 43: Segment (1) „Zielsystem mit Zielgrößen“ im Detail

Das Zielsystem (hier: engl. „System of target values“ (STV)) genannt beinhaltet die vorgestellten vier Zielgrößen: „Durchlaufzeit“ (hier: engl. „Lead time“), „Stückkosten“ (hier: engl. „Costs per part“), „Balancing-Factor“ (hier: Balancing) und „CDE-Wert“ (hier CDE). Die Werte für die Zielgrößen werden in tabellarischer Form für die letztgültige Iteration, den Istzustand zum Zeitpunkt t_0 und auch als absolute Änderung (hier: engl. „Improvement“ (Impr.)) zwischen Iteration und Istzustand ausgewiesen (siehe Abbildung 43 links). Da im Zuge der IT-gestützten Parametrisierung mehrmals der Regelkreis als Iterationsschleife durchgeführt werden kann, werden die Werte der vier Zielgrößen auch als Trend mit einer relativen Änderung gegenüber dem Istzustand zum Zeitpunkt t_0 (hier: t_0) ausgewiesen (siehe Abbildung 43 Mitte). Für jede Iterationsschleife wird hier ein weiterer Index (Abszissenachse) vergeben, bspw. $t_{i2.1}$ für die erste (hier: „1“) Iteration (hier: Index „it“) in STEP [2] (hier: „2.“) (vgl. Kapitel 7.2). Außerdem werden Boxplots der vier Zielgrößen aus der Gesamtheit an vergleichbaren Wertströmen aus der VSM-Datenbank erstellt und in Segment (1) angezeigt, wobei zusätzlich der Wert der aktuellen Iteration in hier grüner Schrift zur Orientierung ausgewiesen wird (siehe Abbildung 43 rechts).

6.1.2 Import-Schnittstelle

Das Segment (2) repräsentiert die Übergabe der „Parametrisierung“ in das/die „VSM Analyse-Tool(s)“ und die Übergabe der „Ergebnisse“ in VSM Expert des Regelkreises (vgl. Kapitel 4.3). Es dient also zur Vervollständigung des Regelkreises und zur Integration des VSM Tools in das IT Artefakt (vgl. Abbildung 42), wobei das Segment (2) in der folgenden Abbildung 44 dargestellt ist.

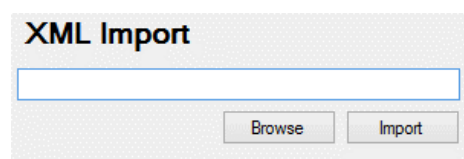


Abbildung 44: Segment (2) „Import-Schnittstelle“ im Detail

6.1.3 Vorgehensmodell zur Orientierung

Segment (3) mit der Darstellung des Vorgehensmodells dient zur Orientierung des Wertstromplaners bei der IT-gestützten Parametrisierung im Zuge des „Design“ im Regelkreis (vgl. Kapitel 4.3) und ist in Abbildung 45 dargestellt. Dabei werden die unterschiedlichen STEPS [0]-[8] und die getätigten bzw. erforderlichen Iterationsschleifen visualisiert. Das Segment (3) steht in Wechselwirkung mit Segment (4), der „Navigation durch das Vorgehensmodell“.

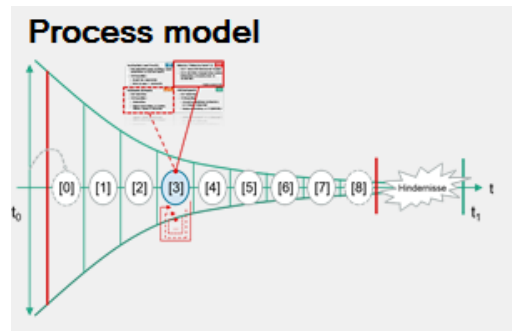


Abbildung 45: Segment (3) „Vorgehensmodell zur Orientierung“ im Detail

6.1.4 Navigation durch das Vorgehensmodell

Die „Navigation durch das Vorgehensmodell“ wird in VSM Expert durch mehrere Buttons ermöglicht und ist in Segment (4) (vgl. Abbildung 46) dargestellt. Durch Klicken des Buttons „Accept“ (hier: Häkchen) wird die vorgeschlagene Handlung einer Top-down strukturierten Aktivität des Vorgehensmodells in die Parametrisierung des (virtuellen) Wertstroms im VSM Tool übernommen, durch Klicken von „Decline“ (hier: „X“) wird diese abgelehnt. Die Reihenfolge der vorgeschlagenen Handlungen wird über das Benchmark-Kriterium (vgl. Kapitel 6.2.1) festgelegt. Der Wertstromplaner kann durch Klicken von „Next step“ den nächsten STEP und die nächste Top-down strukturierte Aktivität des Vorgehensmodells wählen, sobald die Relevanz der vorgeschlagenen Handlungen mit Auswirkungen auf die Zielgrößen des Zielsystems für den Wertstromplaner nicht mehr signifikant ist. Durch Klicken des Buttons „New loop“ werden erneut alle Top-down strukturierten Aktivitäten eines STEPS durchgeführt. Der hier angezeigte Text bezieht sich auf in VSM Expert hinterlegte Textbausteine (vgl. Kapitel 6.3) zur Unterstützung der Interaktion zwischen dem Vorgehensmodell und dem Wertstromplaner.

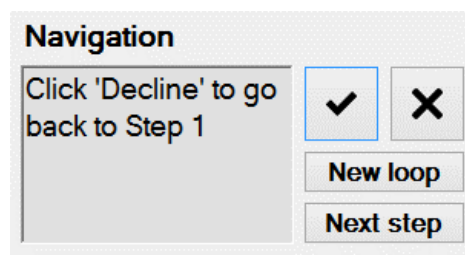


Abbildung 46: Segment (4) „Navigation durch das Vorgehensmodell“ im Detail

Deshalb beinhaltet das Segment (4) Funktionen von „Design“, „Regler“ und „Parametrisierung“ des Regelkreises (vgl. Kapitel 4.3).

6.1.5 Interaktion mit dem Wertstromplaner

Als „Interaktion mit dem Wertstromplaner“ in Segment (5) werden die Darstellung der Hintergrund-Analysen der VSM-Datenbank und das Vorlegen von Handlungsoptionen verstanden, die in starker Wechselwirkung mit der Navigation durch das Vorgehensmodell stehen. Sämtliche Hintergrund-Analysen, die während der STEPS und den Top-down strukturierten Aktivitäten (automatisiert) durchgeführt werden, werden hier angezeigt.

Buffer Stats						
Type of buffer	# in value stream (VS)	Ø # in sample value stream	Ratio	Total space usage VS [m²]	Ø total space usage VS [m²]	Ratio space usage
High Rack	9	8,23	1,0936	182	174	1,0460
Block Storage	0	0,2	0	0	1,34	0
Silo	0	0	0	0	0	0
Flow Rack	1	1,05	0,9524	95	86,4	1,0995
Conveyor	0	0	0	0	0	0
Trailer	0	0	0	0	0	0
Handover	0	2,12	0	0	12,3	0
Haz. Goods S...	0	0	0	0	0	0

Buffer						
Buffer number	Type of buffer	# of workers	Part identifier	Stock [part(s)]	Minimum stock [part(s)]	Range of buffer [m]
1	Flow Rack	0	Foil	5550	0	71.15
2.1	High Rack	0		500	0	18.12
2.2	High Rack	0		500	0	81.52
2.3	High Rack	0		500	0	47.47
2.4	High Rack	0		500	0	45.18
3.1	High Rack	0		600	0	15.64
3.2	High Rack	0		600	0	15.64
3.3	High Rack	0		600	0	15.64
3.4	High Rack	0		600	0	15.64
4	High Rack	0		612	0	8

Abbildung 47: Segment (5) „Interaktion mit dem Wertstromplaner“ am Beispiel der Lagerstufen

Dieses Segment ist – je nach Aktivität in den STEPS – aufgrund der erforderlichen Hintergrund-Analysen frei in der Gestaltung. So werden hier neben tabellarischen Auswertungen der VSM-Datenbank auch Boxplot-Darstellungen und Priorisierungen jeweils mittels Benchmark-Kriterium ausgewiesen. Bezogen auf den Regelkreis aus Kapitel 4.3 werden hier Funktionalitäten der „Parametrisierung“ für den Wertstromplaner als „Regler“ aufbereitet.

6.1.6 Protokoll

Das „Protokoll“ (hier: engl. „Logfile“) in Segment (6) dokumentiert die Aktivitäten des Wertstromplaners in VSM Expert und unterstützt bei der Erstellung des Maßnahmen-Katalogs für die Realisierung des parametrisierten Zielzustands in der Praxis (vgl. Abbildung 48). Damit sind einerseits die getätigten Entscheidungen des Wertstromplaners transparent und nachvollziehbar, andererseits dient dies als Grundlage eines lernenden Systems, um zukünftig ähnliche Aktivitäten und Handlungsoptionen der IT-gestützten Parametrisierung (teil-) automatisiert ausführen zu können. Das Protokoll hat keine Funktionalität im Regelkreis aus Kapitel 4.3.

Logfile
10:35:38 - Click 'Decline' to go back to Step 1: accepted
10:35:26 - Click 'Decline' to go back to Step 1: accepted
10:35:26 - Click 'Decline' to go back to Step 1: accepted
10:35:26 - Click 'Accept' to proceed to Step 5: accepted
10:35:25 - Are results of simulation study ok?: accepted
10:35:19 - Proceed with simulation study: accepted
10:35:19 - Click 'Accept' to proceed to Step 4: accepted
10:35:19 - Edit information flow parameter: accepted
10:35:16 - Edit information flow symbols: accepted
10:35:15 - Click 'Accept' to proceed to Step 3: declined
10:35:15 - Click 'Loop' to do another iteration in Step 2: declined
10:35:14 - Import XML file of t2.[iteration] in MVSM Expert: accepted

Abbildung 48: Segment (6) „Protokoll“ im Detail

6.2 Heuristiken der IT-gestützten Parametrisierung

In dieser Arbeit wird unter dem Begriff „Heuristik“ die analytische Vorgehensweise einer Top-down strukturierten Aktivität im Zuge der Lösung einer spezifischen Problemstellung verstanden. Grundsätzlich sind den Heuristiken sowohl die Bottom-up durchgeführten Hintergrund-Analysen als auch die Design-Ansätze mit den zugehörigen Handlungsoptionen (= Top-down) zuzuordnen. Analyse und Design beruhen auf dem in Kapitel 3 vorgestellten State of the Art, wobei VSM-Design einer spezifischen Problemstellung stets eine zuvor getätigte VSM-Analyse bedingt (vgl. Abbildung 14).

In der prototypischen Umsetzung des Vorgehensmodells in ein IT Artefakt sind relevante Heuristiken für die drei beispielhaften Anwendungen in Kapitel 7 implementiert. Andere spezifische Problemstellungen erfordern ggf. zusätzliche Heuristiken zur Problemlösung in der IT-gestützten Parametrisierung des nächsten Zielzustands eines Wertstroms, weshalb sich dadurch – für Wissenschaft und Praxis – ein zusätzlicher Forschungsbedarf ergibt. Beispielhafte Möglichkeiten hierfür, abgeleitet aus dem State of the Art in Kapitel 3, werden abschließend ausgewiesen. Erschaffene und in das prototypische IT Artefakt implementierte Heuristiken werden hier nachfolgend beschrieben. Der Algorithmus zur Berechnung des Balancing-Factors aus Kapitel 4.4.2 ist deshalb dem Kapitel Heuristik zuzuordnen.

6.2.1 Benchmark-Kriterium zur Priorisierung der Potentiale

Das Benchmark-Kriterium dient zur Priorisierung der Potentiale für Verbesserungen der Parametrisierung des nächsten Zielzustands des betrachteten Wertstroms. Je nach Aktivität im Vorgehensmodell werden unterschiedliche Input-Parameter und VSM-Kennzahlen betrachtet und ausgewertet. Aus diesem Grund werden für sämtliche Elemente im Wertstrom die erforderlichen Daten aus der VSM-Datenbank extrahiert und bspw. mittels Boxplots ausgewertet. Der Nutzen des Benchmark-Kriteriums wird anhand eines fiktiven Beispiels (hier: Verbesserung des Balancing-Factors) erläutert.

In STEP [3] wird der Balancing-Factor durch geeignete Parametrisierung der Input-Parameter und der lokal berechneten Kennzahlen verbessert. Deshalb werden als Hintergrund-Analysen durchgeführte Auswertungen der VSM-Datenbank als Boxplots vorbereitet. Die Priorisierung der Handlungsoptionen, die dem Wertstromplaner zur Entscheidung vorgelegt werden, orientieren sich am Benchmark-Kriterium. Hierbei werden nach absteigender Reihenfolge die Input-Parameter der Prozesse dargestellt, die im Vergleich zum aufbereiteten VSM-Datensatz größtmögliche Verbesserungspotentiale darstellen.

Das Benchmark-Kriterium (BM) wird nach Formel 17 berechnet. Die Variablen „Best“ und „Worst“ entsprechen den oberen bzw. unteren Werten für den betrachteten Wert (hier: inkl. Ausreißer). Die Variable „Actual“ entspricht dem Istwert (vgl. „Actual value“ oben) des betrachteten Wertstroms, bspw. als Input-Parameter oder als VSM-Kennzahl (lokal oder graphenbasiert berechnet). Die Festlegung, ob ein hoher Wert gut oder schlecht ist, wird individuell bestimmt – bspw. sind ein hoher Balancing-Factor und eine niedriger CDE-Wert als „gut“ zu bewerten.

$$BM_{Parameter, KPI} = \left(\frac{Best - Actual}{Best - Worst} \right)$$

Formel 17: Benchmark-Kriterium

Das Benchmark-Kriterium ist für Input-Parameter und VSM-Kennzahlen anwendbar, also für alle VSM-Daten in der relationalen VSM-Datenbank. Mit dem Benchmark-Kriterium sind deshalb sämtliche Boxplot-Auswertungen priorisierbar und werden dem Wertstromplaner im Interaktionsbereich vorgelegt. Der berechnete Wert aus dem Benchmark-Kriterium ermöglicht die Quantil- bzw. (hier:) Quartil-Zuordnung des Istwerts im Boxplot des betrachteten Input-Parameters oder der betrachteten VSM-Kennzahl, weshalb sich daraus die Potentiale des betrachteten Werts in sämtlichen Elementen im Wertstrom nach dessen Verbesserungspotential reihen lassen.

6.2.2 Einfache statistische Auswertungen und Boxplots

Die in der VSM-Datenbank abgelegten Input-Parameter und VSM-Kennzahlen (lokal und graphenbasiert berechnet) eignen sich aufgrund der relationalen Datenbank und der Stammdaten-Struktur für statistische Auswertungen mit hoher Aussagekraft. Die Werte der Zielgrößen des Zielsystems sind für ähnliche Produktfamilien und deshalb für Wertströme (vgl. Abbildung 50) ebenso wie für Input-Parameter und Kennzahlen ähnlicher Prozesstechnologien (vgl. Abbildung 51), Transportmittel und Lagerungsarte im Detail vergleichbar. Deshalb ist für statistische Auswertungen eine Extrahierung relevanter Daten aus der VSM-Datenbank erforderlich.

Zur Extrahierung der VSM-Daten aus der VSM-Datenbank dienen die Stammdaten des betrachteten und durch die IT-gestützte Parametrisierung zu verbessernden Wertstroms. Die hierarchische (Top-down) Struktur zur Bildung einer Produktfamilie ist für den vorliegenden Fall in Kapitel 5.1.2 vorgestellt. Zur Extrahierung der Prozess-Daten aus der VSM-Datenbank wurden Stammdaten für Prozesstechnologien eingeführt, um die Input-Parameter und die VSM-Kennzahlen bewerten und vergleichen zu können. Die Menge an ursprünglichen Prozess-Kompetenzen wurde in dieser Arbeit zur Reduktion der Komplexität von über 200 auf knapp unter 30 reduziert. Somit wird ermöglicht, dass VSM-Kennzahlen und Prozess-Kennzahlen von ähnlichen, aber nicht gleichen Prozesstechnologien verglichen werden können, um bspw. Aussagen über Best Practice-Lösungen zu erhalten. Aus Gründen der Verschwiegenheitspflicht gegenüber dem Projektpartner wird auf die Auflistung der Prozesstechnologien an dieser Stelle verzichtet. Die Extrahierung wird in der prototypischen Instanziierung als IT Artefakt mittels einer SQL-Abfrage durchgeführt.

Sämtliche aus der VSM-Datenbank extrahierte Daten werden als Boxplots³⁷ ausgewertet, sofern dies für die IT-gestützte Parametrisierung von Relevanz ist. Deshalb wird in Abbildung 50 das Standard-Layout eines Boxplots dargestellt (vgl. Abbildung 49). Der grüne Kasten bildet

³⁷ Ein Boxplot ist eine „graphische Darstellung in der beschreibenden Statistik (deskriptive Statistik) zur Veranschaulichung von Lage- und Streuungsmaßen zu einem metrischen Datensatz (insbesondere unteres und oberes Quartil, Median, arithmetisches Mittel, Quartilsabstand, Spannweite). Box-Plots sind besonders zum schnellen und direkten Vergleich mehrerer Datensätze geeignet.“ Gabler Wirtschaftslexikon, Online URL: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/596505792/box-plot-v2.html> (01.09.2016)

den Bereich ab, in dem 50% der Daten liegen. Q1 steht für das untere Quartil und Q3 für das obere Quartil. Der Median-Wert teilt die Menge an Daten bei 50%. Der Istwert zum Zeitpunkt t_0 oder zu einer durchgeführten Iterationsschleife wird hier als „Actual value“ ausgewiesen. Als „Strategic input“ (hier: graue Linie) wird hier eine Vorgabe seitens des Unternehmensverbands verstanden, die in der VSM-Datenbank als Referenzwert hinterlegt ist. Grundsätzlich soll jeder Istwert „besser“ als der Referenzwert sein, wobei ebendieser laufend anzupassen ist. Seitlich neben dem Kasten sind in den Linien (engl. „Whiskers“) die anderen 50% der Werte vorzufinden. Die Enden der Whiskers stellen die „besten“ und die „schlechtesten“ Werte der VSM-Datenbank für den extrahierten Datensatz dar. Darüber hinaus ist in den Boxplots ein Ampelsystem eingeführt, wobei relevante Werte farblich (vgl. Abbildung 49, roter Kasten) hervorgehoben werden. Falls ein Wert den Kriterien des Ampelsystems nicht entspricht, so wird der Wert auch nicht farblich hervorgehoben, d.h. es wird kein farblich hervorgehobener Kasten angezeigt.

- ROT: Unteres Quartil → 25% der „schlechtesten“ Werte)
- ORANGE: „Strategic Input“-Referenz ist veraltet → 50% der Werte sind „besser“
- GRÜN: TOP 10% → entspricht „Best Practice“

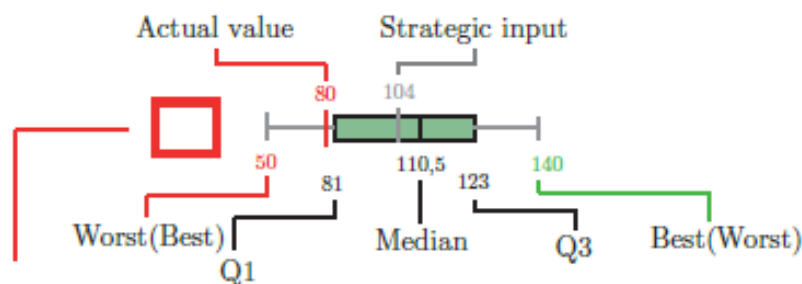


Abbildung 49: Legende zu den Boxplots

Zu beachten ist, dass statistische Ausreißer im Boxplot des prototypischen IT Artefakts berücksichtigt werden und somit die Länge der Whiskers vorgeben. Deshalb können Boxplot-Auswertungen bei inkorrekten Input-Parametern und somit bei falsch berechneten Kennzahlen verfälscht sein. In den beiden nachfolgenden Abbildungen sind Beispiele für einfache, statistische Auswertungen in tabellarischer Form ebenso wie mit zugehörigen Boxplots für VSM-Kennzahlen und für Prozesse im Detail dargestellt. Dies dient zur Verdeutlichung des Spektrums an VSM-Daten mit den zugehörigen Potentialen der IT-gestützten Parametrisierung des nächsten Zielzustands eines Wertstroms.

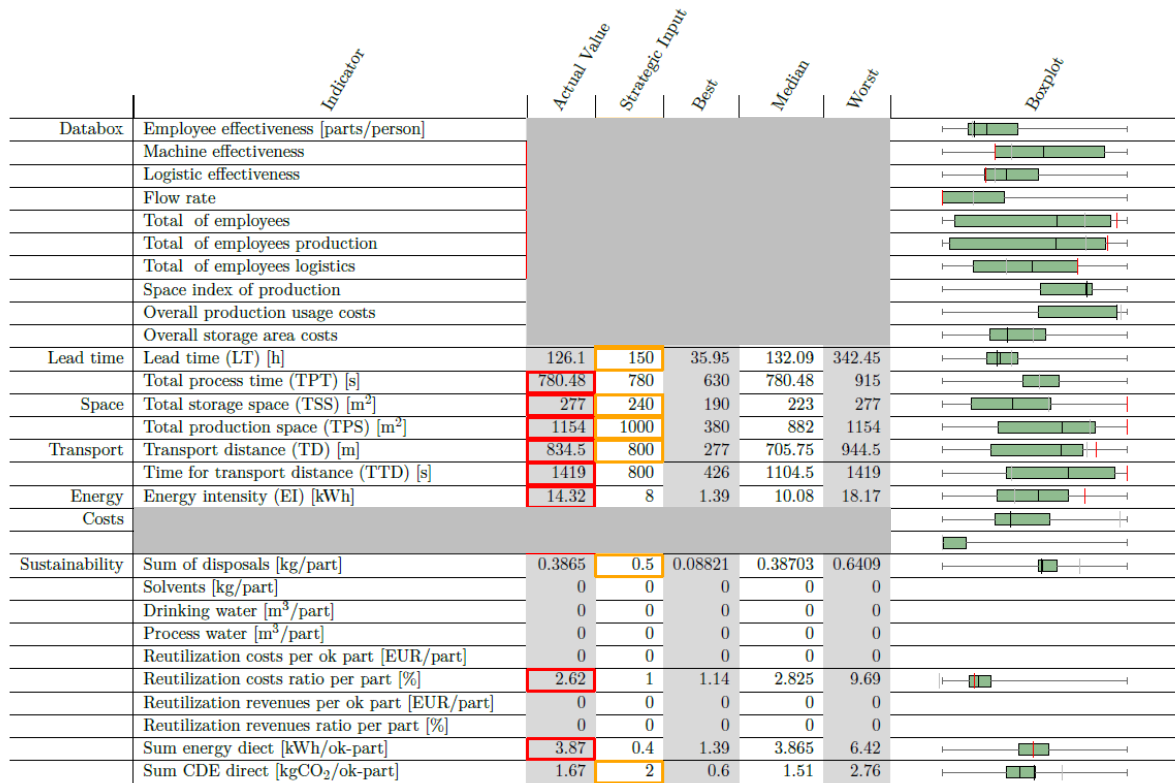


Abbildung 50: Auswertung ausgewählter VSM-Kennzahlen

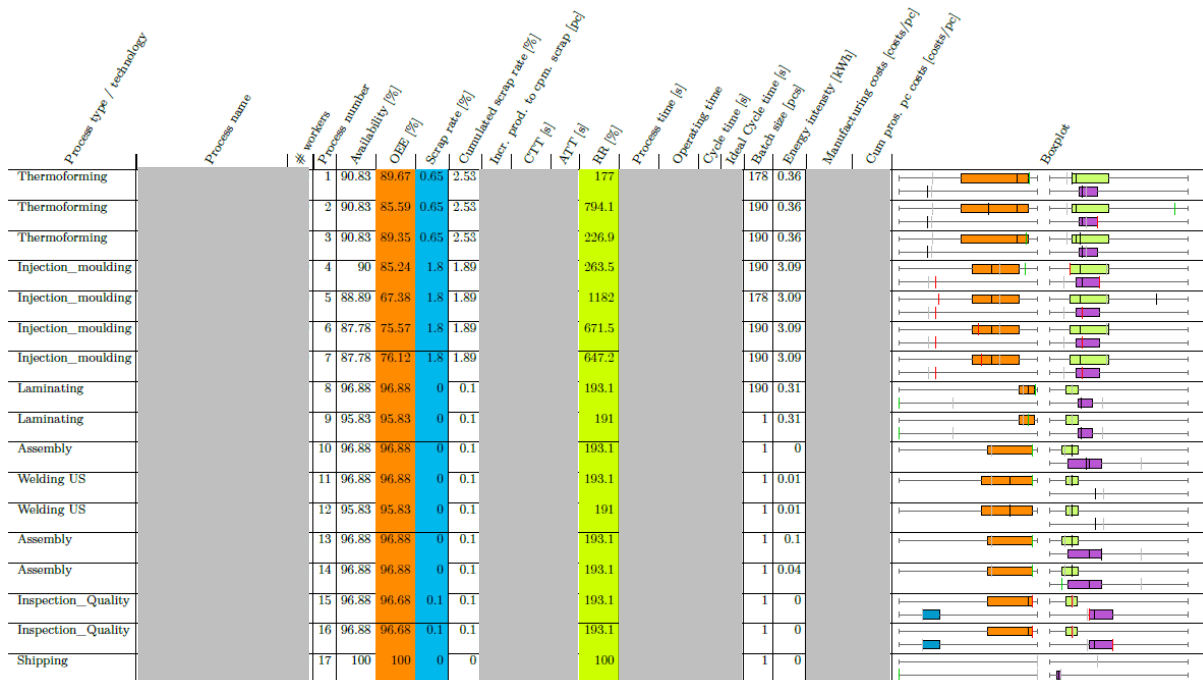


Abbildung 51: Auswertung ausgewählter Input-Parameter und Kennzahlen für Prozesse

Die statistischen Auswertungen werden ebenso wie die Boxplots im Segment (5) angezeigt. Der Detaillierungsgrad der Auswertung und der Anzeige richtet sich nach den Anforderungen der Top-down strukturierten STEPS und Aktivitäten im Vorgehensmodell. Die Priorisierung der Handlungsoptionen erfolgt Top-down anhand des Benchmark-Kriteriums.

Weitere einfache Auswertungen und grafische Darstellungen als Hintergrund-Analysen bieten Histogramme zur komprimierten Informationsdarstellung für Wertstromplaner im Interaktionsbereich in Segment (5).

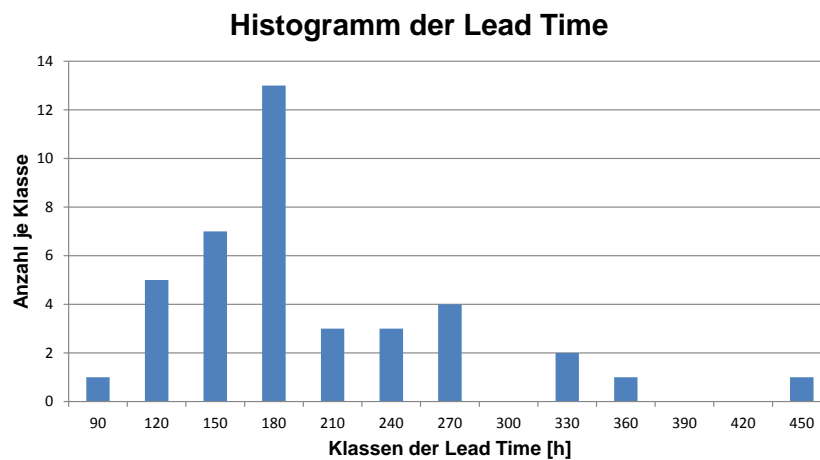


Abbildung 52: Beispielhaftes Histogramm

6.2.3 Erweiterung der Heuristiken aus der Fachliteratur im Vorgehensmodell

In der prototypischen Instanziierung des Vorgehensmodells sind die beiden zuvor vorgestellten Hintergrund-Analysen implementiert und in der praktischen Anwendung (vgl. Kapitel 7) als Use Case evaluiert. Darüber hinaus bietet die Fachliteratur eine Vielzahl an Analyse- und Design-Heuristiken, die im Vorgehensmodell an geeigneten Stellen zu integrieren sind.

An erster Stelle seien statistische Test-Verfahren zu erwähnen, welche die **Wirksamkeit** von getätigten Maßnahmen im Regelkreis der IT-gestützten Parametrisierung **überprüfen**. LIAN und VAN LANDEGHEM vergleichen zwei Szenarien (hier: Istzustand und Zielzustand) und überprüfen Verbesserungsmaßnahmen durch Bestätigung bzw. Widerlegung von Hypothesen am Beispiel der VSM-Kennzahlen „Durchsatz“, „Durchlaufzeit“, „WIP“ und „Auslastungen der Prozesse“ mittels dynamischer VSM-Auswertungen. Der p-Wert beschreibt, ob das festgelegte Signifikanzniveau über- bzw. unterschritten ist. Abhängig davon werden Hypothesen bestätigt oder verworfen, was sich hier in der Überprüfung der Wirksamkeit einer geänderten Parametrisierung widerspiegelt (vgl. Lian and Van Landeghem, 2002). Diese Art der Überprüfung der Wirksamkeit ist in STEP [4] anzutreffen. Eine mögliche Erweiterung zur IT-gestützten Parametrisierung der Input-Parameter und der VSM-Kennzahlen bietet die Maximum-Likelihood-Methode als parametrisches Schätzverfahren der zur Verfügung stehenden VSM-Daten. In der Fachliteratur wurde dazu kein Beitrag gefunden.

Viele der genannten Aspekte zur Überprüfung der Wirksamkeit sind in Kapitel 3.2.4 vorgestellt, die sich in STEP [4] wiederfinden. Neben der Simulation der Grob- und Fein-Parametrisierung bietet sich eine Simulation der Kostenentwicklung von unterschiedlichen Szenarien an (vgl. Agyapong-Kodua et al., 2012), wobei dies im Vorgehensmodell nach STEP [7] durchzuführen ist.

Eine weitere Überprüfung der Wirksamkeit der Grob- und Fein-Parametrisierung ermöglichen die logistischen Kennlinien nach NYHUIS und WIENDAHL (vgl. Nyhuis and Wiendahl, 2012). Die dafür relevanten Input-Parameter und VSM-Kennzahlen sind im VSM Tool grundsätzlich verfügbar, wobei die dynamische VSM-Analyse in STEP [4], mit dem definierten Produktionsprogramm, zusätzlich erforderlich ist. Die Bewertung der logistischen Kennzahlen kann daher im Vorgehensmodell in STEP [4] integriert werden und ist nach der Erstellung des VSM-Simulationsmodells möglich. Die Auswertung der logistischen Kennlinien kann danach im VSM Expert in Segment (5) (Interaktionsbereich) grafisch dargestellt werden, damit der Wertstromplaner eine weitere Entscheidungsgrundlage für die IT-gestützte Parametrisierung erhält.

Investitionsentscheidungen hinsichtlich des Austauschs von Elementen des Wertstroms (engl. „Replacement decisions“) erfolgen grundsätzlich in STEP [1] (Grob-Parametrisierung), wenn Art und Anzahl der Elemente im Wertstrom festgelegt werden. Das Vorgehen von SULLIVAN et al. ist hier als zusätzliche Aktivität zu integrieren. Für den vorliegenden Fall ist das insofern von hoher Bedeutung, da einerseits im Unternehmensverbund für ähnliche Prozesse unterschiedliche Prozesstechnologien verwendet werden und andererseits neue Technologie vom Markt in die Wertströme zu integrieren ist. Die Sinnhaftigkeit der Entscheidung zum Austausch ist mit dem VSM Tool hinsichtlich Input-Parameter und VSM-Kennzahlen standardisiert bewertbar und somit vergleichbar. Investitionen und deren Nutzen sind mit der Barwert-Methode zu bewerten (vgl. Sullivan et al., 2002).

Grundsätzliche Ansätze für Analyse-Heuristiken zur Reduktion des CDE-Werts bieten LOURENCO et al. und MÜLLER et al. (vgl. Lourenço et al., 2013; Lourenço E.J. et al., 2014; Müller et al., 2014). Beide Ansätze bewerten den wertschöpfenden Zeitanteil in den Prozessen und ordnen diese den Energieeinsätzen zu. Damit lassen sich mittels Hintergrund-Analysen zusätzliche Potentiale auf Grundlage der Daten in der VSM-Datenbank ermitteln. Die Sichtweise der Peripherien zur detaillierten Unterscheidung von direkten und indirekten Energieeinsätzen nach MÜLLER et al. ist als Erweiterung des im VSM Tool implementierten Ansatzes zu verstehen, und ist auf Transporte und Lagerstufen ebenfalls anwendbar. Diese beiden Ansätze sind in STEP [6] zu integrieren.

Die Design-Ansätze zur Dimensionierung der Kapazitäten und der Warteschlangensysteme sind im Vorgehensmodell den STEPS eindeutig zugeordnet. Die zugrundeliegenden Heuristiken sind in der jeweiligen, spezifischen Problemstellung auszuwählen und anzuwenden. An dieser Stelle sei angemerkt, dass die hier vorgestellten Heuristiken zur Analyse, zur Wirksamkeitsüberprüfung und zum Design in der Fachliteratur hinreichend belegt sind. In der Implementierung im Vorgehensmodell und in der praktischen Anwendung ist jedoch weiterer Forschungsbedarf gefordert.

6.3 Prototyp der Inferenz-Maschine in „VSM-Expert“

In der prototypischen Instanziierung wird als Inferenz-Maschine die Interaktion des Wertstromplaners mit VSM Expert und mit den getätigten Änderungen der Parametrisierung im VSM Tool verstanden. Die Schlussfolgerungen werden deshalb vom Wertstromplaner persönlich abgeleitet. Dies erfolgt auf Grundlage der zur Verfügung stehenden Daten,

Auswertungen (hier: Hintergrund-Analysen) und Top-down strukturierten Aktivitäten des Vorgehensmodells (hier: vorgeschlagene Handlungsoptionen) inkl. Navigation durch ebendiese. Das Ableiten von Schlussfolgerungen als Inferenz ist als Deduktion zu betrachten: (Experten-) Wissen über Analyse und Design im VSM ist in Form von Regeln bzw. Heuristiken und Algorithmen abgebildet. Der Schluss vom Allgemeinen auf das Ergebnis des Einzelnen ist zulässig. Im Entscheidungsprozess bei der Navigation durch das Vorgehensmodell sind Ja/Nein-Entscheidungen durch den Wertstromplaner zu treffen. Dabei wird er durch vordefinierte Textbausteine, welche die Top-down strukturierten Aktivitäten repräsentieren, unterstützt. Den Aktivitäten und somit den Textbausteinen sind das Analyse- und Design-Wissen im VSM als Formeln, Algorithmen und Heuristiken hinterlegt. Somit sind die Handlungsoptionen für den Wertstromplaner darstellbar. Der Aufbau der Inferenz-Maschine und die Navigation durch das Vorgehensmodell sind in der folgenden Tabelle 16 dargestellt.

Tabelle 16: Aufbau der Inferenz-Maschine

STEP	Aktivität	Textbausteine				Analyse(n)			Design
[0]	[0.1]	[0.1.1]	[0.1.2]	-	-	-	-	-	-
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
[3]	[0.1]	[3.1.1]	[3.1.2]	[3.1.3]	[3.1.4]	[BM]	[ID23]	-	[ID47]
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
[8]	[8.4]	[4.4.1]	[4.4.2]	[4.4.3]	-	-	-	-	-

Der Ablauf der Inferenz-Maschine folgt grundsätzlich den Top-down strukturierten STEPS und Aktivitäten im Vorgehensmodell, wobei diese durch VSM-Analysen und Design-Ansätze an geeigneter Stelle unterstützt werden. Als Beispiele werden das Benchmark-Kriterium ebenso wie die Boxplot-Darstellung und die tabellarische Auswertung von Daten der VSM-Datenbank genannt, die den Aktivitäten im Vorgehensmodell zugeordnet sind. Einer Aktivität sind eine oder mehrere Textbausteine zugeordnet, wobei diesen Analyse- und/oder Design-Heuristiken zugeordnet sind, um die Parametrisierung IT-gestützt zu ermöglichen. Den Wertstrom beschreibende Aktivitäten sind ohne Analyse- bzw. Design-Heuristik und somit als „-“ dargestellt. Bezogen auf den Aufbau der Inferenz-Maschine sei hier auf die Iterationen und Schleifen im Vorgehensmodell hingewiesen, weshalb sich der Ablauf der Inferenz-Maschine in Abbildung 53 wie folgt darstellen lässt. Die Navigation durch die STEPS im Vorgehensmodell wird durch Textbausteine unterstützt, die in VSM Expert in Segment (4) angezeigt werden. Innerhalb der STEPS sind die Textbausteine erweiterbar, wobei die durchzuführenden Hintergrund-Analysen und die Design-Ansätze den Textbausteinen zugeordnet sind.

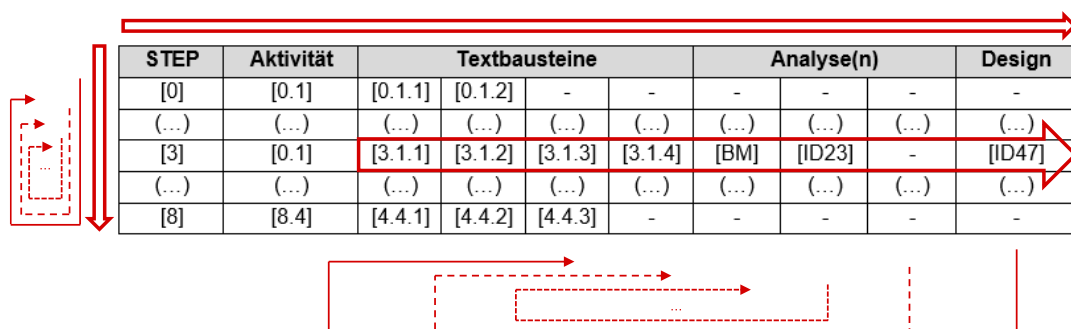


Abbildung 53: Ablauf der Inferenz-Maschine

Ein Textbaustein setzt sich dabei aus einem fixen und ggf. einem variablen Anteil zusammen, wenn z.B. mit einer Aktion sämtliche Prozesse Top-down dem Benchmark-Kriterium folgend abgearbeitet werden – der variable Text ändert sich deshalb in der Nummer des betrachteten Elements (z.B. Buffer 4, dann Buffer 5.1, dann Buffer 2, etc.). Die Textbausteine sind durch die Wissensbasis im Vorgehensmodell verfügbar gemacht und bilden so das Vorgehensmodell als Methode (vgl. Hevner et al., 2004) ab, um das Analyse- und Design-Wissen verfügbar zu machen (vgl. Tabelle 17).

Tabelle 17: Beispiel von Textbausteinen in STEP [0]

No.	TextID	PreviousStepID	NextStepID	PictureID	ShowFixText	ShowVarText	UseAlgorithmID
1	Step0_001	SelectCoreData	Step0_002	STEP-0	Load t0 File in VSM Tool		
2	Step0_002	Step0_001	Step0_003	STEP-0	Set Average Customer Scenario in VSM Tool		
3	Step0_003	Step0_002	Step0_004	STEP-0	Set Maximum Customer Scenario in VSM Tool		
4	Step0_004	Step0_003	Step0_005	STEP-0	Set Minimum Customer Scenario in VSM Tool		
5	Step0_005	Step0_004	Step0_006	STEP-0	Set Number of Factory Days in t1 in VSM Tool		
6	Step0_006	Step0_005	Step0_007	STEP-0	Calculate Static VSM Analysis in VSM Tool		
7	Step0_007	Step0_006	Step0_008	STEP-0	Do the XML Export t0 in VSM Tool		
8	Step0_008	Step0_007	Step0_009	STEP-0	Import XML File of t0 in VSM Expert		
9	Step0_009	Step0_008	Step1_001	STEP-0	Click 'Accept' to proceed to Step 1		

Deshalb wird die im Zuge des Forschungsprojekts grundlegende Vision der Zielsetzung, Wertströme „per Knopfdruck ideal“ zu parametrisieren, auf das Vorgehensmodell sowie auf die prototypische Instanziierung als IT Artefakt reduziert. Das integrierte Protokoll in Segment (6) bietet jedoch eine Grundlage für weitere Forschungsarbeiten, um das Vorgehensmodell in ein WBS zu überführen. Dies kann bspw. in automatisiertem Navigieren oder Vorschlagen von Handlungsoptionen und Parametrisierungen mit vorgeschlagenen Werten resultieren, aber auch in Überspringen von STEPS bzw. Aktivitäten, falls vorab das Verbesserungspotential als nicht relevant bewertet wurde. Feedback-Loops im Regelkreis (vgl. Kapitel 4.3) werden – im Gegensatz zu DESROCHERS (vgl. Desrochers, 1990) – jedoch über die externe Schnittstelle VSM Tool durchgeführt. Bei der Evaluierung des IT Artefakts inkl. VSM Expert erhält der Wertstromplaner durch die IT-gestützte Parametrisierung des Zielzustands ein Feedback über den aktuellen Istzustand, was zu einem besseren Verständnis der aktuellen Problemstellung führt. Durch iterative Parametrisierung und Evaluierung des Vorgehensmodells steigt die Qualität der Problemlösung mittels VSM Expert (vgl. Markus et al., 2002). Häufig getätigte Ja/Nein-Entscheidungen werden dabei für zukünftige Iterationen bzw. Parametrisierungen vermerkt, um das IT-gestützte Parametrisieren des nächsten Zielzustands eines spezifischen Wertstroms – ausgehend vom Istzustand – noch effektiver und effizienter zu ermöglichen.

Für spezifische Problemstellungen und -lösungen sind die Aktivitäten mit den zugehörigen Textbausteinen, der Navigation und den Analyse- und Design-Heuristiken in der gezeigten Form erweiterbar und somit im Vorgehensmodell integrierbar.

7 Evaluierung mittels Use Case

In diesem Kapitel wird die Design-Evaluierung zur Präsentation und Kommunikation der Wirksamkeit des IT Artefakts dargelegt, wobei den in Kapitel 1.3 festgehaltenen Kriterien nach HEVNER et al. Folge geleistet wird. Mit dem VSM Tool wurde hierzu ein realer Wertstrom mit sämtlichen Funktionalitäten, die das VSM Tool besitzt, vollständig analysiert. Auf dieser Grundlage wurde ein fiktiver „Demo-Datensatz“ mit zusätzlichen 39 analysierten, ähnlichen Wertströmen erstellt, bei denen sowohl die Konfiguration als auch die Input-Parameter in den Elementen des Wertstroms geändert wurden. Der Demo-Datensatz ist mittels Import-Anwendung in der VSM-Datenbank abgelegt. Bei der Design-Evaluierung (vgl. Richtlinie 3) handelt es sich somit um ein Experiment mit der Ausprägung „**Simulation des IT Artefakts mit künstlichen Daten**“. Auf dieser Grundlage wird im Folgenden dargestellt, wie für einen dieser fiktiven Wertströme (hier: Straubing_09) die IT-gestützte Parametrisierung des nächsten Zielzustands erreicht wird. Außerdem wird erläutert, in welcher Form diese Art der Parametrisierung ein effektiveres und effizienteres VSM zur Produktivitätssteigerung als Problemlösung im Vergleich zur traditionellen VSM-Vorgehensweise ermöglicht. Dies wird am Vergleich der Vorgehensweisen durch Expertenwissen des Wertstromplaners und IT-gestützt mit dem IT Artefakt (VSM Expert) demonstriert (vgl. Hevner et al., 2004). In beiden Varianten werden das Vorgehensmodell und das VSM Tool verwendet (vgl. Abbildung 54). Die Unterschiede werden in Kapitel 7.4 diskutiert.

- Mit dem VSM Tool analysierter Istzustand des Beispiel-Wertstroms (Kapitel 7.1)
- Parametrisierung des Beispiel-Wertstroms mit IT-Support (Kapitel 7.2)
- Zielzustand des Beispiel-Wertstroms ohne/mit IT-Support (Kapitel 7.3)

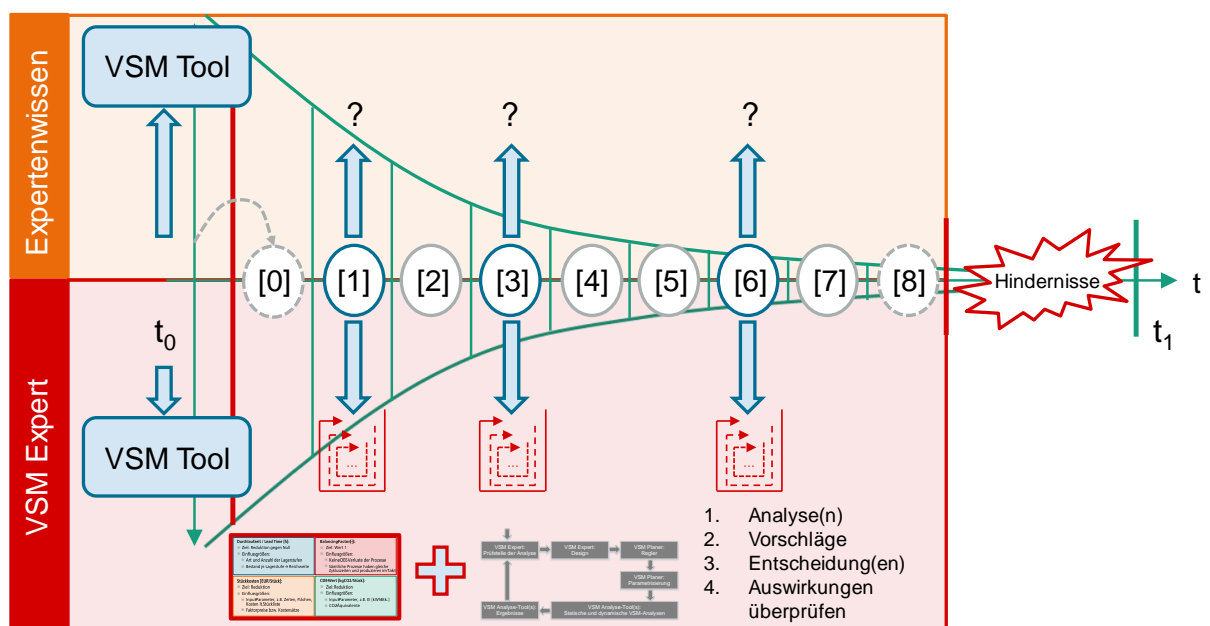


Abbildung 54: Konzept der Design-Evaluierung

7.1 Analyse des Istzustands eines Beispiel-Wertstroms

Mit dem VSM Tool wurde der Wertstrom für „Straubing_09“ erstellt und als Datensatz in die VSM-Datenbank überführt. Der Datensatz für „Straubing_09“ repräsentiert den – fiktiven – Istzustand einer Produktionslinie für Module des Automobilzulieferers, die in zwei parallelen Linien hergestellt werden. Ausgehend vom Wareneingangslager wird das Rohmaterial auf die beiden Linien verbracht. Es folgen die Prozessschritte „Formen“, „Spritzgießen“ und „Laminieren“ mit Lagerstufen zwischen diesen, bevor in der verketteten Montagelinie mit teilautomatisierten Prozessschritten im Flussprinzip die Endmontage in der gewünschten Kundenvariante erfolgt. Der letzte Prozess im Wertstrom ist der Versand der beiden parallelen Linien, in dem ebenfalls eine Sequenzierung der Fertigprodukte für den Kunden erfolgt. Vor dem Versandprozess ist ebenfalls eine Lagerstufe angeordnet. Zwischen den Prozessen mit Lagerstufen erfolgt der Transport mittels unterschiedlicher Transportmittel und durch Logistikmitarbeiter, in der verketteten Montagelinie erfolgt die Teileweitergabe manuell durch die Produktionsmitarbeiter. Der Istzustand (engl. „Current state map“ (CSM)) des Wertstroms für „Straubing_09“ ist in Abbildung 55 dargestellt, wobei das zugehörige Vollbild im Anhang zu finden ist.

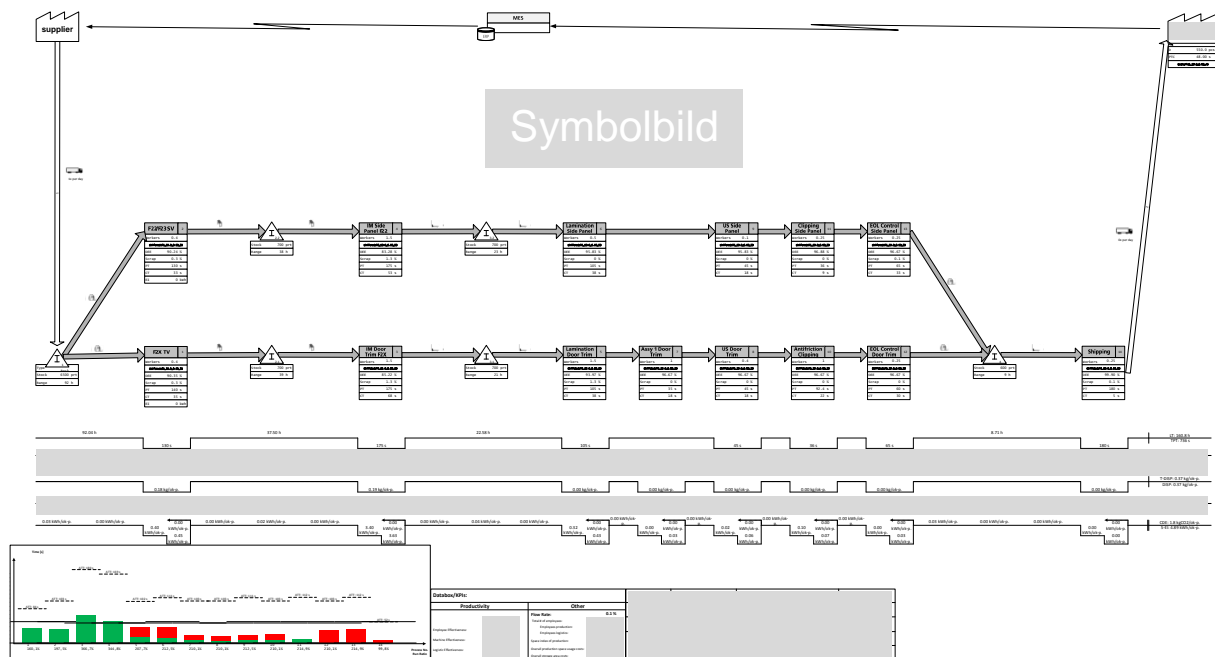


Abbildung 55: CSM (Istzustand in t_0) des Beispiel-Wertstroms (Symbolbild)

Der Original-Wertstrom, der Grundlage für den fiktiven „Straubing_09“-Wertstrom³⁸ ist, wurde im Zuge eines Workshops nach Besichtigung der Produktionslinie visualisiert. Die Input-Parameter zur vollständigen Analyse des Istzustands wurden gemeinsam mit den Mitarbeitern vor Ort erhoben und in das VSM Tool eingetragen. Als Ergebnisse der Analyse mit dem VSM Tool sind eine vollständige Eingabe der Input-Parameter, die Berechnung der VSM-Kennzahlen und sämtliche erweiterte Datenlinien zu nennen (vgl. Kapitel 5.1.1).

³⁸ Die Visualisierungen des fiktiven „Straubing_09“-Wertstroms (hier: CSM) sind bearbeitet, um keine Rückschlüsse auf reale Gegebenheiten des Unternehmensverbands ziehen zu können.

7.2 Beispielhafte Anwendung der IT-gestützten Parametrisierung mit VSM Expert

Zur Demonstration und Design-Evaluierung werden nachfolgend drei beispielhafte Anwendungen des Vorgehensmodells vorgestellt³⁹. Dies betrifft (1) die Grob-Parametrisierung der Lagerstufen, (2) die Fein-Parametrisierung der Prozesse und (3) die Reduktion des CDE-Werts. Dabei ist der Regelkreis der IT-gestützten Parametrisierung (vgl. Abbildung 23) von grundlegender Bedeutung, weshalb sich die zu tätigen Schritte darauf beziehen. Die Operationalisierung des Regelkreises (vgl. Abbildung 54) ist wie folgt:

1. Analyse des Demo-Datensatzes der VSM-Datenbank
→ **Prüfstelle** der Analyse mittels VSM Expert
2. Vorschläge, die dem Wertstromplaner mit VSM Expert vorgelegt werden
→ **Design-Ansätze** mittels VSM Expert
3. Entscheidungen des Wertstromplaners
→ Wertstromplaner ist **Regler** und
→ ändert ggf. die **Parametrisierung** des Wertstroms
4. Auswirkungen auf den parametrisierten Zielzustand des Wertstroms überprüfen
→ **Statische Analysen** werden mit dem VSM Tool durchgeführt
(→ **Dynamische Analysen** werden mit der Simulation des Wertstroms durchgeführt)
→ **Ergebnisse** der Analysen und deren Auswirkungen auf das Zielsystem werden durch den Wertstromplaner im VSM Expert überprüft

Danach erfolgt die erneute Überprüfung durch die Prüfstelle in VSM Expert, was sich in den mehrfachen Iterationen der Parametrisierung widerspiegelt. Der Zielgrößen des Zielsystems sind für den Istzustand des betrachteten Beispiel-Wertstroms Straubing_09 im Vergleich zu den Wertströmen des Demo-Datensatzes in der VSM-Datenbank wie folgt.

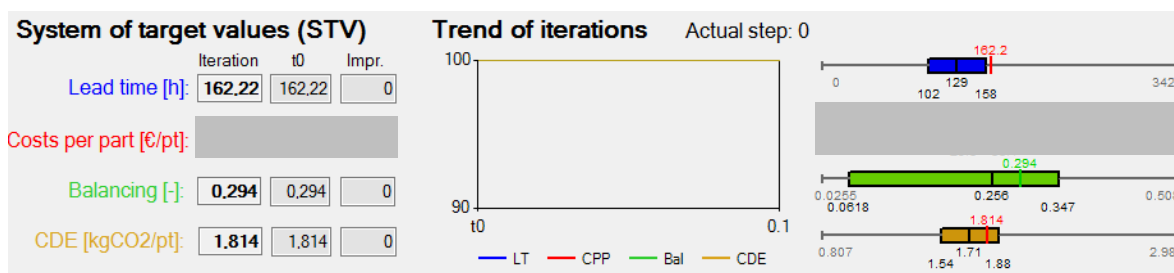


Abbildung 56: Ausprägung der Zielgrößen für den Istzustand t_0 im Beispiel-Wertstrom

Aus Abbildung 56 ist ersichtlich, dass für den Beispiel-Wertstrom der Istwert der Durchlaufzeit mit 162,2 Stunden (entspricht Reichweite der Lagerstufen) außerhalb der besten 75% der vergleichbaren Wertströme aus der VSM-Datenbank liegt (siehe erster Boxplot, oben rechts). Der untere Grenzwert ist 0 und deshalb als Ausreißer zu werten (vgl. Kapitel 6.2.2). Der Balancing-Factor ist im Istzustand 0,432 und der CDE-Wert 1,814 kgCO₂/Stk. Die Abbildung ist in STEP [0] im VSM Expert erstellt (vgl. Kapitel 6.1) und stellt Segment (1) dar.

³⁹ Video zur Demonstration der Evaluierung mittels VSM Expert ist online verfügbar.
URL: <http://www.fraunhofer-vasco.at/index.php/tutorials/>

7.2.1 Durchlaufzeit: Art, Anzahl und Parameter der Lagerstufen

Die Grob-Parametrisierung der Lagerstufen wird durch Aktivitäten in STEP [1] beeinflusst und verbessert.

1. Analyse des Demo-Datensatzes der VSM-Datenbank:

Die Analyse der Input-Parameter und der berechneten VSM-Kennzahlen des Demo-Datensatzes ergibt die tabellarische Auswertung in Abbildung 57. Daraus lassen sich für die unterschiedlichen Lagerungsarten der Lagerstufen, die im VSM Tool als Stammdaten hinterlegt sind und die Ressourceneinsätze des betrachteten Wertstroms im Vergleich zur Grundgesamtheit ähnlicher Wertströme vergleichen. Die **Art** des Ressourceneinsatzes wird durch die Lagerhaltungssysteme in den Zeilen dargestellt, die **Anzahl** an gleichartigen Elementen in den drei Spalten „Number of elements“ und die Flächenbedarfe in den Spalten „Space usage of elements“. Die jeweiligen Ressourcenbedarfe ergeben die **Parameter** des Istzustands. Es wird jeweils der Ressourcenbedarf des betrachteten Istzustands mit dem durchschnittlichen Ressourcenbedarf der VSM-Datenbank verglichen und in Form einer Verhältniskenngröße (engl. „Ratio“) dargestellt. Die weiteren Input-Parameter der Lagerstufen wie bspw. die Handlingzeit werden hier nicht betrachtet, da diese als Potentiale zur Kostenreduktion betrachtet werden.

Buffer Stats						
Type of buffer	# in value stream (VS)	Ø # in sample value stream	Ratio	Total space usage VS [m²]	Ø total space usage VS [m²]	Ratio space usage
High Rack	5	8,23	0,6075	110	174	0,6322
Block Storage	0	0,2	0	0	1,34	0
Silo	0	0	0	0	0	0
Flow Rack	1	1,05	0,9524	95	86,4	1,0995
Conveyor	0	0	0	0	0	0
Trailer	0	0	0	0	0	0
Handover	0	2,12	0	0	12,3	0
Haz. Goods S...	0	0	0	0	0	0

Buffer						
Buffer number	Type of buffer	# of workers	Part identifier	Stock [part(s)]	Minimum stock [part(s)]	Range of buffer [h]
1	Flow Rack	0	Foil	6500	0	92.04
2.1	High Rack	0		700	0	38.89
2.2	High Rack	0		700	0	37.5
3.1	High Rack	0		700	0	20.51
3.2	High Rack	0		700	0	22.58
4	High Rack	0		600	0	8.71

Abbildung 57: Lagerstufen-Auswertung im Beispiel-Wertstrom

Im vorliegenden Fall werden nur zwei Lagerungsarten verwendet, wobei die Ressourcenbedarfe stets unter dem Durchschnittswert liegen. Einzig der Flächenbedarf für die Durchlaufregale (engl. „Flow racks“) liegt über dem Durchschnittswert (vgl. Abbildung 57 oben, rot umrahmt), weshalb hier für die IT-gestützte Parametrisierung zuerst Verbesserungsvorschläge durch VSM Expert aufgezeigt werden.

Tabelle 18: Boxplots für Lagerstufen in STEP[1] im Beispiel-Wertstrom

ID	Lagerstufe	Boxplot Fläche („Space usage“)	Boxplot Bestand („Stock“)
1	Flow rack		
2.1	High rack		
2.2	High rack		
3.1	High rack		
3.2	High rack		

Bei den Flächen der Lagerstufen zeigt sich, dass die einzelnen Istwerte des betrachteten Wertstroms jeweils im „besseren“ Bereich liegen. Einzig beim „Flow rack“ mit der ID 1 ist der Istwert mit 95 m² im „schlechteren“ Bereich, wobei sich hier ein Potential von 5 m² gegenüber dem Best Practice von 90 m² ergibt. Anders ist die Situation beim Bestand in den Lagerstufen. In der Lagerstufe mit der ID 1 („Flow rack“) liegt der Istbestand mit 6.750 Stück im 3. Quartil und ist somit vergleichsweise hoch. In den Lagerstufen 2 (ID 2.1 und ID 2.2) und 3 (ID 3.1 und ID 3.2) liegt der Istbestand mit jeweils 700 Stück genau am Medianwert.

Demo-Datensatz	LT [h]	BM-Wert	Rang	Massen_03	192,3	0,635	27	Wien_07	150,7	0,739	14
Straubing_08	446,6	0,000	40	Wien_02	176,1	0,675	26	Massen_07	148,9	0,743	13
Wien_09	342,5	0,260	39	Regenstauf_08	168,6	0,694	25	Straubing_01	148,4	0,744	12
Regenstauf_09	322,5	0,310	38	Wien_10	164,0	0,705	24	Regenstauf_03	141,4	0,762	11
Wien_08	313,2	0,333	37	Regenstauf_04	163,4	0,707	23	Wien_04	134,7	0,779	10
Massen_10	259,0	0,468	36	Straubing_09	160,8	0,713	22	Regenstauf_07	125,9	0,801	9
Massen_08	241,7	0,511	35	Regenstauf_05	158,0	0,720	21	Straubing_06	124,2	0,805	8
Massen_09	241,7	0,511	34	Straubing_07	154,9	0,728	20	Straubing_04	122,2	0,810	7
Massen_04	241,1	0,513	33	Regenstauf_02	154,8	0,728	19	Straubing_03	115,4	0,827	6
Massen_05	221,7	0,561	32	Straubing_02	153,5	0,732	18	Regenstauf_06	111,2	0,837	5
Massen_06	221,7	0,561	31	Regenstauf_10	153,3	0,732	17	Wien_03	110,9	0,838	4
Regenstauf_01	210,4	0,590	30	Wien_05	152,1	0,735	16	Straubing_05	108,9	0,843	3
Massen_01	208,8	0,594	29	Wien_06	152,1	0,735	15	Wien_01	97,1	0,872	2
Massen_02	197,5	0,622	28	Wien_07	150,7	0,739	14	Straubing_10	46,0	1,000	1
Massen_03	192,3	0,635	27								

Abbildung 58: Benchmark-Kriterium für Lead time (LT)

Das Benchmark-Kriterium für die übergeordnete Durchlaufzeit des gesamten Wertstroms ist in Abbildung 58 dargestellt. Der betrachtete Beispiel-Wertstrom „Straubing_09“ liegt dabei etwas über dem Medianwert (Rang 22 von 40), weshalb sich hier ein Potential zur Durchlaufzeitreduktion ergibt.

2. Vorschläge, die dem Wertstromplaner mit VSM Expert vorgelegt werden:

Grundsätzlich bieten Lagerstufen in der modellbasierten Bewertung von Wertströmen mit dem VSM Tool verglichen mit der umfangreichen Bewertung der Prozesse nur wenige Handlungsoptionen, weshalb sich diese als erstes Beispiel gut eignen. Bezugnehmend zu den Vorschlägen an Handlungsoptionen trifft der Wertstromplaner durch Zuhilfenahme von VSM Expert für das vorliegende Beispiel die folgenden Entscheidungen.

Während der Navigation durch das Vorgehensmodell in VSM Expert werden je Schritt (Anm.: in den STEPS) Hintergrund-Analysen durchgeführt, um Potentiale zu priorisieren und gleichzeitig Handlungsoptionen aufzuzeigen. Für die Grob-Parametrisierung der Lagerstufen wird deshalb wie folgt vorgegangen (siehe Tabelle 19).

Tabelle 19: Grob-Parametrisierung der Lagerstufen in STEP [1] im Beispiel-Wertstrom

Beschreibung STEP [1]	J/N	Kommentar zu den Vorschlägen
Festlegung der Anzahl an Lagerstufen (Lagerungsart) im Wertstrom	N	Wird hier nicht betrachtet.
<ul style="list-style-type: none"> Anzahl paralleler, gleichartiger Lagerstufen 	N	Wird hier nicht betrachtet.
<ul style="list-style-type: none"> Anzahl serieller Lagerstufen 	N	Wird hier nicht betrachtet.
Festlegung der Arten der Lagerstufen (Lagerungsart) im Wertstrom	N	Wird hier nicht betrachtet.
Festlegung bzw. Änderung der grundlegenden Parameter für die Grob- Parametrisierung:		Details siehe Zeilen unten.
<ul style="list-style-type: none"> Bestand in Lagerstufe <ul style="list-style-type: none"> Durchschnittswert Maximalwert (Minimalwerte) 	J	<p>Durchschnittsbestand in Lagerstufen auf Minimum senken (vgl. Minimalwerte aus Boxplots in Tabelle 18):</p> <ul style="list-style-type: none"> Lagerstufe 1 → Reduktion auf 3.000 Stück Lagerstufe 2.1 → Reduktion auf 300 Stück Lagerstufe 2.2 → Reduktion auf 300 Stück Lagerstufe 3.1 → Reduktion auf 300 Stück Lagerstufe 3.2 → Reduktion auf 300 Stück Lagerstufe 4 hat einen zu geringen Einfluss <p>Die Parametrisierung von Maximalbeständen und Minimalbeständen wird hier nicht berücksichtigt.</p>
<ul style="list-style-type: none"> Brutto-Flächenbedarf des Haupt-Materialflusses (DLZ-relevant) 	J	<p>Bestandsreduktionen haben unmittelbare Auswirkungen auf die Flächenbedarfe, auch wenn diese in den Analysen jeweils dem Medianwert entsprechen (vgl. Tabelle 18):</p> <ul style="list-style-type: none"> Lagerstufe 1 → Reduktion möglich Lagerstufe 2.1 → Reduktion möglich Lagerstufe 2.2 → Reduktion möglich Lagerstufe 3.1 → Reduktion möglich Lagerstufe 3.2 → Reduktion möglich
<ul style="list-style-type: none"> Brutto-Flächenbedarf der BOM-Teile 	N	Wird hier nicht betrachtet.
<ul style="list-style-type: none"> Anzahl (Logistik-) Mitarbeiter 	N	Wird hier nicht betrachtet.
<ul style="list-style-type: none"> Handlingzeit je Stück 	N	Wird hier nicht betrachtet.
Optional: Adaption der Anzahl an erforderlichen Transporten aufgrund der Grob-Konzeption von Prozessen und Lagerstufen	N	Die Art und Anzahl der Lagerungsarten in Form von Elementen (seriell als auch parallel) wird nicht geändert, weshalb die Quelle-Senke-Beziehungen in Wertstrom nicht beeinflusst werden.
<ul style="list-style-type: none"> Optional: Transportweg und -dauer 	N	Nicht relevant, da keine Änderungen bzgl. Anzahl Prozesse und Lagerstufen durchgeführt wird.

3. Entscheidungen des Wertstromplaners:

Basierend auf den Hintergrund-Analysen und den Design-Vorschlägen mittels Vorgehensmodell im VSM Expert werden Maßnahmen in Form von Entscheidungen in der Parametrisierung definiert. Die Vorgabewerte in der Parametrisierung der Bestände werden in den relevanten Lagerstufen reduziert. Dies hat in weiterer Folge direkte Auswirkungen auf den erforderlichen Flächenbedarf, der auf den reduzierten Bestand in der Parametrisierung angepasst wird. Dies ist im fiktiven Fall – nach Absprache mit den verantwortlichen Personen im Werk Straubing – grundsätzlich möglich, wobei konkrete Maßnahmen der Änderungen im Layout zum aktuellen Zeitpunkt noch offen sind.

Anmerkung: Schwankungen im Bedarf werden erst in der dynamischen Analyse bewertbar. Die Auswirkungen der vom Wertstromplaner akzeptierten Maßnahmen auf den zu parametrisierenden Zielzustand sind in den Auswirkungen auf den parametrisierten Zielzustand ersichtlich. Minimal- und Maximalwerte des Bestands werden, wie in Tabelle 19 beschrieben, nicht berücksichtigt.

4. Auswirkungen auf den parametrisierten Zielzustand des Wertstroms

Die abgeleiteten Maßnahmen haben Auswirkungen auf den parametrisierten Zielzustand. Die Tabelle 20 fasst die im VSM Tool getätigten Änderungen der Parametrisierung zusammen.

Tabelle 20: Auswirkungen auf die Grob-Parametrisierung der Lagerstufen in STEP [1]

Beschreibung STEP [1]	J/N	Änderungen der Parametrisierung
Festlegung bzw. Änderung der grundlegenden Parameter für die Grob- Parametrisierung:		Details siehe Zeilen unten.
<ul style="list-style-type: none"> • Bestand in Lagerstufe <ul style="list-style-type: none"> ○ Durchschnittswert ○ Maximalwert ○ (Minimalwerte) 	J	Realistische Parametrisierung für t_1 : <ul style="list-style-type: none"> • Lagerstufe 1: Reduktion 6.750 → 6.000 Stk • Lagerstufe 2.1: Reduktion 700 → 600 Stück • Lagerstufe 2.2: Reduktion 700 → 600 Stück • Lagerstufe 3.1: Reduktion 700 → 500 Stück • Lagerstufe 3.2: Reduktion 700 → 500 Stück
<ul style="list-style-type: none"> • Brutto-Flächenbedarf des Haupt-Materialflusses (DLZ-relevant) 	J	Realistische Parametrisierung für t_1 : <ul style="list-style-type: none"> • Lagerstufe 1: Reduktion 95 → 90 m² • Lagerstufe 2.1: Reduktion 16 → 12 m² • Lagerstufe 2.2: Reduktion 16 → 12 m² • Lagerstufe 3.1: Reduktion 58 → 45 m² • Lagerstufe 3.2: Reduktion 20 → 15 m²

Durch die Reduktion der Input-Parameter in der Parametrisierung ergeben sich Verbesserungen der VSM-Kennzahlen, wobei die Ergebnisse gesammelt in Kapitel 7.3 dargestellt werden. Die Auswirkungen auf die Zielgrößen im Zielsystem werden durch den Import in VSM Expert ersichtlich, womit die erste Iterationsschleife $t_{it.1.1}$ abgeschlossen ist (siehe Abbildung 59). Es ist ersichtlich, dass der Istwert der Durchlaufzeit (Lead Time (LT)) im IT-gestützt parametrisierten Zielzustand von 162,2 h auf 143,1h sinkt. Die übrigen Zielgrößen werden nicht beeinflusst.

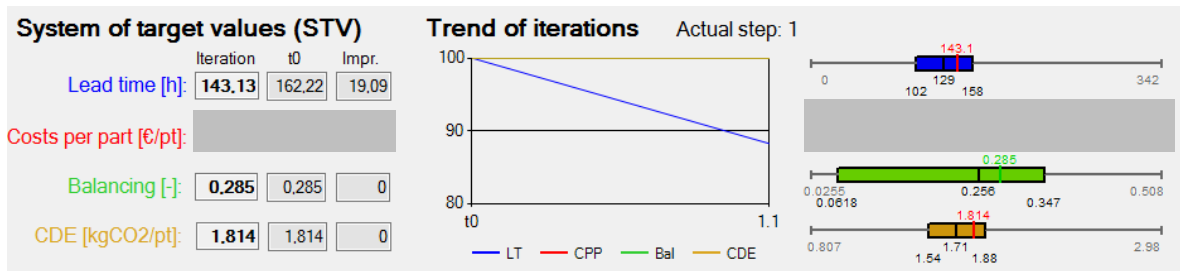


Abbildung 59: Ausprägung der Zielgrößen der Iteration $t_{it1.1}$ im Beispiel-Wertstrom

7.2.2 Balancing-Factor: Verbesserung der Ausstattung

Der Balancing-Factor wird durch Aktivitäten in STEP [3] und somit durch die Fein-Parametrisierung der Prozesse beeinflusst und verbessert.

1. Analyse des Demo-Datensatzes der VSM-Datenbank:

Die Input-Parameter des betrachteten Datensatzes für „Straubing_09“ ergeben die Darstellung in Tabelle 21⁴⁰. Es sind die unterschiedlichen Zeitarten je Prozess zur Berechnung des Balancing-Factors (BF) ersichtlich. Die Zykluszeiten (engl. „Cycle time“ (CT)) sowie die idealen Zykluszeiten je Prozess (CTid) sind als Input-Parameter im VSM Tool hinterlegt. Die angepasste Taktzeit (engl. „Adjusted takt time“ (ATT)) und der lokale Kundentakt (engl. „Customer takt time“ (CTT)) sind lokal berechnete Kennzahlen aufgrund der Input-Parameter. Diese werden bspw. in Abhängigkeit von der netto-verfügbaren Arbeitszeit des Schichtmodells je Prozess und des Kundenbedarfs für die ATT bzw. in Abhängigkeit von der brutto-verfügbaren Arbeitszeit des Schichtmodells je Prozess und des Kundenbedarfs für CTT berechnet (vgl. Kapitel 4.2.2). Das Verhältnis der beiden Werte ATT und CTT wird hier als RR (engl. „Run ratio“) im VSM Tool ausgewertet. Ferner sind in Tabelle 21 auch die verwendeten Prozesstechnologien je Prozess, die laufenden Nummern der Prozesse im Wertstrom und die Anzahl benötigter Produktionsmitarbeiter angeführt.

Tabelle 21: Input-Parameter zur Berechnung des Balancing-Factors für $t_{it3.1}$

TECHNOLOGY	NAME	NUMBER	ATT (i) [s]	CTT [s]	RR (i) [%]	CT (i) [s]	CTid (i) [s]
Thermoforming	F2X TV	1	84,0	52,4	160,4%	35	35
Thermoforming	F22/F23 SV	2	103,0	52,4	196,7%	33	33
Injection_moulding	IM Door Trim F2X	3	180,0	49,1	366,7%	68	68
Injection_moulding	IM Side Panel F22	4	169,0	49,1	344,3%	53	53
Laminating	Lamination Door Trim	5	102,0	49,1	207,8%	38	38
Laminating	Lamination Side Panel	6	111,0	52,4	212,0%	38	38
Assembly	Assy 1 Door Trim	7	103,0	49,1	209,8%	18	18
Welding US	US Door Trim	8	103,0	49,1	209,8%	18	18
Welding US	US Side Panel	9	111,0	52,4	212,0%	18	18
Assembly	Antifriction Clipping	10	103,0	49,1	209,8%	22	22
Assembly	Clipping Side Panel	11	112,0	52,4	213,9%	9	9
Inspection_Quality	EOL Control Door Trim	12	103,0	49,1	209,8%	30	30
Inspection_Quality	EOL Control Side Panel	13	112,0	52,4	213,9%	33	33
Shipping	Shipping	14	52,0	52,4	99,3%	5	5

⁴⁰ Zu beachten ist dabei, dass hier die „Formeln für das Forschungsprojekt“ aus Tabelle 6 verwendet wurden.

Eingesetzt in den „Formeln für das Forschungsprojekt“ zur Berechnung des Balancing-Factors (BF) aus Kapitel 4.2.2 ergeben die (Input-) Parameter nach Iterationsschritt $t_{it1.1}$ für die hier getätigte Iteration $t_{it3.1}$ als Ausgangswert folgenden Balancing-Factor, siehe Formel 18:

$$BF = 0,70 * 0,42 * 1,00 * 0,97 = 0,285$$

Formel 18: Berechnung des Balancing-Factors nach $t_{it1.1}$ im Beispiel-Wertstrom

Die Aussagekraft des BF für „Straubing_09“ wird durch den Vergleich mit anderen BF-Werten aus der VSM-Datenbank verdeutlicht (vgl. Zielgröße im Zielsystem nach Iteration $t_{it1.1}$) und ist in Abbildung 60 ersichtlich⁴¹.

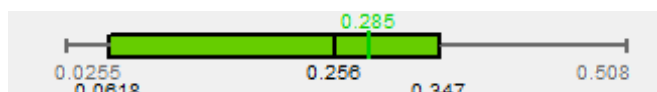


Abbildung 60: Boxplot des Balancing-Factors nach $t_{it1.1}$ im Beispiel-Wertstrom

Es ist auch ersichtlich, dass der BF für „Straubing_09“ im oberen Bereich liegt, weshalb hier im Vergleich zu den anderen Wertströmen in der VSM-Datenbank grundsätzlich wenig Potential zur Verbesserung der Austaktung vorhanden ist.

2. Vorschläge, die dem Wertstromplaner mit VSM Expert vorgelegt werden:

Im Idealzustand beträgt der BF 1, was den Charakteristiken „(Kontinuierlicher Ein-Stück-Fluss) bzw. Produktion im Kundentakt“ und „100% Wertschöpfung“ des Idealzustands (vgl. Kapitel 2.6) entspricht. In STEP [3] werden die Input-Parameter im Detail bewertet und es wird nach Verbesserungspotentialen gesucht. Die nachfolgende Tabelle 22 zeigt die Top-down durchzuführenden Aktivitäten zur IT-gestützten Parametrisierung für den Zielzustand im Beispiel-Wertstrom. Den Vorschlägen aus dem Vorgehensmodell werden Kommentare bzw. Begründungen des Wertstromplaners gegenübergestellt.

Tabelle 22: Fein-Parametrisierung der Prozesse in STEP [3] im Beispiel-Wertstrom

Beschreibung STEP [3]	J/N	Kommentar zu den Vorschlägen
Anzahl Schichten pro Tag (STEP [1])	J	Prozesse „Spritzgießen“ arbeiten im 21-Schicht-Betrieb, wobei 16 Schichten pro Woche ausreichend wären
OEE: Verfügbarkeitsfaktor und Qualitätsfaktor → ATT:		Details siehe Zeilen unten.
<ul style="list-style-type: none"> Geplante Stillstandzeiten 	J	Reduktion der ungeplanten Stillstandzeiten → zur Erhöhung der ATT, d.h. des verfügbaren lokalen Kundentakts
<ul style="list-style-type: none"> Ungeplante Stillstandzeiten 	N	Wird hier nicht betrachtet, da die Zeitanteile in den betrachteten Prozessen gleich Null sind.
<ul style="list-style-type: none"> Lokale Ausschussraten 	N	Wird hier nicht betrachtet.
<ul style="list-style-type: none"> Kumulierte Ausschussraten 	N	Wird hier nicht betrachtet.

⁴¹ Anmerkung: die Gründe für die Ausprägungen der Werte von ATT, CTT und CT sind in Kapitel 4.2.2 beschrieben, deshalb wird hier nicht weiter darauf eingegangen. Der berechnete BF soll deshalb zeigen, wie die grundsätzliche Vorgehensweise durch IT-Support mit VSM Expert funktioniert.

OEE: Leistungsfaktor		Details siehe Zeilen unten.
<ul style="list-style-type: none"> Beeinflussbarkeit der Zykluszeit (CT) 	N	<ul style="list-style-type: none"> Bearbeitungszeiten sind mit Prozesszeiten ident. Die Kavitäten der Prozesstechnologien sind durchgehend ident, weshalb die Zykluszeiten durch die Prozesszeiten bestimmt sind.
<ul style="list-style-type: none"> Geschwindigkeitsverluste → ideale Zykluszeit (CTid) 	N	Es werden an keinem Wertstrom im Demo-Datensatz bewusst Geschwindigkeitsverluste eingegangen, die Zeiten beeinflussen können.

3. Entscheidungen des Wertstromplaners

Basierend auf den Hintergrund-Analysen und den Design-Vorschlägen durch das Vorgehensmodell im VSM Expert werden Maßnahmen in Form von Entscheidungen in der Parametrisierung definiert. Beim Abgleich der Schichtmodelle zwischen den Prozessen und somit zwischen den Abteilungen ist grundsätzlich hohes Verbesserungspotential vorhanden. Da dies jedoch nach dem derzeitigen Istzustand aufgrund der geteilten Ressourcen mit anderen Wertströmen schwer umsetzbar ist, wird dieses Potential verworfen. Die geplanten Stillstandzeiten weisen kein Potential für Verbesserungen aus, da diese den Vorgaben des Unternehmensverbunds je Bereich bzw. Abteilung entsprechen. Deshalb wird auch dieses Potential verworfen. Die Ausschussraten sind vergleichsweise gering, weshalb dieses Potential nicht angezeigt und ebenfalls verworfen wird. Dem Wertstromplaner werden keine Design-Vorschläge zur Reduktion der Zykluszeiten vorgelegt, da dies den BF negativ beeinflussen würde. Eine weitere Reduktion der Zykluszeiten drückt sich in stärker unausgelasteten Maschinen aus, was sich in Verschwendung in Form von Überproduktion ausdrückt. Somit bleibt als einziges Potential die Reduktion der ungeplanten Stillstandzeiten (vgl. Tabelle 22), wobei hier der Verfügbarkeitsfaktor der OEE-Bewertung adressiert wird (vgl. Formel 10: Run Ratio-Factor des Balancing-Factors). Die geänderten Parameter⁴² sind in Tabelle 23 dargestellt.

Tabelle 23: Geänderte Input-Parameter zur Berechnung des Balancing-Factors in $t_{i3.1}$

TECHNOLOGY	NAME	NUMBER	ATT (i) [s]	CTT [s]	RR (i) [%]	CT (i) [s]	CTid (i) [s]
Thermoforming	F2X TV	1	84,0	52,4	160,4%	35	35
Thermoforming	F22/F23 SV	2	103,0	52,4	196,7%	33	33
Injection_moulding	IM Door Trim F2X	3	80,0	49,1	163,0%	68	68
Injection_moulding	IM Side Panel F22	4	94,0	49,1	191,5%	68	68
Laminating	Lamination Door Trim	5	102,0	49,1	207,8%	38	38
Laminating	Lamination Side Panel	6	111,0	52,4	212,0%	38	38
Assembly	Assy 1 Door Trim	7	103,0	49,1	209,8%	18	18
Welding US	US Door Trim	8	103,0	49,1	209,8%	18	18
Welding US	US Side Panel	9	111,0	52,4	212,0%	18	18
Assembly	Antifriction Clipping	10	103,0	49,1	209,8%	22	22
Assembly	Clipping Side Panel	11	112,0	52,4	213,9%	9	9
Inspection_Quality	EOL Control Door Trim	12	103,0	49,1	209,8%	30	30
Inspection_Quality	EOL Control Side Panel	13	112,0	52,4	213,9%	33	33
Shipping	Shipping	14	52,0	52,4	99,3%	5	5

⁴² Anmerkung: die Gründe für die Ausprägungen der Werte von ATT, CTT und CT sind in Kapitel 4.2.2 beschrieben.

Die Änderung der Parameter aufgrund der Entscheidungen des Wertstromplaners spiegeln sich im Balancing-Factor nach erfolgter Iteration im VSM Expert wieder. Die eingesetzten Input-Parameter ergeben für den Iterationsschritt $t_{it3.1}$ folgenden Balancing-Factor, siehe Formel 19.

$$BF = 0,83 * 0,42 * 1,00 * 0,97 = 0,339$$

Formel 19: Berechnung des Balancing-Factors nach $t_{it3.1}$ im Beispiel-Wertstrom

Die Auswirkungen der vom Wertstromplaner akzeptierten Maßnahmen auf den zu parametrisierenden Zielzustand sind im nächsten Schritt ersichtlich.

4. Auswirkungen auf den parametrisierten Zielzustand des Wertstroms

Die abgeleiteten Maßnahmen haben Auswirkungen auf den parametrisierten Zielzustand. Die Tabelle 24 fasst die im VSM Tool getätigten Änderungen der Parametrisierung zusammen.

Tabelle 24: Auswirkungen auf die Parametrisierung des Balancing-Factors in STEP [3]

Beschreibung STEP [3]	J/N	Änderungen der Parametrisierung
Anzahl Schichten pro Tag (STEP [1])	J	Umstellung der Prozesse für Spritzgießen (ID 3 und ID 4) im Wertstrom: <ul style="list-style-type: none"> • 16 Schichten pro Woche statt 21 • 3 Schichten pro Tag bleiben • Samstag nur 2 statt 3 Schichten • Sonntag-Schichten entfallen
OEE: Verfügbarkeitsfaktor und Qualitätsfaktor → ATT:		Details siehe Zeile unten.
<ul style="list-style-type: none"> • Geplante Stillstandzeiten 	J	Reduktion der geplanten Stillstandsszeiten → zur Erhöhung der ATT (i.e. reduzierter Kundentakt) <ul style="list-style-type: none"> • Prozess 3: <ul style="list-style-type: none"> ○ Summe geplante Stillstandszeiten: ○ Reduktion der Rüstzeit je Schicht von 30 auf 20 Minuten ○ ATT: lokal berechnete Kennzahl steigt • Prozess 4: <ul style="list-style-type: none"> ○ Summe geplante Stillstandszeiten: ○ Reduktion der Rüstzeit je Schicht von 30 auf 20 Minuten ○ ATT: lokal berechnete Kennzahl steigt

Durch die Reduktion der Input-Parameter in der Parametrisierung ergeben sich Verbesserungen der VSM-Kennzahlen. Die Auswirkungen auf die Zielgrößen im Zielsystem werden durch Import in VSM Expert ersichtlich, womit die erste Iterationsschleife $t_{it3.1}$ abgeschlossen ist (siehe Abbildung 61). Es ist ersichtlich, dass sich der Istwert des Balancing-Factors von 0,285 auf 0,339 im IT-gestützt parametrisierten Zielzustand erhöht. Die übrigen Zielgrößen werden nicht beeinflusst.

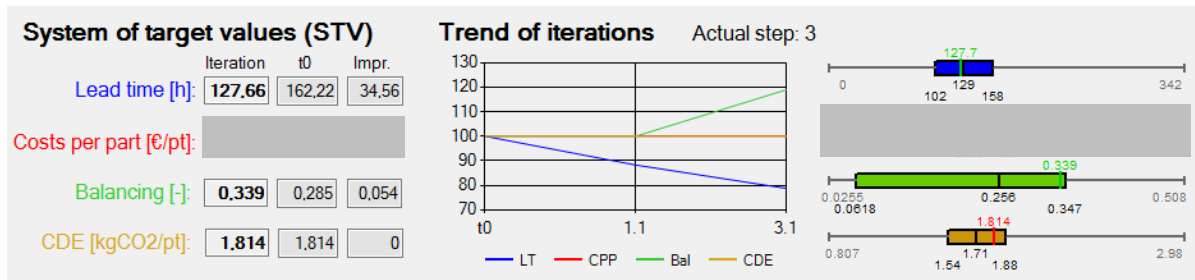


Abbildung 61: Ausprägung der Zielgrößen der Iteration in $t_{it3.1}$ im Beispiel-Wertstrom

Durch die Reduktion der Input-Parameter in der Parametrisierung ergeben sich Verbesserungen der VSM-Kennzahlen, wobei die Ergebnisse gesammelt in Kapitel 7.3 dargestellt werden. Die Erhöhung des Balancing-Factors bei gleichbleibenden Zykluszeiten führt ohne weitere Änderungen in der Parametrisierung – bspw. durch kleinere Losgrößen, geteilte Ressourcen, etc. – zu einer Erhöhung der leerstehenden Kapazitäten bei gleichbleibenden direkten Stückkosten in der hier hinterlegten Kostenbewertung. Aspekte der frei werdenden Kapazitäten sind im Lean Accounting Gegenstand der aktuellen Diskussion, vgl. Kapitel 2.7.

7.2.3 CDE-Wert: Verbesserungen im CO2-Austoß des Wertstroms

Der CDE-Wert wird durch Aktivitäten in STEP [6] beeinflusst und verbessert. Dies betrifft CDE-relevante Input-Parameter und „Stammdaten“ (CO2-Äquivalenz-Faktoren) des Wertstroms.

1. Analyse des Demo-Datensatzes der VSM-Datenbank:

In VSM Expert werden Hintergrundanalysen in STEP [6] durchgeführt und bei der Verbesserung des CDE-Wertes zur Verfügung gestellt. Dies betrifft Energieeinsätze in den Prozessen, den Lagerstufen und in den Transporten, wobei der Hebel für große Verbesserungen in den direkten Energieverbräuchen der Prozesse in Form von Energieintensität in kWh (Kilowattstunden) liegt. Der zweite Stellhebel ist der Energiemix des Standortes. Der vorliegende Wertstrom hat keine Ressourceneinsätze von Erdgas, Druckluft und Lösemittel, weshalb hier nur die Stromverbräuche für direkte und indirekte Energieeinsätze betrachtet werden. Die Boxplots der direkten und indirekten Elektrizitätsverbräuche der Prozesse sind in Tabelle 25 angeführt.

Tabelle 25: Boxplots für Energieeinsätze (Elektrizität) in den Prozessen in STEP[6]

ID	Prozesstechnologie	Boxplots: Energieeinsatz Elektrizität (direkt)	Boxplots: Energieeinsatz Elektrizität (indirekt)
3	Spritzguss		
4	Spritzguss		

Die Darstellung der Boxplots für die direkten und indirekten Energieeinsätze an Elektrizität in kWh/Stück zeigt nicht eindeutig auf, in welchen Prozessen am meisten Potential für Verbesserungen „verborgen“ bzw. vorhanden ist. Deshalb werden hier das Benchmark-

Kriterium im Detail angewendet und gezeigt, wie die Potentiale im betrachteten Beispiel-Wertstrom „Straubing_09“ priorisiert werden können. Die Tabelle 26 zeigt – als Hintergrund-Analyse durchgeführt – das Benchmark-Kriterium für direkte Energieeinsätze der Ressource „Elektrizität“ im Vergleich zu den Daten in der VSM-Datenbank.

Tabelle 26: Benchmark-Kriterium für die Energieeinsätze (Elektrizität) in den Prozessen

Process ID	„Electricity (direct)“ kWh	BM-Wert	Best (=MIN)	Worst (=MAX)	Rang	Von:
3	3,4	0,43	0,06	5,05	36	40
2	3,0	0,44	2,90	4,45	102	120
5	1,2	0,46	1,10	..	45	60
4	3,4	0,57	0,06	5,05	78	120
7	0,5	0,57	0,40	..	22	40
8	0,7	0,58	0,50	..	57	80
1	2,5	0,60	1,80	..	25	60
9	3,0	0,61	2,70	..	44	80
10	0,7	0,76	0,50	..	43	80
6	0,8	0,77	0,50	..	22	60
13	1,4	0,89	0,90	2,00	21	60
14	1,8	0,89	1,20	2,40	15	120
12	0,2	1,00	0,15	0,30	5	120
11	0,2	1,00	0,13	0,40	3	120
15	0,0	1,00	0,00	0,00	1	40

Das Benchmark-Kriterium für die Energieeinsätze im Detail (hier: Elektrizität) des gesamten Wertstroms ist in Tabelle 26 dargestellt. Es zeigt für sämtliche Prozesse im Beispiel-Wertstrom die vorhandenen Potentiale nach absteigender Reihenfolge auf. Somit werden die Handlungsoptionen zur Reduktion der Energieeinsätze im Detail priorisiert. Für die hier betrachteten Prozesse der Technologie „Spritzguss“ sind die Potentiale mit Prioritäten 1 und 4 von 15 zu bewerten. Das bedeutet, dass die Prozesse 3 und 4 hohes Potential für Verbesserungen beim direkten Verbrauch an Elektrizität in kWh/Stück aufweisen.

Weitere Hintergrund-Analysen betreffen die Faktoren für CO₂-Äquivalente, die den Energie- und Lösemiteleinatz in kgCO₂ je Stück umrechnen. Die Boxplots hierfür sind in Tabelle 27 dargestellt. In den vergleichbaren Wertströmen der VSM-Datenbank gibt es keine Energieeinsätze hinsichtlich Erdgas, Druckluft und Lösemittel, weshalb oben nur die Elektrizität als Ressourceneinsatz betrachtet wird und hier keine Boxplots für Druckluft und Lösemittel angeführt sind.

Tabelle 27: Boxplots der „Stammdaten“ für CO₂-Äquivalenz-Faktoren in STEP [6]

Ressource	Boxplots: CO ₂ -Äquivalenz-Faktoren
Elektrizität	
Erdgas	
Druckluft	[-]
Lösemittel	[-]

Die Umrechnungsfaktoren für den Beispiel-Wertstrom liegen für Elektrizität im „besseren“ Bereich (Istwert: 0,3903) und für Erdgas (Istwert: 0,1799) im mittleren Bereich (vgl. Boxplots).

2. Vorschläge, die dem Wertstromplaner mit VSM Expert vorgelegt werden:

In STEP [6] werden die Input-Parameter im Detail bewertet und es wird nach Verbesserungspotentialen gesucht. Die nachfolgende Tabelle 28 zeigt die Top-down durchzuführenden Schritte zur IT-gestützten Parametrisierung für den Zielzustand im Beispiel-Wertstrom.

Tabelle 28: Verbesserung des CDE-Wertes in STEP [6] im Beispiel-Wertstrom

Beschreibung STEP [6]	J/N	Kommentar zu den Vorschlägen
Energiemix und Lösemittel (CO ₂ -Äquivalente) <ul style="list-style-type: none"> • Elektrizität in kgCO₂/kWh • Druckluft: abhängig vom Energieverbrauch der Infrastruktur-Prozesse in kgCO₂/kWh • Erdgas in kgCO₂/kWh • Lösemittel in kgCO₂/kg 	N	Die Verträge mit den Anbietern für Elektrizität und Erdgas sind langfristig. Außerdem liegen die Istwerte der Umrechnungsfaktoren jeweils im „besseren“ Bereich im Vergleich zu vergleichbaren Wertströmen der VSM-Datenbank. Anmerkung: deshalb werden dem Wertstromplaner keine Aktivitäten vorgeschlagen.
Energieintensive Prozesse (direkt)	J	Reduktion des direkten Ressourceneinsatzes an Elektrizität: <ul style="list-style-type: none"> • Prozess 3: <ul style="list-style-type: none"> ○ Reduktion auf 0,06 kWh/Stück theoretisch möglich • Prozess 4: <ul style="list-style-type: none"> ○ Reduktion auf 0,06 kWh/Stück theoretisch möglich Anmerkung: beim Best Practice-Wert der VSM-Datenbank handelt es sich um einen Ausreißer (vgl. Einleitung in Kapitel 7.2).
Energieintensive Prozesse (indirekt)	J	Reduktion des indirekten Ressourceneinsatzes an Elektrizität: <ul style="list-style-type: none"> • Prozess 3: <ul style="list-style-type: none"> ○ Reduktion auf 0,05 kWh/Stück theoretisch möglich • Prozess 4: <ul style="list-style-type: none"> ○ Reduktion auf 0,05 kWh/Stück theoretisch möglich
Energieintensive Transporte (direkt)	N	Zu geringes Potential zum aktuellen Zeitpunkt.
Energieintensive Lagerstufen (gesamt)	N	Zu geringes Potential zum aktuellen Zeitpunkt.
Energieintensive Verwertungskreisläufe	N	Zu geringes Potential zum aktuellen Zeitpunkt.
Standortwahl	N	Der CDE-Wert ist kein Kriterium für die Änderung des Standorts für die betrachtete Produktionslinie.

3. Entscheidungen des Wertstromplaners

Basierend auf den Hintergrund-Analysen und auf den Design-Vorschlägen durch das Vorgehensmodell im VSM Expert werden Maßnahmen in Form von Entscheidungen in der Parametrisierung definiert. Dem Benchmark-Kriterium folgend liegt Potential in den Spritzguss-Prozessen verborgen. An den beiden Spritzguss-Prozessen im Beispiel-Wertstrom ist der Energieeinsatz für direkte und indirekte Elektrizität vergleichsweise hoch, weshalb hier Verbesserungsmaßnahmen zu tätigen sind. Der Zielwert wird neu definiert und im VSM Tool parametrisiert, wobei als zukünftige Maßnahme eine Best Practice-Lösung aus dem Benchmark-Wertstrom übernommen wird und die Problemlösung zum Zeitpunkt der Parametrisierung somit offen ist. Potentiale bzgl. Energiemix sind aufgrund langfristiger Verträge und den geringen Verbesserungsmöglichkeiten lt. Tabelle 28 nicht realisierbar, deshalb wird dieses Potential verworfen. Die Auswirkungen der vom Wertstromplaner akzeptierten Maßnahmen auf den zu parametrisierenden Zielzustand sind im nächsten Schritt ersichtlich.

4. Auswirkungen auf den parametrisierten Zielzustand des Wertstroms

Die abgeleiteten Maßnahmen haben Auswirkungen auf den parametrisierten Zielzustand. Die Tabelle 29 fasst die im VSM Tool getätigten Änderungen der Parametrisierung zusammen.

Tabelle 29: Auswirkungen der Parametrisierung auf den CDE-Wert im Beispiel-Wertstrom

Beschreibung STEP [6]	J/N	Kommentar zu den Vorschlägen
Energieintensive Prozesse (direkt)	J	Reduktion des direkten Ressourceneinsatzes an Elektrizität: <ul style="list-style-type: none"> • Prozess 3: <ul style="list-style-type: none"> ○ Reduktion von 3,4 auf 2,8 kWh/Stück • Prozess 4: <ul style="list-style-type: none"> ○ Reduktion von 3,4 auf 2,8 kWh/Stück
Energieintensive Prozesse (indirekt)	J	Reduktion des indirekten Ressourceneinsatzes an Elektrizität: <ul style="list-style-type: none"> • Prozess 3: <ul style="list-style-type: none"> ○ Reduktion von 0,1248 auf 0,10 kWh/Stück • Prozess 4: <ul style="list-style-type: none"> ○ Reduktion von 0,11 auf 0,10 kWh/Stück

Durch die Reduktion der Input-Parameter in der Parametrisierung ergeben sich Verbesserungen der VSM-Kennzahlen, wobei die Ergebnisse gesammelt in Kapitel 7.3 dargestellt werden. Die Auswirkungen auf die Zielgrößen im Zielsystem werden durch Import in VSM Expert ersichtlich, womit die dritte Iterationsschleife $t_{it.6.1}$ abgeschlossen ist. Es ist ersichtlich, dass der Istwert des CDE-Werts (CDE) von 1,814 auf 1,600 kgCO₂/Stück im IT-gestützt parametrisierten Zielzustand sinkt. Die übrigen Zielgrößen werden nicht beeinflusst (siehe Abbildung 62).

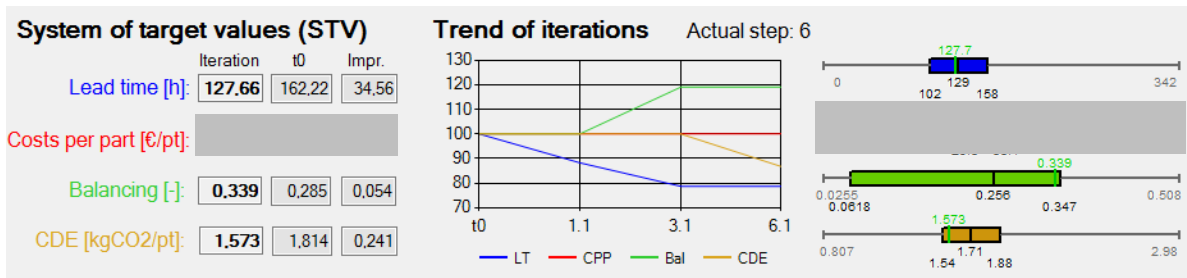


Abbildung 62: Ausprägung der Zielgrößen der Iteration in $t_{it6.1}$ im Beispiel-Wertstrom

7.3 Verbessertes Zielzustand des Beispiel-Wertstroms

Sämtliche Änderungen der Input-Parameter aufgrund der Design-Vorschläge resultieren in einem verbesserten Zielzustand für t_1 des betrachteten Beispiel-Wertstroms. Dies drückt sich sowohl in lokalen Kennzahlen als auch in VSM-Kennzahlen aus. Die Ergebnisse der IT-gestützten Parametrisierung werden anhand des Zielsystems, ausgewählter Kennzahlen und als ein neues VSM-Schaubild dargestellt und kommuniziert. Die Kennzahlen des mit dem IT Artefakt (konkret: VSM Expert) parametrisierten Zielzustands (engl. „Future state map“ (FSM)) werden dem aktuellen Istzustand (CSM) gegenübergestellt. Die nachfolgende Abbildung 63 zeigt den IT-gestützt parametrisierten Zielzustand des Beispiel-Wertstroms „Straubing_09“⁴³, wobei das zugehörige Vollbild im Anhang zu finden ist.

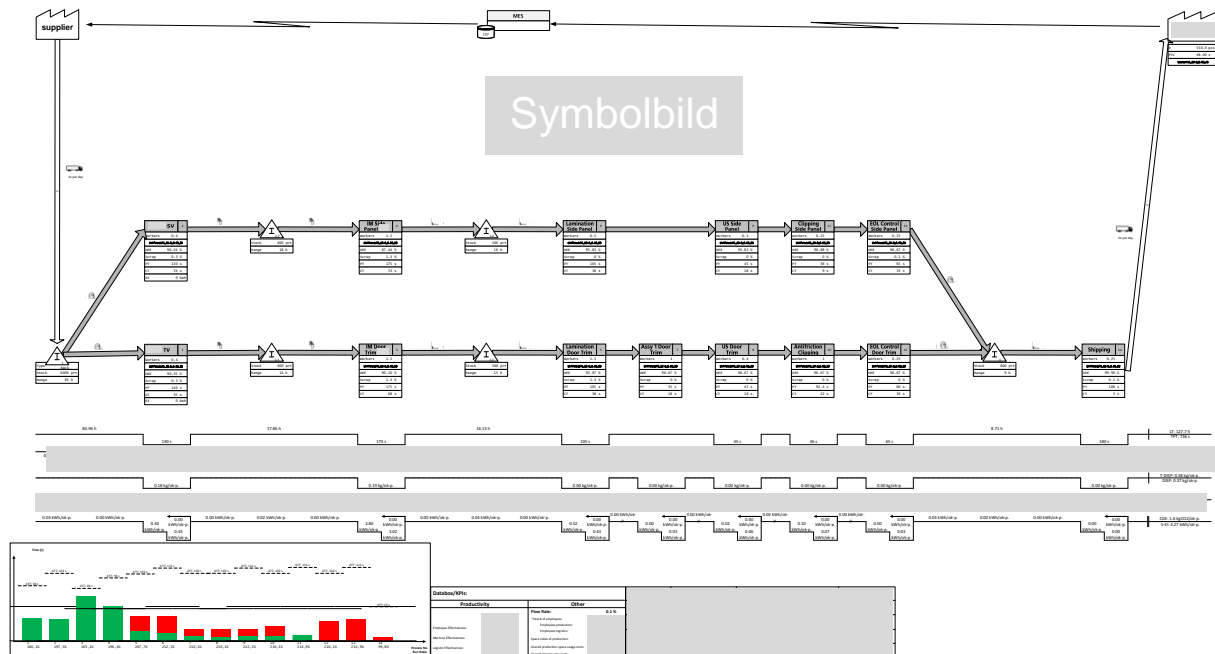


Abbildung 63: FSM (Zielzustand in t_1) des Beispiel-Wertstroms (Symbolbild)

Auf den ersten Blick ist kein Unterschied zum CSM ersichtlich, da sich die Anzahl der Elemente im Wertstrom (vgl. STEP [1]) nicht geändert hat. Im Detail sind die Input-Parameter geändert und neu parametrisiert, wobei die Potentiale aufgrund der Hintergrund-Analyse in VSM Expert sichtbar gemacht sind. Die Auswirkungen der IT-gestützten Parametrisierung des nächsten

⁴³ Die Visualisierungen des fiktiven „Straubing_09“-Wertstroms (hier: FSM) sind bbearbeitet, um keine Rückschlüsse auf reale Gegebenheiten des Unternehmensverbunds ziehen zu können.

Zielzustands in t_1 (FSM) auf die Zielgrößen im Zielsystem sind in der nachfolgenden Tabelle 30 übersichtlich angeführt. Die drei beispielhaften Verbesserungen haben direkte Auswirkungen auf die „Durchlaufzeit“, den „Balancing-Factor“ und den „CDE-Wert“. Die „Stückkosten“ sind indirekt verbessert, da geringere Ressourceneinsätze Auswirkungen auf die Bewertung der Stückkosten haben. Im vorliegenden Beispiel-Wertstrom sind die Auswirkungen der Lagerstufen jedoch zu vernachlässigen.

Tabelle 30: Gegenüberstellung ausgewählter Kennzahlen von CSM und FSM

	Benennung	Istzustand	Zielzustand	Änderung
Ziel-system	Durchlaufzeit in h	162,2	143,1	-11,8 %
	Stückkosten	[-]	[-]	+/-0%
	Balancing-Factor	0,285	0,339	+18,9 %
	CDE-Wert in kgCO2/Stk.	1,814	1,600	-11,8 %
Ausgewählte Kennzahlen	Kapitalbindung mit internem Zinssatz	[-]	[-]	-16,7 %
	Flächenindex Produktion	82,9 %	85,4%	+3,0 %
	OEE in Prozess 3 in %	85,2 %	90,1 %	+5,8%
	OEE in Prozess 4 in %	83,3 %	87,4 %	+4,9 %

Durch die wechselseitigen Abhängigkeiten der Input-Parameter und VSM-Kennzahlen im VSM Tool ergeben sich direkte und indirekte Auswirkungen auf die Kennzahlen im Beispiel-Wertstrom – sowohl für die Zielgrößen im Zielsystem als auch für lokal bzw. graphenbasiert berechnete Kennzahlen der Elemente im Wertstrom⁴⁴. So entspricht die Reduktion der Durchlaufzeit 11,8 %, der Kapitalbindung im Wertstrom jedoch 16,7 %. Die OEE-Bewertung der Prozesse 3 und 4 (jeweils Spritzguss) erhöht sich aufgrund der Reduktion der geplanten Stillstandzeiten, wobei primäres Ziel im Use Case (Kapitel 7.2.2) die Erhöhung des Balancing-Factors war.

7.4 Diskussion der experimentellen Evaluierung

Die eigenen Erfahrungen aus der Praxis haben gezeigt, dass auf operativer Ebene oftmals eine ablehnende Haltung gegenüber etwaigen Änderungen eingenommen wird, mit der Begründung, dass *„die gewünschten Maßnahmen in der Praxis nicht umsetzbar sind“*. Durch die IT-gestützte Parametrisierung werden deshalb schwer erkennbare bzw. identifizierbare Potentiale sichtbar gemacht. Die Umsetzung des Zielzustands wird also von einem Problem zu einer Aufgabe für das operative Team der Wertstrom-Verbesserung, da die Maßnahmen realistisch und zumindest teilweise lösungsoffen sind (vgl. Hemen, 2014).

Traditionelles VSM ist für Wertstromplaner ein hochgradig komplexes Themengebiet mit einer Vielzahl an verfügbaren Handlungsoptionen. Dies wird durch die detaillierte VSM-Analyse mit dem VSM Tool noch weiter verstärkt, da die unterschiedlichen Zielgrößen im Zielsystem und die VSM-Kennzahlen im Detail oftmals nicht kausal zusammenhängen. Dies erschwert die ursprüngliche Zielsetzung, Wertströme *„auf Knopfdruck“* zu parametrisieren, um

⁴⁴ Die Gründe für die Unterschiede zwischen den Werten aus Abbildung 62 und Tabelle 30 sind dem Autor bekannt. Die Werte aus Abbildung 62 setzen sich aus Fakten der VSM-Datenbank zusammen, wobei das VSM Tool die Abhängigkeiten der Elemente im Wertstrom berücksichtigt. Tabelle 30 weist somit die korrekten Ergebnisse aus.

„Idealwertströme zu generieren“. Die beispielhaften drei Anwendungen des Vorgehensmodells mit dem IT Artefakt im Allgemeinen und VSM Expert im Besonderen belegen diese Aussage. Die nachfolgende Tabelle 31 zeigt die Gegenüberstellung der beiden eingangs vorgestellten Vorgehensweisen der Parametrisierung. Beide Varianten verwenden das Vorgehensmodell und das VSM Tool, wobei hier die Unterschiede der Parametrisierung mittels Expertenwissen zur IT-gestützten Parametrisierung dargestellt sind. Dies gilt für die traditionellen VSM-Phasen (vgl. Kapitel 3.1.2):

Tabelle 31: Diskussion der experimentellen Evaluierung

	Expertenwissen	VSM Expert (IT Artefakt)
Istzustand bewerten	Mit dem VSM Tool vollumfassend durchgeführt.	Mit dem VSM Tool vollumfassend durchgeführt.
Potentiale identifizieren, Maßnahmen ableiten	Potentiale können aufgrund von VSM-Kennzahlen und den Datenlinien grob abgeschätzt werden. Eine detaillierte Bewertung und vor allem ein Vergleich mit dem Best Practices im Unternehmensverbund ist nicht möglich.	Best Practice-Transfers von VSM-Kennzahlen und Input-Parameter werden dem Wertstromplaner zur Entscheidung vorgelegt. Außerdem werden Ressourcentreiber bzw. Potentiale nach den größtmöglichen Auswirkungen gereicht (Benchmark-Kriterium)
Zielzustand parametrisieren	Änderung der Parametrisierung erfolgt nach dem Trial and Error-Prinzip und hängen stark von den Erfahrungen (= Expertise) des Wertstromplaners ab.	Die IT-gestützte Parametrisierung mit VSM Expert wird effektiv und effizient durchgeführt, da Design-Vorschläge dem Wertstromplaner aufgrund der getätigten Hintergrund-Analysen vorgelegt werden.

Ein VSM-Datensatz mit 40 Wertströmen ist ggf. noch manuell vergleichbar. Im betrachteten Unternehmensverbund mit mehr als 1.000 Produktionslinien und mehr als 25 Prozesstechnologie-Gruppen, ist es nicht mehr möglich, den Überblick zu behalten. Die in Kapitel 7.3 genannten Maßnahmen spiegeln die Bandbreite der möglichen Maßnahmen wider, um den parametrisierten Zielzustand in der Praxis umsetzen zu können. Der parametrisierte Zielzustand entspricht dabei den in Kapitel 3.1.3 beschriebenen Kriterien eines leistungssteigernden und lernförderlichen Zielzustands.

8 Zusammenfassung und Ausblick

In der vorliegenden Dissertation wurde ein Vorgehensmodell zur IT-gestützten Parametrisierung des nächsten Zielzustands eines Wertstroms am Beispiel eines dezentral organisierten Unternehmensverbands entwickelt. Das Vorgehensmodell ist als zentraler Bestandteil von VSM Expert in einem prototypischen IT Artefakt implementiert. Dabei sind die erforderlichen Analyse- und Design-Ansätze im VSM aus der Fachliteratur als Top-down strukturierte Aktivitäten integriert. Die Beantwortung des Forschungsbedarfs FB1 ist in Kapitel 5 zu finden:

FB1: *„Welche Aspekte und welche Ausprägungen muss ein IT Artefakt für das IT-gestützte VSM besitzen, um ein systematisches, zielorientiertes Parametrisieren des nächsten Zielzustands eines Wertstroms zu realisieren?“*

Die Aspekte und Ausprägungen des gesamten IT Artefakts sind vor allem in Abbildung 41 dargestellt und basieren auf den Elementen und Übergängen, die in der DSRM nach PEFFERS et al. gefordert sind (vgl. Peffers et al., 2007). Das IT Artefakt mit dem VSM Tool, der VSM-Datenbank und dem VSM Expert repräsentiert die prototypische Instanziierung der Konstrukte, Prozesse, Methoden, Modelle und Verfahrensweisen der IT-gestützten Parametrisierung, wie sie in der „Design Science in Information Science“ unter Einhaltung der sieben Richtlinien nach HEVNER et al. gefordert ist (vgl. Hevner et al., 2004). Sämtliche Inhalte der Instanziierung und somit zur Beantwortung des Forschungsbedarfs FB2 sind in den Kapiteln 4, 5 und 6 detailliert erarbeitet.

FB2: *„Welche Konstrukte, Prozesse, Methoden, Modelle und Verfahrensweisen für das IT-gestützte Parametrisieren des nächsten Zielzustands eines Wertstroms sind erforderlich und wie sind diese zu gestalten, um in einem IT Artefakt implementiert werden zu können?“*

Das vorgestellte, Top-down strukturierte Vorgehensmodell mit den darin enthaltenen Aktivitäten ist in beliebig detaillierter Ausprägung anwendbar. Die Top-down strukturierten Aktivitäten repräsentieren dabei das gesamte Spektrum an Design-Ansätzen im VSM in einer geeigneten Hierarchie und Abfolge. Die vorgestellten Hintergrund-Analysen, Design-Ansätze und Überprüfungen der Wirksamkeit sind jeweils unabhängig voneinander und – bei der IT-gestützten Parametrisierung des nächsten Zielzustands eines Wertstroms – repetitiv in mehreren Iterationen bzw. Iterationsschleifen anwendbar. Die Wirksamkeit der jeweiligen Analysen und Handlungsoptionen aus den Design-Ansätzen zur zielorientierten Verbesserung von Wertströmen ist in der dargelegten Fachliteratur für spezifische Problemstellungen hinreichend belegt. Das übergeordnete Zielsystem mit den enthaltenen Zielgrößen dient zur zielorientierten – d.h. den Charakteristika des Idealzustands entsprechenden – Parametrisierung des nächsten Zielzustands eines Wertstroms. Das Zielsystem kann aufgrund der im spezifischen Fall anzuwendenden Design-Ansätze auch adaptiert und erweitert werden; bspw. hinsichtlich Qualität, logistischer Zielgrößen, etc. Das Vorgehensmodell bietet hierfür

einen übergeordneten Bezugsrahmen, um an geeigneter Stelle in den STEPS bzw. den darin enthaltenen Aktivitäten bekannte und praktizierte Ansätze und Verfahren zur Verbesserung eines Wertstroms zu integrieren (vgl. Kapitel 6.2.3). Somit lässt sich die postulierte Problemstellung (PST)

PST: *„Es existieren keine Konstrukte, Prozesse, Methoden, Modelle und Verfahrensweisen, die IT-gestütztes VSM systematisch und zielorientiert beschreiben und dabei sämtliche bekannte Design-Ansätze berücksichtigen, um diese – in einem IT Artefakt als Instanziierung umgesetzt – zur effektiven und effizienten Parametrisierung des nächsten Zielzustands eines Wertstroms nutzbar zu machen.“*

wie folgt beantworten:

In den Kapiteln 4 und 5 wurden Konstrukte (hier: Gedankengebäude, Zielsystem und Vorgehensmodell), Prozesse (hier: Regelkreis und Inferenz-Maschine), Modelle (hier: zugrundeliegendes (statisches) VSM Tool und (dynamische) VSM-Simulation) und Verfahrensweisen (hier: Top-down strukturierte Aktivitäten im Vorgehensmodell mit Analyse- und Design-Heuristiken) erschaffen und in ein IT Artefakt als Instanziierung prototypisch umgesetzt. Die Anwendung des IT Artefakts aus How-to-Knowledge ist im Speziellen anhand VSM Expert in Kapitel 6 beschrieben, die Evaluierung ist exemplarisch in Kapitel 7 dargelegt. In Kapitel 7 wird darüber hinaus das traditionelle VSM der IT-gestützten Parametrisierung des nächsten Zielzustands eines Wertstroms gegenübergestellt. Die Ansätze zur Steigerung von Effektivität und Effizienz im VSM mittels Vorgehensmodell und prototypischen IT Artefakt sind angeführt. Dies ermöglicht eine klare Kommunikation der Ergebnisse sowie des erzielbaren Nutzens (vgl. Hevner et al., 2004) der vorliegenden Arbeit gegenüber den Adressaten der Arbeit.

Der Nutzen (engl. „Utility“) des gesamten IT Artefakts durch das Aufdecken der bei der großen Menge an verfügbaren Daten schwer identifizierbaren Potentialen ist gegeben. Es wird darüber hinaus die Komplexität durch die Vielzahl an zur Verfügung stehenden Handlungsfeldern genommen, da diese als Design-Aktivitäten Top-down strukturiert im Vorgehensmodell berücksichtigt sind. Dabei sind das Benchmark-Kriterium und die einfachen, statistischen Analysen und Auswertungen in Tabellenform oder Boxplots auf die VSM-Daten aus der relationalen VSM-Datenbank durchgehend anwendbar. Dadurch lassen sich auch der Beitrag und der Nutzen der Arbeit für die Adressaten begründen.

Folglich ist ein zielgerichtetes Verbessern und in weiterer Folge IT-gestütztes Parametrisieren des nächsten Zielzustands des betrachteten Wertstroms auch ohne der in Kapitel 5 vorgestellten IT Architektur – und somit weiterhin mittels Papier und Bleistift – möglich. In dem Fall ist das Vorgehen in der Praxis analog zu Aufbau und Ablauf der Inferenz-Maschine zu wählen, mit der Einschränkung, dass anstelle der IT-gestützten Parametrisierung die Nebenrechnungen wie bisher im traditionellen VSM per Hand durchgeführt werden müssen und dynamische VSM-Analysen nicht möglich sind. Der Detaillierungsgrad der erforderlichen Analysen und Vorschläge für Design (d.h. Verbesserungsmaßnahmen) ist dann jedoch sehr stark vom individuellen Wissen des Wertstromplaners abhängig, was der postulierten Problemstellung der Dissertation widerspricht. Aufgrund der Überführung des in der Praxis anerkannten und verankerten, traditionellen VSM in IT Tools (VSM Tool, VSM-Simulation und

VSM Expert) ist auch der Bezug zur Realität der Bewertung von Wertströmen gegeben (engl. „Rigor“). Die praktische Implementierung und Anwendbarkeit des Vorgehensmodells sind in weiterer Folge in mehreren Unternehmensverbänden erforderlich, um den Aspekt der Evaluierung im geforderten Ausmaß zu erfüllen. Somit sind auch die Auswirkungen der IT-gestützten Parametrisierung des nächsten Zielzustands eines Wertstroms auf die Wertstromplaner und deren Organisationen bei der täglichen Verbesserungsarbeit anhand zukünftiger Forschungsarbeiten zu untersuchen, wobei diese der Verhaltenswissenschaft im Bereich der Informationswissenschaften zuzuordnen ist (vgl. Hevner et al., 2004). Es ist jedoch anzunehmen, dass sich der Erkenntnisgewinn über den aktuellen Istzustand (Anmerkung: mittels IT-gestützter Parametrisierung des nächsten Zielzustands) erhöht (vgl. Lian and Van Landeghem, 2002; Solding and Gullander, 2009). Dies unterstützt eine effektivere und effizientere Problemlösung (vgl. Hevner et al., 2004) am Beispiel des Produktivitätsmanagements an einem Wertstrom.

Weiters lassen sich für das IT Artefakt spezifische Forschungsbedarfe benennen. Konkret ist für diese Arbeit zu erwähnen, dass weitere VSM-Daten aus der Praxis erhoben werden müssen, um das Vorgehensmodell und das IT Artefakt vertiefend zu evaluieren. Grundsätzlich resultiert dies in einer weiteren Verfeinerung bzw. Anpassung des Vorgehensmodells ebenso wie in einer Erweiterung des IT Artefakts (vgl. Hevner and Chatterjee, 2010). Daraus folgt, dass eine verbesserte VSM-Datengrundlage (hier: VSM-Daten als Fakten) und eine weitere Abbildung von Heuristiken (hier: Analyse- und Design-Ansätze) in der Wissensbasis die zukünftige IT-gestützte Parametrisierung noch effektiver und effizienter machen kann (vgl. Hevner et al., 2004). Vor allem die in Kapitel 6.2.3 zusammengefassten Analyse- und Design-Ansätze als Heuristiken sind für spezifische Problemstellungen und -lösungen mittels IT Artefakt im Vorgehensmodell zu integrieren und zu evaluieren.

Dies betrifft vor allem die Steuerungsansätze im VSM wie bspw. Kanban-Supermarkt, CONWIP etc., da die Design-Ansätze im Vorgehensmodell nicht ausreichend behandelt sind. Daraus abgeleitet ist ein „System building“, also ein generelles Anwenden auf ähnliche Problemstellungen zur Problemlösung zu evaluieren (vgl. Hevner et al., 2004), was im DSRM dem Einstiegspunkt „Initiierung durch Kontext“ entspricht (vgl. Peffers et al., 2007). Die genannten spezifischen Forschungsbedarfe entsprechen somit der ursprünglichen Zielsetzung bzw. Vision des Unternehmensverbands, indem „Idealwertströme per Knopfdruck generiert bzw. parametrisiert“ werden können. Hierfür ist das Erschaffen eines eigenständigen, einzelnen IT Artefakts erforderlich, das die Elemente bzw. die eigenständigen IT Tools des prototypischen IT Artefakts aus Abbildung 41 umfasst und die dafür erforderlichen Prozesse, Methoden und Vorgehensweisen inkl. einer automatisierten Inferenz-Maschine beinhaltet.

Darüberhinausgehender, zukünftiger Forschungsbedarf ist in den einzelnen Abschnitten bereits explizit benannt und begründet, und kann mit Teil-Elementen des IT Artefakts bzw. mit dem Vorgehensmodell erarbeitet werden. Zusammenfassend lässt sich dieser in kurzer Form wie folgt beschreiben:

Es fehlt weiterhin an einem einheitlichen Standard zur Bewertung von Produktionssystemen im Allgemeinen. Mit VSM Expert ist eine Prognose über zukünftige Produktivitätssteigerungen anhand von Verbesserungsmaßnahmen

generell möglich (vgl. Muthiah and Huang, 2006). Die IT-gestützte Analyse von Wertströmen mit dem VSM Tool im Besonderen kann diese Lücke schließen, sofern sich ein in der Fachliteratur anerkannter Standard durchsetzt (vgl. Oberhausen and Plapper, 2015). Die prototypische Instanziierung als IT Artefakt zeigt, dass ein ad hoc-Feedback für den Wertstromplaner während der IT-gestützten Parametrisierung nicht möglich ist. Deshalb ist hier weiterer Forschungsbedarf zu benennen, der sich mit der Integration der Elemente des IT Artefakts in ein einziges System beschäftigt, sodass vorgeschlagene Handlungsoptionen direkt mit den Auswirkungen auf das Zielsystem verglichen und priorisiert werden können.

Die Auswirkungen von Verbesserungsmaßnahmen auf die Kostenbewertungen von Wertströmen sind zu untersuchen. Der prozessorientierte Ansatz zur Stückkostenbewertung im VSM Tool vermischt bewusst direkte und indirekte Ressourcenverbräuche, da bestimmte indirekte Ressourcenverbräuche über Verteilungsschlüssel, analog der Gemeinkostenumlage, verrechnet werden – bspw. die ABC-Methode im VSM (vgl. Abuthakeer et al., 2010). Der dadurch erzielbare Beitrag zur Fachliteratur ist zu untersuchen, vor allem was die Bewertung von freiwerdenden Kapazitäten anhand von Verbesserungsmaßnahmen betrifft: (a) Lean Accounting (vgl. Maskell and Kennedy, 2007); (b) Value Stream Costing (vgl. Chiarini, 2012); (c) das klassische Problem der Umlegung von indirekten Kosten in der Bewertung von Lean (vgl. Woods, 2009).

Für die Anwendung des Vorgehensmodells bzw. des IT Artefakts in der täglichen Verbesserungsarbeit an Wertströmen kann es erforderlich sein, analog zu den 7 Richtlinien (vgl. Rother et al., 2011, p. 35ff) bzw. den 10 Gestaltungsrichtlinien (vgl. Erlach, 2010, p. 117ff) im traditionellen VSM neue, ergänzende Leitlinien zu definieren. Praxisnahe Empfehlungen zur Reduktion der Energieintensität in Wertströmen hat ERLACH formuliert (vgl. STEP [6]), die bspw. um die Vermeidung von Abfall in STEP [5] oder die Reduktion der Kosten (d.h. Kosten der ökonomischen und ökologischen Nachhaltigkeit) in STEP [7] erweitert werden können (vgl. Erlach, 2009). Ein IT-gestütztes VSM Tool zur standardisierten VSM-Analyse ist hierfür eine geeignete Grundlage.

9 Literaturverzeichnis

- Abdulmalek, F.A., Rajgopal, J., 2007. Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. *Int. J. Prod. Econ.* 107, 223–236. doi:10.1016/j.ijpe.2006.09.009
- Abuthakeer, S.S., Mohanram, P.V., Kumar, G.M., 2010. Activity based costing value stream mapping. *Int. J. Lean Think.* 1, 51–64.
- Agyapong-Kodua, K., Ajaefobi, J.O., Weston, R.H., Ratchev, S., 2012. Development of a multi-product cost and value stream modelling methodology. *Int. J. Prod. Res.* 50, 6431–6456. doi:10.1080/00207543.2011.648777
- Akhlaghpour, S., Wu, J., Lapointe, L., Pinsonneault, A., 2009. Re-examining the Status of “IT” in IT Research-An Update on Orlikowski and Iacono (2001). *AMCIS 2009 Proc.* 187.
- Ali, N.B., Petersen, K., de França, B.B.N., 2015. Evaluation of simulation-assisted value stream mapping for software product development: Two industrial cases. *Inf. Softw. Technol.* 68, 45–61.
- Alvandi, S., Li, W., Schönemann, M., Kara, S., Herrmann, C., 2016. Economic and environmental value stream map (E²VSM) simulation for multi-product manufacturing systems. *Int. J. Sustain. Eng.* 1–9. doi:10.1080/19397038.2016.1161095
- Amini, M., Bienstock, C.C., 2014. Corporate sustainability: an integrative definition and framework to evaluate corporate practice and guide academic research. *J. Clean. Prod.* 76, 12–19. doi:10.1016/j.jclepro.2014.02.016
- Ammar, O.B., Hnaien, F., Marian, H., Dolgui, A., 2016. Optimization Approaches for Multi-level Assembly Systems Under Stochastic Lead Times, in: Talbi, E.-G., Yalaoui, F., Amodeo, L. (Eds.), *Metaheuristics for Production Systems*. Springer International Publishing, Cham, pp. 93–107.
- Angele, J., Fensel, D., Landes, D., Studer, R., 1998. Developing Knowledge-Based Systems with MIKE, in: Sutcliffe, A., Benyon, D. (Eds.), *Domain Modelling for Interactive Systems Design*. Springer US, Boston, MA, pp. 9–38.
- Antony, J., 2011. Six Sigma vs Lean: Some perspectives from leading academics and practitioners. *Int. J. Product. Perform. Manag.* 60, 185–190. doi:10.1108/174104011111101494
- Atieh, A.M., Kaylani, H., Almuhtady, A., Al-Tamimi, O., 2015. A value stream mapping and simulation hybrid approach: application to glass industry. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* doi:10.1007/s00170-015-7805-8
- Baszenski, N., 2010. Methoden zur Produktivitätssteigerung. Themenheft, *Methodisches Produktivitätsmanagement Umsetzung und Perspektiven* No 204, 103–120.
- Baszenski, N., 2003. *Methodensammlung zur Unternehmensprozess-Optimierung*, 1., Aufl. ed. Wirtschaftsvlg Bachem, Köln.
- Behrend, A., 2013. A Uniform Fixpoint Approach to the Implementation of Inference Methods for Deductive Databases, in: Tompits, H., Abreu, S., Oetsch, J., Pührer, J., Seipel, D., Umeda, M., Wolf, A. (Eds.), *Applications of Declarative Programming and Knowledge Management*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 77–92.
- Beierle, C., Kern-Isberner, G., 2014. *Methoden wissensbasierter Systeme*. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden.
- Belekoukias, I., Garza-Reyes, J.A., Kumar, V., 2014. The impact of lean methods and tools on the operational performance of manufacturing organisations. *Int. J. Prod. Res.* 52, 5346–5366. doi:10.1080/00207543.2014.903348
- Benbasat, I., Zmud, R.W., 2003. The Identity Crisis within the IS Discipline: Defining and Communicating the Discipline’s Core Properties. *MIS Q.* 27, 183–194.
- Berndt, R., Silva, N., Caldera, C., Krispel, U., Eggeling, E., Sunk, A., Edtmayr, T., Sihm, W., Fellner, D.W., 2016. *VASCO - Mastering the Shoals of Value Stream Mapping*.

- Presented at the CONTENT 2016, The Eighth International Conference on Creative Content Technologies, pp. 42–47.
- Berndt, R., Silva, N., Caldera, C., Krispel, U., Eggeling, E., Sunk, A., Reisinger, G., Sihn, W., Fellner, D.W., 2016. VASCO - Digging the Dead Man's Chest of Value Streams. IARIA J. 9. doi:IN PRESS
- Berndt, R., Sunk, A., 2016. Value Stream Mapping with VASCO - From Reducing Lead Time to Sustainable Production Management [WWW Document]. URL <http://ercim-news.ercim.eu/en105/special/value-stream-mapping-with-vasco-from-reducing-lead-time-to-sustainable-production-management> (accessed 4.14.16).
- Bertolini, M., Braglia, M., Romagnoli, G., Zammori, F., 2013. Extending value stream mapping: the synchro-MRP case. *Int. J. Prod. Res.* 51, 5499–5519. doi:10.1080/00207543.2013.784415
- Bevilacqua, M., Ciarapica, F.E., Giacchetta, G., 2007. Development of a sustainable product lifecycle in manufacturing firms: a case study. *Int. J. Prod. Res.* 45, 4073–4098. doi:10.1080/00207540701439941
- Bhamu, J., Singh Sangwan, K., 2014. Lean manufacturing: literature review and research issues. *Int. J. Oper. Prod. Manag.* 34, 876–940. doi:10.1108/IJOPM-08-2012-0315
- Bicheno, J., Holweg, M., 2009. *The Lean toolbox: the essential guide to Lean transformation*, 4. ed. ed. PICSIE Books, Buckingham.
- Bodendorf, F., 2006. *Daten- und Wissensmanagement*, Springer-Lehrbuch. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg.
- Bohnen, F., Buhl, M., Deuse, J., 2013. Systematic procedure for leveling of low volume and high mix production. *CIRP J. Manuf. Sci. Technol.* 6, 53–58. doi:10.1016/j.cirpj.2012.10.003
- Boiral, O., Henri, J.-F., 2015. Is Sustainability Performance Comparable? A Study of GRI Reports of Mining Organizations. *Bus. Soc.* doi:10.1177/0007650315576134
- Bokranz, R., Landau, K., 2012. *Handbuch Industrial Engineering:: Produktivitätsmanagement mit MTM*. Bd. 1: Konzept, 2., überarb. und Aufl. ed. Schäffer-Poeschel, Stuttgart.
- Bokranz, R., Landau, K., Becks, C., 2006. *Produktivitätsmanagement von Arbeitssystemen: MTM-Handbuch*. Schäffer-Poeschel, Stuttgart.
- Braglia, M., Carmignani, G., Zammori, F., 2006. A new value stream mapping approach for complex production systems. *Int. J. Prod. Res.* 44, 3929–3952. doi:10.1080/00207540600690545
- Braglia, M., Frosolini, M., Zammori, F., 2009. Uncertainty in value stream mapping analysis. *Int. J. Logist. Res. Appl.* 12, 435–453. doi:10.1080/13675560802601559
- Braglia, M., Gabbrielli, R., Zammori, F., 2013a. Consignment stock theory with a fixed batch manufacturing process. *Int. J. Prod. Res.* 51, 2377–2398. doi:10.1080/00207543.2012.740577
- Braglia, M., Gabbrielli, R., Zammori, F., 2013b. Stock diffusion theory: a dynamic model for inventory control. *Int. J. Prod. Res.* 51, 3018–3036. doi:10.1080/00207543.2012.752584
- Brockhaus (Ed.), 2006. *Brockhaus: Enzyklopädie in 30 Bänden*, 21., völlig neu bearb. Aufl. ed. Brockhaus, Leipzig.
- Brown, A., Amundson, J., Badurdeen, F., 2014. Sustainable value stream mapping (Sus-VSM) in different manufacturing system configurations: application case studies. *J. Clean. Prod.* 85, 164–179. doi:10.1016/j.jclepro.2014.05.101
- Brunner, F.J., 2014. *Japanische Erfolgskonzepte: KAIZEN, KVP, Lean Production Management, Total Productive Maintenance, Shopfloor Management, Toyota Production System, GD3 - Lean Development*, 3., überarbeitete Auflage. ed. Praxisreihe Qualitätswissen. Hanser, München.
- Cebi, S., Celik, M., Kahraman, C., Er, I.D., 2009. An expert system towards solving ship auxiliary machinery troubleshooting: SHIPAMTSOLVER. *Expert Syst. Appl.* 36, 7219–7227. doi:10.1016/j.eswa.2008.09.060
- Chauhan, G., Singh, T.P., 2012. Measuring parameters of lean manufacturing realization. *Meas. Bus. Excell.* 16, 57–71. doi:10.1108/13683041211257411

- Chiarini, A., 2012. Lean production: mistakes and limitations of accounting systems inside the SME sector. *J. Manuf. Technol. Manag.* 23, 681–700. doi:10.1108/17410381211234462
- Christopher, M., Towill, D.R., Aitken, J., Childerhouse, P., 2009. Value stream classification. *J. Manuf. Technol. Manag.* 20, 460–474. doi:10.1108/17410380910953720
- Coppini, N.L., Bekesas, L.C., Baptista, E.A., Junior, M.V., Lucato, W.C., 2011. Value stream mapping simulation using ProModel® software, in: *Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 2011 IEEE International Conference on.* IEEE, pp. 575–579.
- Cottyn, J., Van Landeghem, H., Stockman, K., Derammelaere, S., 2011. A method to align a manufacturing execution system with Lean objectives. *Int. J. Prod. Res.* 49, 4397–4413. doi:10.1080/00207543.2010.548409
- Da Cunha, C., Agard, B., Kusiak, A., 2006. Data mining for improvement of product quality. *Int. J. Prod. Res.* 44, 4027–4041. doi:10.1080/00207540600678904
- Dadashzadeh, M.D., Wharton, T.J., 2012. A Value Stream Approach For Greening The IT Department. *Int. J. Manag. Inf. Syst. Online* 16, 125.
- Deming, W.E., 2000. *Out of the crisis*, 1. MIT Press ed. ed. The MIT Press, Cambridge, Mass.
- Desrochers, A.A., 1990. *Modeling and control of automated manufacturing systems.* IEEE Computer Society Press, Washington, D.C.
- Deuse, J., Hempen, S., Maschek, T., Spath, D., 2011. Standards und Kommunikationsroutinen als Basis für Prozessinnovation vor und nach SOP. *Schriftenreihe Hochschulgruppe Für Arb.- Betriebsorganisation E VHAB Gito Verl.* 39–49.
- Deuse, J., Rother, M., Hempen, S., 2009. Managing continuous innovation in a manufacturing environment, in: *CD-Proceedings of the 10th International Continuous Innovation Network (CINet) Conference.* Presented at the CINet Conference, Brisbane, Australia.
- Dikow, A., 2006. *Messung und Bewertung der Unternehmensproduktivität in mittelständischen Industrieunternehmen: theoretische Grundlagen und praktische Anwendungen,* Schriftenreihe des Institutes für Produktionswirtschaft der Universität Rostock. Shaker, Aachen.
- Dombrowski, U., Mielke, T. (Eds.), 2015. *Ganzheitliche Produktionssysteme.* Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Dotoli, M., Fantì, M.P., Rotunno, G., Ukovich, W., 2011. A lean manufacturing procedure using Value Stream Mapping and the Analytic Hierarchy Process, in: *Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2011 IEEE International Conference on.* IEEE, pp. 1193–1198.
- Dou, Y., Sarkis, J., 2010. A joint location and outsourcing sustainability analysis for a strategic offshoring decision. *Int. J. Prod. Res.* 48, 567–592. doi:10.1080/00207540903175145
- Douglas, S., Pisa, R., 1998. Can overall factory effectiveness prolong Moorer's law? *Solid State Technol.* 75–81.
- Edtmayr, T., Kuhlmann, P., Sunk, A., Sihn, W., 2013. Systematische Weiterentwicklung des Wertstromdesigns zur Steigerung der kollektiven Intelligenz von Unternehmen, in: Biedermann, H. (Ed.), *Corporate Capability Management: wie wird kollektive Intelligenz im Unternehmen genutzt?*, Schriftenreihe der Hochschulgruppe für Arbeits- und Betriebsorganisation e.V. (HAB). Gito-Verl, Berlin, p. S. 446-448.
- Edtmayr, T., Sunk, A., Sihn, W., 2016a. An Approach to Integrate Parameters and Indicators of Sustainability Management into Value Stream Mapping. *Procedia CIRP, Research and Innovation in Manufacturing: Key Enabling Technologies for the Factories of the Future - Proceedings of the 48th CIRP Conference on Manufacturing Systems* 41, 289–294. doi:10.1016/j.procir.2015.08.037
- Edtmayr, T., Sunk, A., Sihn, W., 2016b. Prozessorientierte CO2-Bewertung in der Produktion als Bestandteil des ganzheitlichen Wertstrommanagements. *Schriftenreihe Hochschulgruppe Für Arb.- Betriebsorganisation E VHAB Gito Verl.*
- Edwards, J.N., 1983. MRP and Kanban - American Style, in: *APICS 26th Conference Proceedings.* Presented at the APICS, pp. 586–603.
- Eekels, J., Roozenburg, N.F.M., 1991. A methodological comparison of the structures of scientific research and engineering design: their similarities and differences. *Des. Stud.* 12, 197–203. doi:10.1016/0142-694X(91)90031-Q

- Emiliani, M.L., Stec, D.J., 2004. Using value-stream maps to improve leadership. *Leadersh. Organ. Dev. J.* 25, 622–645. doi:10.1108/01437730410564979
- Erlach, K., 2010. *Wertstromdesign*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Erlach, K., 2009. *Energiewertstrom*. Stuttgart.
- Esfandyari, A., Osman, M.R., Ismail, N., Tahriri, F., 2011. Application of value stream mapping using simulation to decrease production lead time: a Malaysian manufacturing case. *Int. J. Ind. Syst. Eng.* 8, 230–250.
- Faulkner, W., Badurdeen, F., 2014. Sustainable Value Stream Mapping (Sus-VSM): methodology to visualize and assess manufacturing sustainability performance. *J. Clean. Prod.* 85, 8–18. doi:10.1016/j.jclepro.2014.05.042
- Feigenbaum, A.V., 1991. *Total quality control*, 3rd ed., rev. ed. McGraw-Hill, New York.
- Fera, M., Fruggiero, F., Lambiase, A., Martino, G., Elena, M., 2013. Production Scheduling Approaches for Operations Management, in: Schiraldi, M. (Ed.), *Operations Management*. InTech.
- Forno, A.J.D., Pereira, F.A., Forcellini, F.A., Kipper, L.M., 2014. Value Stream Mapping: a study about the problems and challenges found in the literature from the past 15 years about application of Lean tools. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 72, 779–790. doi:10.1007/s00170-014-5712-z
- Franchetti, M., Yanik, M., 2011. Continuous improvement and value stream analysis through the lean DMAIC Six Sigma approach: a manufacturing case study from Ohio, USA. *Int. J. Six Sigma Compet. Advant.* 6, 278. doi:10.1504/IJSSCA.2011.040676
- Freiberg, M., Striffler, A., Puppe, F., 2012. Extensible Prototyping for pragmatic engineering of knowledge-based systems. *Expert Syst. Appl.* 39, 10177–10190. doi:10.1016/j.eswa.2012.02.110
- Fruggiero, F., Fera, M., Iannone, R., Lambiase, A., 2015. Work control in balanced DRC systems supported by negotiation procedures between autonomous agents. *IFAC-Pap.* 48, 733–740. doi:10.1016/j.ifacol.2015.06.170
- Fullerton, R.R., Wempe, W.F., 2009. Lean manufacturing, non-financial performance measures, and financial performance. *Int. J. Oper. Prod. Manag.* 29, 214–240. doi:10.1108/01443570910938970
- Gallear, D., Ghobadian, A., Li, Y., O'Regan, N., Childerhouse, P., Naim, M., 2014. An environmental uncertainty-based diagnostic reference tool for evaluating the performance of supply chain value streams. *Prod. Plan. Control* 25, 1182–1197. doi:10.1080/09537287.2013.808838
- García, A.J., Chesñevar, C.I., Rotstein, N.D., Simari, G.R., 2013. Formalizing dialectical explanation support for argument-based reasoning in knowledge-based systems. *Expert Syst. Appl.* 40, 3233–3247. doi:10.1016/j.eswa.2012.12.036
- Gershwin, S.B., 2000. Design and operation of manufacturing systems: the control-point policy. *IIE Trans.* 32, 891–906. doi:10.1080/07408170008967448
- Gibbons, P.M., Kennedy, C., Burgess, S.C., Godfrey, P., 2012. The development of a lean resource mapping framework: introducing an 8th waste. *Int. J. Lean Six Sigma* 3, 4–27. doi:10.1108/20401461211223704
- Gluchowski, P., Gabriel, R., Dittmar, C., 2008. *Management Support Systeme und Business Intelligence*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Gockel, T., 2010. *Form der wissenschaftlichen Ausarbeitung: Studienarbeit, Diplomarbeit, Dissertation, Konferenzbeitrag*, 2. Aufl. ed, eXamen.press. Springer, Berlin.
- Goldratt, E.M., 1990. *What is this thing called theory of constraints and how should it be implemented?* North River Press, Great Barrington, Massachusetts.
- Goldratt, E.M., Cox, J., 2013. *Das Ziel: ein Roman über Prozessoptimierung*, Erw. Neuausg. ed. Campus-Verl, Frankfurt/Main.
- Gottmann, J., 2013. *Modell zur Abbildung der Kostenentwicklung in Wertströmen bei veränderten Eingangsgrößen*. Fraunhofer-Verl, Stuttgart.
- Gram, M., 2013. A Systematic Methodology to Reduce Losses in Production with the Balanced Scorecard Approach. *Manuf. Sci. Technol.* 1, 12–22.
- Gudehus, T., 2012. *Dynamische Disposition*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.

- Gupta, P., Vardhan, S., 2016. Optimizing OEE, productivity and production cost for improving sales volume in an automobile industry through TPM: a case study. *Int. J. Prod. Res.* 54, 2976–2988. doi:10.1080/00207543.2016.1145817
- Haag, H., 2013. Eine Methodik zur modellbasierten Planung und Bewertung der Energieeffizienz in der Produktion, *Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung*. Fraunhofer Verlag, Stuttgart.
- Han, J., Kamber, M., 2011. *Data mining: concepts and techniques*, 3rd ed. ed. Elsevier, Burlington, MA.
- Hansen, H.R., 1973. *Marketing-Modelle*. De Gruyter.
- Hedtstück, U., 2013. *Simulation diskreter Prozesse*, eXamen.press. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Helleno, A.L., Pimentel, C.A., Ferro, R., Santos, P.F., Oliveira, M.C., Simon, A.T., 2015. Integrating value stream mapping and discrete events simulation as decision making tools in operation management. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 80, 1059–1066. doi:10.1007/s00170-015-7087-1
- Helmrich, K., 2003. *Productivity process: Methods and experiences of measuring and improving*, International MTM Directorate. Stockholm, Sweden.
- Hempen, S., 2014. *Vorgehensweise zur Spezifizierung von Zielzuständen im Kontext der kurzzyklischen Prozessverbesserung*, Schriftenreihe Industrial Engineering. Shaker, Herzogenrath.
- Hevner, A., Chatterjee, S., 2010. *Design Research in Information Systems, Integrated Series in Information Systems*. Springer US, Boston, MA.
- Hevner, A.R., March, S.T., Park, J., Ram, S., 2004. Design science in information systems research. *MIS Q.* 28, 75–105.
- Hines, P., Holweg, M., Rich, N., 2004. Learning to evolve: A review of contemporary lean thinking. *Int. J. Oper. Prod. Manag.* 24, 994–1011. doi:10.1108/01443570410558049
- Hines, P., Rich, N., 1997. The seven value stream mapping tools. *Int. J. Oper. Prod. Manag.* 17, 46–64. doi:10.1108/01443579710157989
- Holweg, M., 2007. The genealogy of lean production. *J. Oper. Manag.* 25, 420–437. doi:10.1016/j.jom.2006.04.001
- Hon, K.K.B., 2005. Performance and Evaluation of Manufacturing Systems. *CIRP Ann. - Manuf. Technol.* 54, 139–154. doi:10.1016/S0007-8506(07)60023-7
- Hopp, W.J., Spearman, M.L., 2011. *Factory physics*, 3. ed., reissued. ed. Waveland Press, Long Grove, Ill.
- Huang, S.H., Dismukes, J.P., Shi, J., Su, Q., others, 2002. Manufacturing system modeling for productivity improvement. *J. Manuf. Syst.* 21, 249.
- Huth, M., Ryan, M., 2004. *Logic in computer science: modelling and reasoning about systems*, 2nd ed. ed. Cambridge University Press, Cambridge [U.K.]; New York.
- Imai, M., 1997. *Gemba kaizen: a commonsense low-cost approach to management*. McGraw-Hill, New York.
- Imai, M., 1986. *Kaizen (Ky'zen): the key to Japan's competitive success*. McGraw-Hill, New York.
- Islam, S., Syed Shazali, S.T., 2011. Determinants of manufacturing productivity: pilot study on labor-intensive industries. *Int. J. Product. Perform. Manag.* 60, 567–582. doi:10.1108/17410401111150751
- Jarebrant, C., Winkel, J., Johansson Hanse, J., Mathiassen, S.E., Öjmertz, B., 2015. ErgoVSM: A Tool for Integrating Value Stream Mapping and Ergonomics in Manufacturing: A Tool for Integrating Value Stream Mapping. *Hum. Factors Ergon. Manuf. Serv. Ind.* n/a-n/a. doi:10.1002/hfm.20622
- Jasch, C., 2000. Environmental performance evaluation and indicators. *J. Clean. Prod.* 8, 79–88. doi:10.1016/S0959-6526(99)00235-8
- Juran, J.M., De Feo, J.A. (Eds.), 2010. *Juran's quality handbook: the complete guide to performance excellence*, 6th ed. ed. McGraw Hill, New York.
- Kaluza, B., Winkler, H., 2005. *Ökonomisches und ökologisches Performance Measurement am Beispiel von Verwertungs- und Entsorgungsnetzwerken (VEN)*,

- Diskussionsbeiträge des Instituts für Wirtschaftswissenschaften der Universität Klagenfurt. Klagenfurt.
- Kamiske, G.F. (Ed.), 2012. Handbuch QM-Methoden: die richtige Methode auswählen und erfolgreich umsetzen. Hanser, München.
- Kaplan, R.S., Norton, D.P., 1996. The balanced scorecard: translating strategy into action. Harvard Business School Press, Boston, Mass.
- Karim, A., Arif-Uz-Zaman, K., 2013. A methodology for effective implementation of lean strategies and its performance evaluation in manufacturing organizations. *Bus. Process Manag. J.* 19, 169–196. doi:10.1108/14637151311294912
- Katenkamp, O., 2011. Implizites Wissen in Organisationen. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden.
- Katzmair, H., 2016. Netzwerkstudie Industrie 4.0.
- Kendall, D.G., 1953. Stochastic Processes Occurring in the Theory of Queues and their Analysis by the Method of the Imbedded Markov Chain. *Ann. Math. Stat.* 24, 338–354. doi:10.1214/aoms/1177728975
- Kidd, P.T., 1994. Agile manufacturing: forging new frontiers, Addison-Wesley series in manufacturing systems. Addison-Wesley, Wokingham, England ; Reading, Mass.
- King, J.L., Lyytinen, K., 2004. Reach and Grasp. *MIS Q.* 28, 539–551.
- Kleindorfer, P.R., Singhal, K., Wassenhove, L.N., 2009. Sustainable Operations Management. *Prod. Oper. Manag.* 14, 482–492. doi:10.1111/j.1937-5956.2005.tb00235.x
- Kletti, J. (Ed.), 2007. Manufacturing Execution Systems (MES). Springer, Berlin ; London.
- Klevers, T., 2007. Wertstrom-Mapping und Wertstrom-Design: Verschwendung erkennen - Wertschöpfung steigern. mi-Fachverl, Landsberg am Lech.
- Krishnaiyer, K., Chen, F.F., 2015. Web-based Visual Decision Support System (WVDSS) for letter shop. *Robot. Comput.-Integr. Manuf.* doi:10.1016/j.rcim.2015.09.016
- Kuhlang, P., 2013. Industrial Engineering - Systematische Gestaltung produktiver, industrieller Wertströme, Habilitationsschrift. ed. TU Wien, Wien.
- Kuhlang, P., 2010. Grundlagen des Produktivitätsmanagements und der Zeitwirtschaft. Bereich für Betriebstechnik und Systemplanung, Fraunhofer Austria Research GmbH Eigenverlag Wien, Wien.
- Kuhlang, P., Edtmayr, T., Sihn, W., 2011. Methodical approach to increase productivity and reduce lead time in assembly and production-logistic processes. *CIRP J. Manuf. Sci. Technol., Special Section on Innovative and Cognitive Manufacturing Engineering* 4, 24–32. doi:10.1016/j.cirpj.2011.02.001
- Kuhlang, P., Edtmayr, T., Sunk, A., Nemeth, T., 2013a. Wissenschaftliche(s) Arbeiten, 3. vollständig überarbeitete Auflage. ed. Eigenverlag des Instituts für Managementwissenschaften der TU Wien, Wien.
- Kuhlang, P., Edtmayr, T., Sunk, A., Sihn, W., 2014. Weiterentwicklung des Wertstromdesigns. *Ind.-Manag.* 30, 25–29.
- Kuhlang, P., Hempen, S., Sihn, W., Deuse, J., 2013b. Systematic improvement of value streams – fundamentals of value stream oriented process management. *Int. J. Product. Qual. Manag.* 12, 1–17. doi:10.1504/IJPQM.2013.054860
- Kumar, S., Singh, R., 2004. A low cost knowledge base system framework for progressive die design. *J. Mater. Process. Technol.* 153–154, 958–964. doi:10.1016/j.jmatprotec.2004.04.236
- Kurdve, M., Shahbazi, S., Wendin, M., Bengtsson, C., Wiktorsson, M., 2015. Waste flow mapping to improve sustainability of waste management: a case study approach. *J. Clean. Prod.* 98, 304–315. doi:10.1016/j.jclepro.2014.06.076
- Lai, M.-C., Wang, W.-K., Huang, H.-C., Kao, M.-C., 2011. Linking the benchmarking tool to a knowledge-based system for performance improvement. *Expert Syst. Appl.* 38, 10579–10586. doi:10.1016/j.eswa.2011.02.101
- Landau, K., 2009. Produktivität im Betrieb, Herbstkonferenz 2009. ed, Tagungsband der GfA (Gesellschaft für Arbeitswissenschaft). Millstatt.
- Laux, H., Gillenkirch, R.M., Schenk-Mathes, H.Y., 2012. Entscheidungstheorie, Springer-Lehrbuch. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.

- Law, A.M., 2013. Simulation modeling and analysis, Fifth edition. ed, McGraw-Hill series in industrial engineering and management science. McGraw-Hill Education, Dubuque.
- Lee-Mortimer, A., 2006. A lean route to manufacturing survival. *Assem. Autom.* 26, 265–272. doi:10.1108/01445150610705155
- Li, H., Li, Z., Li, L.X., Hu, B., 2000. A production rescheduling expert simulation system. *Eur. J. Oper. Res.* 124, 283–293. doi:10.1016/S0377-2217(99)00381-1
- Lian, Y.-H., Van Landeghem, H., 2002. An application of simulation and value stream mapping in lean manufacturing. *Dep. Ind. Manag. Ghent Univ. Technol.* 903.
- Liker, J.K., 2014. *Der Toyota Weg: 14 Managementprinzipien des weltweit erfolgreichsten Automobilkonzerns; [der Klassiker]*, 9. Aufl. ed. FBV, FinanzBuch Verl, München.
- Liker, J.K., Meier, D., 2006. *The Toyota way fieldbook: a practical guide for implementing Toyota's 4Ps*. McGraw-Hill, New York.
- Little, J.D.C., 1961. A Proof for the Queuing Formula: $L = \lambda W$. *Oper. Res.* 9, 383–387.
- Locke, E.A., Latham, G.P., 1990. *A theory of goal setting & task performance*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Lödging, H., 2008. *Verfahren der Fertigungssteuerung: Grundlagen, Beschreibung, Konfiguration*, 2., Aufl. ed, VDI. Springer, Berlin.
- López-Ortega, O., Villar-Medina, I., 2009. A multi-agent system to construct production orders by employing an expert system and a neural network. *Expert Syst. Appl.* 36, 2937–2946. doi:10.1016/j.eswa.2008.01.070
- Lourenço, E.J., Baptista, A.J., Pereira, J.P., Dias-Ferreira, C., 2013. Multi-Layer Stream Mapping as a Combined Approach for Industrial Processes Eco-efficiency Assessment, in: Nee, A.Y.C., Song, B., Ong, S.-K. (Eds.), *Re-Engineering Manufacturing for Sustainability*. Springer Singapore, Singapore, pp. 427–433.
- Lourenço E.J., Baptista A.J., Pereira J.P., Silva E.J., Cunha F., Peças P., 2014. Eco-efficiency Framework as a Decision Support Tool to Enhance Economic and Environmental Performance of Production Systems. doi:10.13140/2.1.2409.5520
- Lu, J.-C., Yang, T., Wang, C.-Y., 2011. A lean pull system design analysed by value stream mapping and multiple criteria decision-making method under demand uncertainty. *Int. J. Comput. Integr. Manuf.* 24, 211–228. doi:10.1080/0951192X.2010.551283
- Lu, T., Rotella, G., Feng, S.C., Badurdeen, F., Dillon, O.W., Rouch, K., Jawahir, I.S., 2012. Metrics-Based Sustainability Assessment of a Drilling Process, in: Seliger, G. (Ed.), *Sustainable Manufacturing*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 59–64.
- Marangoni, G., Romagnoli, G., Zammori, F., 2013. Multiple value stream mapping: How to implement work load control in complex systems, in: *Industrial Engineering and Systems Management (IESM), Proceedings of 2013 International Conference on*. IEEE, pp. 1–9.
- Marhani, M.A., Jaapar, A., Bari, N.A.A., Zawawi, M., 2013. Sustainability Through Lean Construction Approach: A Literature Review. *Procedia - Soc. Behav. Sci.* 101, 90–99. doi:10.1016/j.sbspro.2013.07.182
- Markus, M.L., Majchrzak, A., Gasser, L., 2002. A design theory for systems that support emergent knowledge processes. *MIS Q.* 179–212.
- Martínez-Jurado, P.J., Moyano-Fuentes, J., 2014. Lean Management, Supply Chain Management and Sustainability: A Literature Review. *J. Clean. Prod.* 85, 134–150. doi:10.1016/j.jclepro.2013.09.042
- März, L., Krug, W., Gesellschaft für Informatik (Eds.), 2011. *Simulation und Optimierung in Produktion und Logistik: praxisorientierter Leitfaden mit Fallbeispielen*, VDI-Buch. Springer, Heidelberg.
- Maskell, B.H., Kennedy, F.A., 2007. Why do we need lean accounting and how does it work? *J. Corp. Account. Finance* 18, 59–73. doi:10.1002/jcaf.20293
- Matt, D.T., 2014. Adaptation of the value stream mapping approach to the design of lean engineer-to-order production systems: A case study. *J. Manuf. Technol. Manag.* 25, 334–350. doi:10.1108/JMTM-05-2012-0054
- Matyas, K., 2013. *Instandhaltungslogistik: Qualität und Produktivität steigern*, 5., aktualisierte Aufl. ed, Praxisreihe Qualitätswissen. Hanser, München.

- McDonald, T., Van Aken, E., Elli, K., 2012. Utilizing simulation to evaluate production line performance under varying demand conditions. *Int. J. Ind. Eng. Comput.* 3, 3–14. doi:10.5267/j.ijiec.2011.08.011
- McDonald, T., Van Aken, E., Rentes, A., 2002. Utilising Simulation to Enhance Value Stream Mapping: A Manufacturing Case Application. *Int. J. Logist. Res. Appl.* 5, 213–232. doi:10.1080/13675560210148696
- Meiller, Y., Bureau, S., Zhou, W., Piramuthu, S., 2011. Adaptive knowledge-based system for health care applications with RFID-generated information. *Decis. Support Syst.* 51, 198–207. doi:10.1016/j.dss.2010.12.008
- Melouk, S.H., Freeman, N.K., Miller, D., Dunning, M., 2013. Simulation optimization-based decision support tool for steel manufacturing. *Int. J. Prod. Econ.* 141, 269–276. doi:10.1016/j.ijpe.2012.08.001
- Melton, T., 2005. The Benefits of Lean Manufacturing. *Chem. Eng. Res. Des.* 83, 662–673. doi:10.1205/cherd.04351
- Menzel, F., 2009. Produktionsoptimierung mit KVP: der kontinuierliche Verbesserungsprozess für gesteigerte Konkurrenzfähigkeit. *mi-Wirtschaftsbuch, FinanzBuch-Verl, München.*
- Metaxiotis, K.S., Askounis, D., Psarras, J., 2002. Expert systems in production planning and scheduling: A state-of-the-art survey. *J. Intell. Manuf.* 13, 253–260.
- Miseviciene, R., Budnikas, G., Makackas, D., 2013. Business Process Flow Verification Using Knowledge Based System, in: Skersys, T., Butleris, R., Butkiene, R. (Eds.), *Information and Software Technologies.* Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 82–92.
- Müller, E., Stock, T., Schillig, R., 2014. A method to generate energy value-streams in production and logistics in respect of time- and energy-consumption. *Prod. Eng.* 8, 243–251. doi:10.1007/s11740-013-0516-9
- Muthiah, K.M., Huang, S.H., 2006. A review of literature on manufacturing systems productivity measurement and improvement. *Int. J. Ind. Syst. Eng.* 1, 461–484.
- Nakajima, S., 1988. *Introduction to TPM: total productive maintenance.* Productivity Press, Cambridge, Mass.
- Nebel, T., 2007. *Produktionswirtschaft, 6., vollst. überarb. und Aufl. ed, Lehr- und Handbücher der Betriebswirtschaftslehre.* Oldenbourg, München.
- Nebel, T., Dikow, A., 2004. *Produktivitätsmanagement: theoretische Grundlagen, methodische Instrumentarien, Analyseergebnisse und Praxiserfahrungen zur Produktivitätssteigerung in produzierenden Unternehmen, 2. Aufl. ed, REFA-Fachbuchreihe Unternehmensentwicklung.* Hanser, München.
- Nonaka, I., 1988. Toward Middle-Up-Down Management: Accelerating Information Creation. *MIT Sloan Manag. Rev.* 9.
- Nyhuis, P., Wiendahl, H.-P., 2012. *Logistische Kennlinien.* Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Oberhausen, C., Plapper, P., 2016. A Standardized Value Stream Management Method for Supply Chain Networks, in: Dimitrov, D., Oosthuizen, T. (Eds.), *Proceedings of the International Conference on Competitive Manufacturing COMA 2016.* Global Competitiveness Centre in Engineering, Department of Industrial Engineering, Stellenbosch University, Stellenbosch, South Africa.
- Oberhausen, C., Plapper, P., 2015. Value Stream Management in the “Lean Manufacturing Laboratory.” *Procedia CIRP* 32, 144–149. doi:10.1016/j.procir.2015.02.087
- Ōno, T., 1988. *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production.* Productivity Press.
- Onori, M., Lee-Mortimer, A., 2006. A lean route to manufacturing survival. *Assem. Autom.* 26, 265–272.
- Paju, M., Heilala, J., Hentula, M., Heikkilä, A., Johansson, B., Leong, S., Lyons, K., 2010. FRAMEWORK AND INDICATORS FOR A SUSTAINABLE MANUFACTURING MAPPING METHODOLOGY, in: *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference.* IEEE, pp. 3411–3422.
- Parthanadee, P., Buddhakulsomsiri, J., 2014. Production efficiency improvement in batch production system using value stream mapping and simulation: a case study of the roasted and ground coffee industry. *Prod. Plan. Control* 25, 425–446. doi:10.1080/09537287.2012.702866

- Pavnaskar, S.J., Gershenson, J.K., Jambekar, A.B., 2003. Classification scheme for lean manufacturing tools. *Int. J. Prod. Res.* 41, 3075–3090. doi:10.1080/0020754021000049817
- Peffer, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M.A., Chatterjee, S., 2007. A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. *J. Manag. Inf. Syst.* 24, 45–77. doi:10.2753/MIS0742-1222240302
- Pfeifer, T. (Ed.), 1996. Wissensbasierte Systeme in der Qualitätssicherung: Methoden zur Nutzung verteilten Wissens, Qualitätsmanagement. Springer, Berlin.
- Piercy, N., Rich, N., 2015. The relationship between lean operations and sustainable operations. *Int. J. Oper. Prod. Manag.* 35, 282–315. doi:10.1108/IJOPM-03-2014-0143
- Plonka, F.E., 1997. Developing a lean and agile work force. *Hum. Factors Ergon. Manuf.* 7, 11–20. doi:10.1002/(SICI)1520-6564(199724)7:1<11::AID-HFM2>3.0.CO;2-J
- Pohl, K., 2007. Requirements engineering: Grundlagen, Prinzipien, Techniken, 1. Aufl. ed. dpunkt.verl, Heidelberg.
- Polanyi, M., 1985. Implizites Wissen, 1. Aufl. ed, [Suhrkamp-Taschenbuch / Wissenschaft] Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft. Suhrkamp, Frankfurt am Main.
- Porter, A.L., Kongthon, A., Lu, J.-C. (JC), 2002. Research profiling: Improving the literature review. *Scientometrics* 53, 351–370. doi:10.1023/A:1014873029258
- Povey, B., 1996. Continuous business improvement: linking the key improvement processes for your critical long-term success, Quality in action. McGraw-Hill, London ; New York.
- Prat, N., Comyn-Wattiau, I., Akoka, J., 2014. Artifact Evaluation in Information Systems Design-Science Research-a Holistic View., in: PACIS. Citeseer, p. 23.
- Pusavec, F., Krajnik, P., Kopac, J., 2010. Transitioning to sustainable production – Part I: application on machining technologies. *J. Clean. Prod.* 18, 174–184. doi:10.1016/j.jclepro.2009.08.010
- Rabe, M., Spieckermann, S., Wenzel, S., 2008. Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik: Vorgehensmodelle und Techniken. Springer, Berlin.
- Rabta, B., Alp, A., Reiner, G., 2009. Queueing networks modeling software for manufacturing. Springer.
- Rao, M., Miller, D., Lin, B., 2005. PET: An expert system for productivity analysis. *Expert Syst. Appl.* 29, 300–309. doi:10.1016/j.eswa.2005.04.003
- REFA, 2012. Industrial Engineering - Standardmethoden zur Produktivitätssteigerung und Prozessoptimierung, REFA-Fachbuchreihe Unternehmensentwicklung. Hanser, München.
- Reich, Y., 1995. The Study of Design Research Methodology. *J. Mech. Des.* 117, 211. doi:10.1115/1.2826124
- Reményi, C., Staudacher, S., 2014. Systematic simulation based approach for the identification and implementation of a scheduling rule in the aircraft engine maintenance. *Int. J. Prod. Econ.* 147, 94–107. doi:10.1016/j.ijpe.2012.10.022
- Richter, R., Deuse, J., 2011. Voraussetzungen für einen erfolgreichen Verbesserungsprozess. Themenheft, Zeitschrift für angewandte Arbeitswissenschaft No 207, 6–13.
- Robinson, S., Radnor, Z.J., Burgess, N., Worthington, C., 2012. SimLean: Utilising simulation in the implementation of lean in healthcare. *Eur. J. Oper. Res.* 219, 188–197. doi:10.1016/j.ejor.2011.12.029
- Roessler, M.P., Kleeberg, I., Kreder, M., Metternich, J., Schuetzer, K., 2015. Enhanced Value Stream Mapping: Potentials and Feasibility of IT Support through Manufacturing Execution Systems, in: Gen, M., Kim, K.J., Huang, X., Hiroshi, Y. (Eds.), Industrial Engineering, Management Science and Applications 2015. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 393–402.
- Rother, M., 2013. Die Kata des Weltmarktführers: Toyotas Erfolgsmethoden, 2., Aufl. ed. Campus-Verl, Frankfurt.
- Rother, M., 2009. Die Kata des Weltmarktführers: Toyotas Erfolgsmethoden. Campus Verl, Frankfurt.
- Rother, M., Shook, J., 2003. Learning to see: value stream mapping to add value and eliminate muda. Lean Enterprise Institute, Cambridge.

- Rother, M., Shook, J., Wiegand, B., 2011. Sehen lernen: mit Wertstromdesign die Wertschöpfung erhöhen und Verschwendung beseitigen, Dt. Ausg., Version 1.4, Oktober 2011. ed, Workbooks für Lean Management. Lean Management Inst, Mühlheim an d. Ruhr.
- Ruiz-de-Arbulo-Lopez, P., Fortuny-Santos, J., Cuatrecasas-Arbós, L., 2013. Lean manufacturing: costing the value stream. *Ind. Manag. Data Syst.* 113, 647–668. doi:10.1108/02635571311324124
- Runde, S., Fay, A., Schmitz, S., Epple, U., 2011. Wissensbasierte Systeme im Engineering der Automatisierungstechnik. - *Autom.* 59. doi:10.1524/auto.2011.0893
- Sahin, S., Tolun, M.R., Hassanpour, R., 2012. Hybrid expert systems: A survey of current approaches and applications. *Expert Syst. Appl.* 39, 4609–4617. doi:10.1016/j.eswa.2011.08.130
- Sakamoto, S., 2010. *Beyond World-Class Productivity*. Springer London, London.
- Samaranayake, P., 2013. Improving manufacturing lead time using holistic approach to planning and execution with integrated data structures: numerical simulation and comparison. *Int. J. Prod. Res.* 51, 4484–4501. doi:10.1080/00207543.2013.765076
- Samat, H.A., Khoe, P.G., Liau, W.S., Tan, H.F., Yap, W.Y., Kamaruddin, S., 2013. Reduction of response time during machine breakdown: a case study in semiconductor industry. *Int. J. Logist. Syst. Manag.* 16, 167. doi:10.1504/IJLSM.2013.056159
- Schuh, G., 2016. *Black Box der Produktion - Den digitalen Schatten nutzen*.
- Serrano, I., Ochoa, C., Castro, R.D., 2008. Evaluation of value stream mapping in manufacturing system redesign. *Int. J. Prod. Res.* 46, 4409–4430. doi:10.1080/00207540601182302
- Serrano Lasa, I., Castro, R. de, Laburu, C.O., 2009. Extent of the use of Lean concepts proposed for a value stream mapping application. *Prod. Plan. Control* 20, 82–98. doi:10.1080/09537280802685322
- Seuring, S., Müller, M., 2008. From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *J. Clean. Prod., Sustainability and Supply Chain Management* 16, 1699–1710. doi:10.1016/j.jclepro.2008.04.020
- Seyedhosseini, S.M., Taleghani, A.E., Bakhsha, A., Partovi, S., 2011. Extracting leanness criteria by employing the concept of Balanced Scorecard. *Expert Syst. Appl.* 38, 10454–10461. doi:10.1016/j.eswa.2011.02.095
- Shah, R., Ward, P.T., 2003. Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. *J. Oper. Manag.* 21, 129–149. doi:10.1016/S0272-6963(02)00108-0
- Shu-Hsien Liao, 2005. Expert system methodologies and applications—a decade review from 1995 to 2004. *Expert Syst. Appl.* 28, 93–103. doi:10.1016/j.eswa.2004.08.003
- Sihn, W., Sunk, A., Nemeth, T., Kuhlmann, P., Matyas, K., 2016. *Produktion und Qualität: Organisation, Management, Prozesse, Praxisreihe Qualitätswissen / Herausgegeben von Kurt Matyas*. Hanser, Carl, München.
- Solding, P., Gullander, P., 2009. Concepts for simulation based value stream mapping, in: *Simulation Conference (WSC), Proceedings of the 2009 Winter*. IEEE, pp. 2231–2237.
- Spear, S.J., 1999. *The Toyota Production System: An Example of Managing Complex Social/Technical Systems. 5 Rules for Designing, Operating, and Improving Activities, Activity-connections, and Flow-paths*. Harvard University, Cambridge, MA, USA.
- Spreckelsen, C., Spitzer, K., 2009. *Wissensbasen und Expertensysteme in der Medizin*. Vieweg+Teubner, Wiesbaden.
- Standridge, C.R., Marvel, J.H., 2006. Why lean needs simulation, in: *Proceedings of the 38th Conference on Winter Simulation*. Winter Simulation Conference, pp. 1907–1913.
- Stefanovic, N., Stefanovic, D., Radenkovic, B., 2008. Application of Data Mining for Supply Chain Inventory Forecasting, in: Ellis, R., Allen, T., Petridis, M. (Eds.), *Applications and Innovations in Intelligent Systems XV*. Springer London, London, pp. 175–188.
- Steven, M., 2007. *Handbuch Produktion: Theorie - Management - Logistik - Controlling*, W: Kohlhammer, Stuttgart.
- Stowasser, S., 2010. Produktivität und Industrial Engineering. Themenheft, *Methodisches Produktivitätsmanagement Umsetzung und Perspektiven No 204*, 7–20.

- Sullivan, W.G., McDonald, T.N., Van Aken, E.M., 2002. Equipment replacement decisions and lean manufacturing. *Robot. Comput.-Integr. Manuf.* 18, 255–265.
- Sunk, A., Edtmayr, T., Sihm, W., 2016. Ansatz zur Bewertung der Abfallentstehung im Wertstrom, in: Biedermann, H. (Ed.), *Industrial Engineering und Management, Techno-ökonomische Forschung und Praxis*. Springer Fachmedien Wiesbaden, pp. 267–281.
- Sunk, A., Kuhlmann, P., Sihm, W., 2015. Improving Productivity by Deriving and Defining Target Conditions in the Value Stream of Packing. *Trans. FAMENA* 39, 35–46.
- Sunk, A., Nemeth, T., Edtmayr, T., Kuhlmann, P., Sihm, W., 2014a. Increasing Productivity Systematically by Applying Target-Conditions in Logistical Value Streams. Presented at the MOTSP 2014, 6th International Scientific Conference “Management of Technology - Step to Sustainable Production,” Zagreb: Croatian Association for PLM, Bol/Croatia, p. 8pp.
- Sunk, A., Nemeth, T., Edtmayr, T., Kuhlmann, P., Sihm, W., 2014b. Modellierung logistischer Prozesse als Grundlage systematischer Verbesserungsarbeit mit Zielzuständen. *Logistische Modellier. 2 Wiss. Ind.-Dialog Leoben WILD* 25 15–30.
- Suzuki, K., 1989. *Modernes Management im Produktionsbetrieb: Strategien, Techniken, Fallbeispiele*. Hanser, München.
- Taj, S., Berro, L., 2006. Application of constrained management and lean manufacturing in developing best practices for productivity improvement in an auto-assembly plant. *Int. J. Product. Perform. Manag.* 55, 332–345. doi:10.1108/17410400610653264
- Takeda, H., 2009. *Das synchrone Produktionssystem: Just-in-time für das ganze Unternehmen*, 6., aktualisierte Aufl. ed. mi-Wirtschaftsbuch, FinanzBuch-Verl, München.
- Taleghani, A.E., Seyedhosseini, S.M., Ghoreyshi, S.M., 2013. Time variability analysis in multi-production value stream. *Int. J. Serv. Oper. Manag.* 16, 262. doi:10.1504/IJSOM.2013.056145
- Tanco, M., Santos, J., Rodriguez, J.L., Reich, J., 2013. Applying lean techniques to nougat fabrication: a seasonal case study. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 68, 1639–1654. doi:10.1007/s00170-013-4960-7
- Tangen, S., 2003. An overview of frequently used performance measures. *Work Study* 52, 347–354. doi:10.1108/00438020310502651
- Taninecz, G., 2004a. Long-Term Commitments. *IndustryWeek*.
- Taninecz, G., 2004b. Faster But Not Better. *IndustryWeek*.
- Thammatutto, C., Charoensiriwath, C., 2011. Improving production efficiency through Lean Flexible Cellular Manufacturing Simulation. *IEEE*, pp. 322–326. doi:10.1109/ICQR.2011.6031734
- Toivonen, T., Siitonen, J., 2016. Value Stream Analysis for Complex Processes and Systems. *Procedia CIRP* 39, 9–15. doi:10.1016/j.procir.2016.01.035
- Vamsi Krishna Jasti, N., Sharma, A., 2014. Lean manufacturing implementation using value stream mapping as a tool: A case study from auto components industry. *Int. J. Lean Six Sigma* 5, 89–116. doi:10.1108/IJLSS-04-2012-0002
- Van Aken, E.M., Farris, J.A., Glover, W.J., Letens, G., 2010. A framework for designing, managing, and improving Kaizen event programs. *Int. J. Product. Perform. Manag.* 59, 641–667. doi:10.1108/17410401011075648
- Vazan, P., Tanuska, P., Kebisek, M., 2011. The data mining usage in production system management. *Eng. Technol., World Academy of Science* 7, 1304–1308.
- VDI, 2014. *Simulation von Logistik-, Materialfluss und Produktionssystemen. Grundlagen*, VDI 3633.
- VDI, 2011a. *Digitale Fabrik. Digitaler Fabrikbetrieb*, VDI 4499.
- VDI, 2011b. *Fabrikplanung*, VDI 5200.
- Venkat, K., Wakeland, W., 2006. Is Lean Necessarily Green? *Proc. 50th Annu. Meet. ISSS - 2006 Sonoma CA USA* 0.
- Vinodh, S., Dinesh Kumar, C., 2012. Development of computerized decision support system for leanness assessment using multi grade fuzzy approach. *J. Manuf. Technol. Manag.* 23, 503–516. doi:10.1108/17410381211230457

- Wahab, A.N.A., Mukhtar, M., Sulaiman, R., 2013. A Conceptual Model of Lean Manufacturing Dimensions. *Procedia Technol.* 11, 1292–1298. doi:10.1016/j.protcy.2013.12.327
- Wan, H., Chen, F.F., 2009. Decision support for lean practitioners: A web-based adaptive assessment approach. *Comput. Ind.* 60, 277–283. doi:10.1016/j.compind.2009.01.001
- Wappis, J., 2012. Entwicklung eines Modells zur nachhaltigen Einführung und Verankerung von Six Sigma. TU Wien, Wien.
- Wappis, J., Jung, B., 2016. Null-Fehler-Management: Umsetzung von Six Sigma, 5., überarbeitete Auflage. ed, Praxisreihe Qualitätswissen. Hanser, München.
- Wappis, J., Jung, B., 2010. Taschenbuch Null-Fehler-Management: Umsetzung von Six Sigma, 3., überarb. Aufl. ed, Praxisreihe Qualitätswissen. Hanser, München.
- Waterman, D.A., 1986. A guide to expert systems, 1st ed. ed, The Teknowledge series in knowledge engineering. Addison-Wesley, Reading, Mass.
- Weigelt, M., Mertens, P., 1991. Produktionsplanung und -steuerung mit Verteilten Wissensbasierten Systemen, in: Brauer, W., Hernández, D. (Eds.), *Verteilte Künstliche Intelligenz Und Kooperatives Arbeiten*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 113–123.
- Wen, W., Chen, Y.H., Chen, I.C., 2008. A knowledge-based decision support system for measuring enterprise performance. *Knowl.-Based Syst.* 21, 148–163. doi:10.1016/j.knosys.2007.05.009
- Werners, B., 2008. *Grundlagen des Operations Research*, Springer-Lehrbuch. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Westkämper, E., Zahn, E. (Eds.), 2009. *Wandlungsfähige Produktionsunternehmen*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Winkler, H., Wurzer, T., Kuss, C., Seebacher, G., 2013. Investigating the relevance of supply chain improvement systems (SCIS). Presented at the Logistics and Sustainable Transport, Celje.
- Womack, J.P., Jones, D.T., 2003. *Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation*, Rev. and updated, 1. paperback ed. ed. Simon & Schuster, London.
- Womack, J.P., Jones, D.T., Roos, D., 1990. *The machine that changed the world: based on the Massachusetts Institute of Technology 5-million dollar 5-year study on the future of the automobile*. Rawson Associates, New York.
- Wong, B.K., Chong, J.K.S., Park, J., 1994. Utilization and Benefits of Expert Systems in Manufacturing: A Study of Large American Industrial Corporations. *Int. J. Oper. Prod. Manag.* 14, 38–49. doi:10.1108/01443579410049298
- Woods, D., 2009. Lean Accounting's Fat Problem [WWW Document]. *Forbes*. URL <http://www.forbes.com/2009/07/28/accounting-management-enterprise-technology-cio-network-accounting.html> (accessed 5.27.16).
- Wu, L., Zang, Y., 2011. Knowledge-Based Decision Support Model for Supply Chain Disruption Management, in: Zhang, J. (Ed.), *Applied Informatics and Communication*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 513–521.
- Xie, Y., Peng, Q., 2012. Integration of value stream mapping and agent-based modeling for OR improvement. *Bus. Process Manag. J.* 18, 585–599. doi:10.1108/14637151211253747
- Xu, J., Xu, X., Xie, S.Q., 2011. Recent developments in Dual Resource Constrained (DRC) system research. *Eur. J. Oper. Res.* 215, 309–318. doi:10.1016/j.ejor.2011.03.004
- Zammori, F., Braglia, M., Frosolini, M., 2011. Stochastic overall equipment effectiveness. *Int. J. Prod. Res.* 49, 6469–6490. doi:10.1080/00207543.2010.519358
- Zammori, F., Braglia, M., Frosolini, M., 2009. A standard agreement for vendor managed inventory. *Strateg. Outsourcing Int. J.* 2, 165–186. doi:10.1108/17538290910973376

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: An die Arbeit angepasster Nominalprozess der DSRM (vgl. Peffers et al., 2007).....	8
Abbildung 2: Aufbau der Arbeit aus der DSRM abgeleitet	9
Abbildung 3: Schematischer Produktentstehungsprozess (PEP)	14
Abbildung 4: Product Life Cycle (nach EPLCA)	15
Abbildung 5: Zusammenhänge zwischen Arbeitssystem, Prozess und Ablauf (vgl. Bokranz and Landau, 2012)	16
Abbildung 6: Handlungskompetenz zum Produktivitätsmanagement im Industrial Engineering (Kuhlang, 2013)	19
Abbildung 7: VSM als Bezugsrahmen für Handlungskompetenz zum Produktivitätsmanagement (Kuhlang, 2013)	20
Abbildung 8: Istzustand, Zielzustände und Idealzustand (vgl. Kuhlang, 2013).....	21
Abbildung 9: Standards im klassischen Sinne und als Zielzustand (vgl. Rother, 2009; Richter and Deuse, 2011)	21
Abbildung 10: Abgrenzung des Untersuchungsbereichs im VSM (eingerahmt)	33
Abbildung 11: Methoden und Ansätze zur Produktivitätsmessung und -steigerung in Produktionssystemen	35
Abbildung 12: Klassische empirische Ansätze und Methoden aus dem Lean Management (Sihn et al., 2016).....	36
Abbildung 13: Klassische empirische Methoden und Tools aus dem Qualitätsmanagement (Sihn et al., 2016).....	37
Abbildung 14: Vorgehensweise beim Wertstrommanagement	39
Abbildung 15: Gestaltungsrichtlinien für das Planen und Gestalten von kundenorientierten Soll-Wertströmen (Sihn et al., 2016).....	40
Abbildung 16: PDCA-Zyklus (vgl. Kamiske, 2012)	41
Abbildung 17: Kategorien (K1-K4) von Parametern eines Zielzustands (Sunk et al., 2014b; vgl. Hempen, 2014)	41
Abbildung 18: Typische Vorgehensweise bei empirischen, kontinuierlichen Verbesserungsansätzen (Kuhlang, 2013; vgl. Deuse et al., 2011)	42
Abbildung 19: Gedankengebäude zur IT-gestützten Parametrisierung des nächsten Zielzustands eines Wertstroms im VSM	55
Abbildung 20: Vorgehensmodell im Überblick.....	56
Abbildung 21: Zielsystem im Vorgehensmodell	58
Abbildung 22: Zeitanteile des Balancing-Factors im Operator Balance Chart grafisch dargestellt	64
Abbildung 23: Regelkreis zur Verbindung von Zielsystem und Vorgehensmodell zum IT-gestützten VSM	68
Abbildung 24: Zugrundeliegendes Vorgehensmodell im Detail	70
Abbildung 25: STEP [0] im Vorgehensmodell	72
Abbildung 26: STEP [1] im Vorgehensmodell	75
Abbildung 27: STEP [2] im Vorgehensmodell	78
Abbildung 28: STEP [3] im Vorgehensmodell	79
Abbildung 29: STEP [4] im Vorgehensmodell	82
Abbildung 30: STEP [5] im Vorgehensmodell	84
Abbildung 31: STEP [6] im Vorgehensmodell	85

Abbildung 32: STEP [7] im Vorgehensmodell	87
Abbildung 33: STEP [8] im Vorgehensmodell	89
Abbildung 34: Beispielhafte IT Architektur eines Expertensystems (vgl. Metaxiotis et al., 2002).....	91
Abbildung 35: Beispiel-Wertstrom mit dem VSM Tool umfassend analysiert	93
Abbildung 36 a-b: Eingabe des Kundenbedarfs und Auswahl des Szenarios	94
Abbildung 37 a-d: Eingabe der allgemeinen Wertstromeigenschaften im VSM Tool	95
Abbildung 38 a-d: Eingabe der Input-Parameter im VSM Tool (Prozesse, Lagerstufen, Transporte)..	96
Abbildung 39: Screenshot der Import-Anwendung mit den Stammdaten als Drop-down-Felder	98
Abbildung 40: Ausschnitt ER-Modell mit Darstellung der Bewegungsdaten (vereinfachte Darstellung mit Schlüsselattributen)	98
Abbildung 41: Prototypische Umsetzung des IT Artefakts mit VSM Expert	99
Abbildung 42: Die sechs Segmente der GUI von VSM Expert mit dem VSM Tool als externe Schnittstelle	103
Abbildung 43: Segment (1) „Zielsystem mit Zielgrößen“ im Detail.....	104
Abbildung 44: Segment (2) „Import-Schnittstelle“ im Detail	104
Abbildung 45: Segment (3) „Vorgehensmodell zur Orientierung“ im Detail	105
Abbildung 46: Segment (4) „Navigation durch das Vorgehensmodell“ im Detail	105
Abbildung 47: Segment (5) „Interaktion mit dem Wertstromplaner“ am Beispiel der Lagerstufen.....	106
Abbildung 48: Segment (6) „Protokoll“ im Detail	106
Abbildung 49: Legende zu den Boxplots.....	109
Abbildung 50: Auswertung ausgewählter VSM-Kennzahlen.....	110
Abbildung 51: Auswertung ausgewählter Input-Parameter und Kennzahlen für Prozesse	110
Abbildung 52: Beispielhaftes Histogramm.....	111
Abbildung 53: Ablauf der Inferenz-Maschine	113
Abbildung 54: Konzept der Design-Evaluierung.....	115
Abbildung 55: CSM (Istzustand in t_0) des Beispiel-Wertstroms (Symbolbild)	116
Abbildung 56: Ausprägung der Zielgrößen für den Istzustand t_0 im Beispiel-Wertstrom	117
Abbildung 57: Lagerstufen-Auswertung im Beispiel-Wertstrom.....	118
Abbildung 58: Benchmark-Kriterium für Lead time (LT)	119
Abbildung 59: Ausprägung der Zielgrößen der Iteration $t_{it1.1}$ im Beispiel-Wertstrom	122
Abbildung 60: Boxplot des Balancing-Factors nach $t_{it1.1}$ im Beispiel-Wertstrom.....	123
Abbildung 61: Ausprägung der Zielgrößen der Iteration in $t_{it3.1}$ im Beispiel-Wertstrom.....	126
Abbildung 62: Ausprägung der Zielgrößen der Iteration in $t_{it6.1}$ im Beispiel-Wertstrom.....	130
Abbildung 63: FSM (Zielzustand in t_1) des Beispiel-Wertstroms (Symbolbild).....	130
Abbildung 64: CSM (Istzustand in t_0) des Beispiel-Wertstroms (Vollbild)	157
Abbildung 65: FSM (Zielzustand in t_1) des Beispiel-Wertstroms (Vollbild).....	158

11 Formelverzeichnis

Formel 1: Berechnung der Durchlaufzeit (Kuhlang, 2010).....	58
Formel 2: Berechnung der Bestandsreichweite je Lagerstufe (nach ROTHER und SHOOK).....	59
Formel 3: Berechnung der Bestandsreichweiten im langsamsten Zweig (nach ERLACH)	59
Formel 4: Berechnung des Flussgrades im langsamsten Zweig (nach ERLACH)	59
Formel 5: Berechnung des Kundentakts (nach ROTHER und SHOOK)	61
Formel 6: Berechnung des Kundentakts (nach ERLACH)	61
Formel 7: Berechnung des Balancing-Factors (BF).....	62
Formel 8: Berechnung des Takt-Factors (T_{vs}).....	62
Formel 9: Berechnung des Takt-Factors (T_{vs}).....	62
Formel 10: Berechnung des Run Ratio-Factors (RR_{vs}).....	63
Formel 11: Berechnung des Run Ratio-Factors (RR_{vs}).....	63
Formel 12: Berechnung des CTE-Factors (CTE_{vs}).....	63
Formel 13: Berechnung des CTE-Factors (CTE_{vs}).....	63
Formel 14: Berechnung des Shift-Factors (SC_{vs}).....	63
Formel 15: Berechnung des Shift-Factors (SC_{vs}).....	63
Formel 16: Proportionale Kostenfunktion der variablen Stückkosten	86
Formel 17: Benchmark-Kriterium	108
Formel 18: Berechnung des Balancing-Factors nach $t_{it1.1}$ im Beispiel-Wertstrom	123
Formel 19: Berechnung des Balancing-Factors nach $t_{it3.1}$ im Beispiel-Wertstrom	125

12 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Sieben Richtlinien der Design Science Research – Anforderung und Umsetzung.....	10
Tabelle 2: Gewählte Vorgehensweise bei der Literaturrecherche	11
Tabelle 3: Adressaten und deren Nutzen der Arbeit	12
Tabelle 4: Sechs Merkmale der Kendall-Notation für Warteschlangensysteme in der DES	28
Tabelle 5: Vorgehensweise bei einer Simulationsstudie mit Kommentaren zum benötigten Anwendungsfall	30
Tabelle 6: Berechnung der vier Bestandteile des Balancing-Factors (BF)	62
Tabelle 7: Aktivitäten in STEP [0].....	71
Tabelle 8: Aktivitäten in STEP [1].....	72
Tabelle 9: Aktivitäten in STEP [2].....	76
Tabelle 10: Aktivitäten in STEP [3].....	79
Tabelle 11: Aktivitäten in STEP [4].....	80
Tabelle 12: Aktivitäten in STEP [5].....	83
Tabelle 13: Aktivitäten in STEP [6].....	84
Tabelle 14: Aktivitäten in STEP [7].....	86
Tabelle 15: Aktivitäten in STEP [8].....	88
Tabelle 16: Aufbau der Inferenz-Maschine	113
Tabelle 17: Beispiel von Textbausteinen in STEP [0]	114
Tabelle 18: Boxplots für Lagerstufen in STEP[1] im Beispiel-Wertstrom.....	119
Tabelle 19: Grob-Parametrisierung der Lagerstufen in STEP [1] im Beispiel-Wertstrom.....	120
Tabelle 20: Auswirkungen auf die Grob-Parametrisierung der Lagerstufen in STEP [1].....	121
Tabelle 21: Input-Parameter zur Berechnung des Balancing-Factors für $t_{it3.1}$	122
Tabelle 22: Fein-Parametrisierung der Prozesse in STEP [3] im Beispiel-Wertstrom.....	123
Tabelle 23: Geänderte Input-Parameter zur Berechnung des Balancing-Factors in $t_{it3.1}$	124
Tabelle 24: Auswirkungen auf die Parametrisierung des Balancing-Factors in STEP [3]	125
Tabelle 25: Boxplots für Energieeinsätze (Elektrizität) in den Prozessen in STEP[6]	126
Tabelle 26: Benchmark-Kriterium für die Energieeinsätze (Elektrizität) in den Prozessen.....	127
Tabelle 27: Boxplots der „Stammdaten“ für CO ₂ -Äquivalenz-Faktoren in STEP [6]	127
Tabelle 28: Verbesserung des CDE-Wertes in STEP [6] im Beispiel-Wertstrom	128
Tabelle 29: Auswirkungen der Parametrisierung auf den CDE-Wert im Beispiel-Wertstrom	129
Tabelle 30: Gegenüberstellung ausgewählter Kennzahlen von CSM und FSM	131
Tabelle 31: Diskussion der experimentellen Evaluierung	132

13 Anhang

13.1 Curriculum Vitae

Personal information

Name: Alexander W. Sunk
 Sex: Male
 Date of birth: February 16, 1985
 Nationality: Austrian



Work experience (extract)

2011-02 – Present	Research associate Fraunhofer Austria Research GmbH and Department for Industrial and Systems Engineering, Institute for Management Science, Technische Universität Wien
2010-08 – 2010-09	Internship Fraunhofer Austria Research GmbH
2010-07	Internship Constantia Teich GmbH, Technical Project Planning
2009-10 – 2010-06	Tutorage Department for Industrial and Systems Engineering, Institute for Management Science, Technische Universität Wien
2009-07 – 2009-08	Internship Constantia Teich GmbH, Technical Project Planning
2008-08 – 2008-09	Internship Teich AG, Technical Project Planning
2007-08	Internship Teich AG, Technical Project Planning
2006-07	Internship Teich AG, Technical Project Planning
2003-07	Internship Fiat GM Powertrain, Gothenburg, Sweden, Maintenance

Education and training

2005-10 – 2010-12	Dipl.-Ing. (MSc) Industrial Engineering-Management, Technische Universität Wien, graduated with honors
2004-07 – 2005-03	Military service Kopal casern, Spratzern
1999-09 – 2004-06	HTBLuVA St. Pölten Industrial Engineering-Management, graduated with honors

Personal skills

Mother tongue	German
Other languages	English Understanding C1, Speaking C1, Writing C1
Job related skills	Basic MTM Human work design with Methods-Time Measurement Basic certificates A and B of the REFA organisation Six Sigma-Yellow Belt Improving quality in industrial processes Project management Training was part of Fraunhofer's basic qualification of new colleagues Acquisition Training was part of Fraunhofer's basic qualification of new colleagues
Communication skills	Moderation Training was part of Fraunhofer's basic qualification of new colleagues
Computer skills	ECDL European Computer Driving Licence
Driving license	Yes Category B

Vienna, 2016-11

13.2 Publikationsliste

Fachbuch:

Sihn, W., **Sunk, A.**, Nemeth, T., Kuhlant, P., Matyas, K., 2016. Produktion und Qualität: Organisation, Management, Prozesse, Praxisreihe Qualitätswissen / Herausgegeben von Kurt Matyas. Hanser, Carl, München.

Fachbeiträge:

Kuhlant, P., Edtmayr, T., **Sunk, A.**, Morawetz, C., Sihn, W., 2011. Utilizing a Process Management Approach to Standardise the Application of Value Stream Mapping. Braz. J. Oper. Prod. Manag. Vol 8.

Kuhlant, P., Edtmayr, T., **Sunk, A.**, Sihn, W., 2012. Methodische Produktivitätssteigerung. Kombiniertes Ansatz zur Produktivitätssteigerung mittels WSD und MTM in Montage- und produktionslogistischen Prozessen. Z. Für Wirtsch. Fabr. No.1-2, pp.55-60.

Kuhlant, P., Edtmayr, T., **Sunk, A.**, Hrach, M., Sihn, W., 2014b. Weiterentwicklung des Wertstromdesigns. Steigerung der personalen und organisationalen System- und Methodenkompetenz. Ind. Manag. 30.

Sunk, A., Kuhlant, P., Sihn, W., 2015. Improving Productivity by Deriving and Defining Target Conditions in the Value Stream of Packing. Trans. FAMENA 39, 35–46.

Edtmayr, T., **Sunk, A.**, Sihn, W., 2016a. An Approach to Integrate Parameters and Indicators of Sustainability Management into Value Stream Mapping. Procedia CIRP, Research and Innovation in Manufacturing: Key Enabling Technologies for the Factories of the Future - Proceedings of the 48th CIRP Conference on Manufacturing Systems 41, 289–294. doi:10.1016/j.procir.2015.08.037

Berndt, R., **Sunk, A.**, 2016. Value Stream Mapping with VASCO - From Reducing Lead Time to Sustainable Production Management [WWW Document]. URL <http://ercim-news.ercim.eu/en105/special/value-stream-mapping-with-vasco-from-reducing-lead-time-to-sustainable-production-management> (accessed 4.14.16).

Berndt, R., Silva, N., Caldera, C., Krispel, U., Eggeling, E., **Sunk, A.**, Reisinger, G., Sihn, W., Fellner, D.W., 2016. VASCO - Digging the Dead Man's Chest of Value Streams. IARIA J. 9. doi:IN PRESS

Buchbeiträge:

Edtmayr, T., Kuhlant, P., **Sunk, A.**, Sihn, W., 2013. Systematische Weiterentwicklung des Wertstromdesigns zur Steigerung der kollektiven Intelligenz von Unternehmen, in: Biedermann, H. (Ed.), Corporate Capability Management: wie wird kollektive Intelligenz im Unternehmen genutzt?, Schriftenreihe der Hochschulgruppe für Arbeits- und Betriebsorganisation e.V. (HAB). Gito-Verl, Berlin, S. 446-448.

Kuhlant, P., Edtmayr, T., **Sunk, A.**, Sihn, W., 2013b. Systematische Weiterentwicklung der Wertstrommethode zur prozessorientierten Gestaltung und Bewertung von Arbeitssystemen, in: Partnerschaft Für Prävention Und Arbeitsgestaltung. GfA-Press, Dortmund, S. 111-123.

Kuhlant, P., Edtmayr, T., **Sunk, A.**, Sihn, W., 2013c. Weiterentwicklung des Wertstromdesigns zur prozessorientierten Gestaltung und Bewertung von Arbeitssystemen, in: Lödding, H. (Ed.), Produzieren in Deutschland: Wettbewerbsfähigkeit Im 21. Jahrhundert. Gito, Berlin, S. 205-219.

Sunk, A., Nemeth, T., Edtmayr, T., Kuhlant, P., Sihn, W., 2014a. Modellierung logistischer Prozesse als Grundlage systematischer Verbesserungsarbeit mit Zielzuständen. Logistische Modellier. 2 Wiss. Ind.-Dialog Leoben WILD 25, S. 15–30.

- Sunk, A.**, Edtmayr, T., Sihn, W., 2016. Ansatz zur Bewertung der Abfallentstehung im Wertstrom, in: Biedermann, H. (Ed.), Industrial Engineering und Management, Techno-ökonomische Forschung und Praxis. Springer Fachmedien Wiesbaden, pp. 267–281.
- Edtmayr, T., **Sunk, A.**, Sihn, W., 2016b. Prozessorientierte CO₂-Bewertung in der Produktion als Bestandteil des ganzheitlichen Wertstrommanagements. Schriftenreihe Hochschulgruppe Für Arb.- Betriebsorganisation E VHAB Gito Verl.

Konferenz-Beiträge:

- Kuhlang, P., Edtmayr, T., **Sunk, A.**, 2014a. Further development of Value Stream Mapping to design work systems, in: Proceedings of IIE Industrial and Systems Engineering Research Conference. Montreal, Canada.
- Sunk, A.**, Nemeth, T., Edtmayr, T., Kuhlang, P., Sihn, W., 2014b. Increasing Productivity Systematically by Applying Target-Conditions in Logistical Value Streams. Presented at the MOTSP 2014, 6th International Scientific Conference “Management of Technology - Step to Sustainable Production,” Zagreb: Croatian Association for PLM, Bol/Croatia, p. 8pp.
- Kuhlang, P., Edtmayr, T., **Sunk, A.**, Mühlbradt, T., 2014c. Enhancing work system design and improvement by further developments of value stream mapping, in: 2014 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, IEEM 2014, Selangor Darul Ehsan, Malaysia, December 9-12, 2014. pp. 464–469. doi:10.1109/IEEM.2014.7058681
- Kuhlang, P., **Sunk, A.**, 2015. Productivity Improvement in Logistical Work Systems of the Genuine Parts Supply Chain, in: Online-Proceedings of the 2015 IEEE Conference on Industrial Engineering and Industrial Management. Presented at the 2015 IEEE Conference on Industrial Engineering and Industrial Management, Singapur.
- Berndt, R., Silva, N., Caldera, C., Krispel, U., Eggeling, E., **Sunk, A.**, Edtmayr, T., Sihn, W., Fellner, D.W., 2016. VASCO - Mastering the Shoals of Value Stream Mapping. Presented at the CONTENT 2016, The Eighth International Conference on Creative Content Technologies, pp. 42–47.

Sonstiger Fachbeitrag:

- Kuhlang, P., Edtmayr, T., **Sunk, A.**, Nemeth, T., 2013a. Wissenschaftliche(s) Arbeiten, 3. vollständig überarbeitete Auflage. ed. Eigenverlag des Instituts für Managementwissenschaften der TU Wien, Wien.

Betreute Diplomarbeiten:

Weiters wurden im Laufe der Tätigkeit bei Fraunhofer Austria und an der TU Wien rund 40 Diplomarbeiten im Operations Management von Alexander Sunk operativ betreut. Diese Arbeiten wurden mit fachlichen Schwerpunkten zu Wertstrommanagement, Prozessmanagement, Fabriklayout- und Montageplanung (d.h. Grob- und Feinplanung), Qualitätsmanagement und Logistikmanagement verfasst.

13.3 CSM (Istzustand in t₀) des Beispiel-Wertstroms

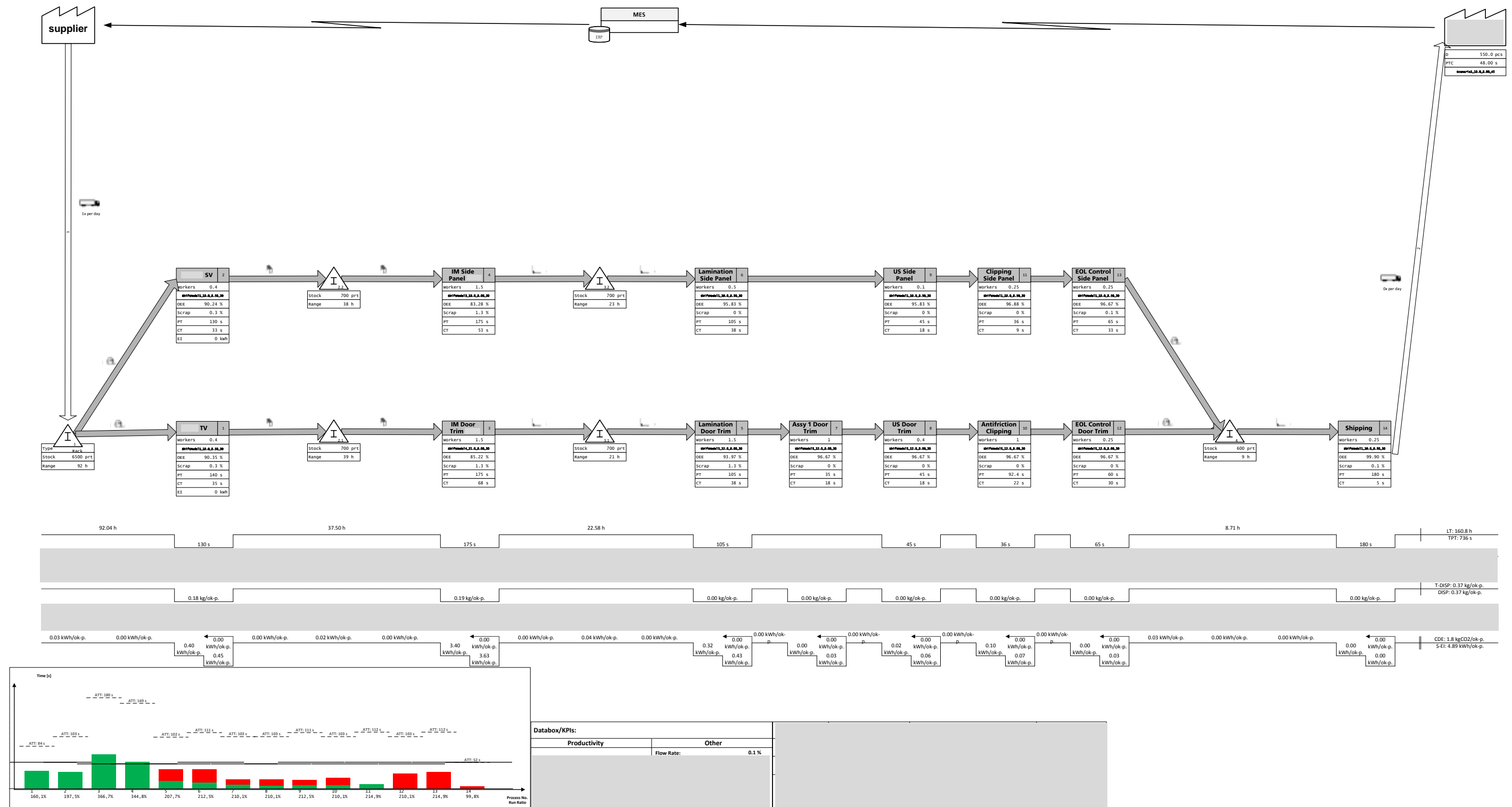


Abbildung 64: CSM (Istzustand in t₀) des Beispiel-Wertstroms (Vollbild)

13.4 FSM (Zielzustand in t₁) des Beispiel-Wertstroms

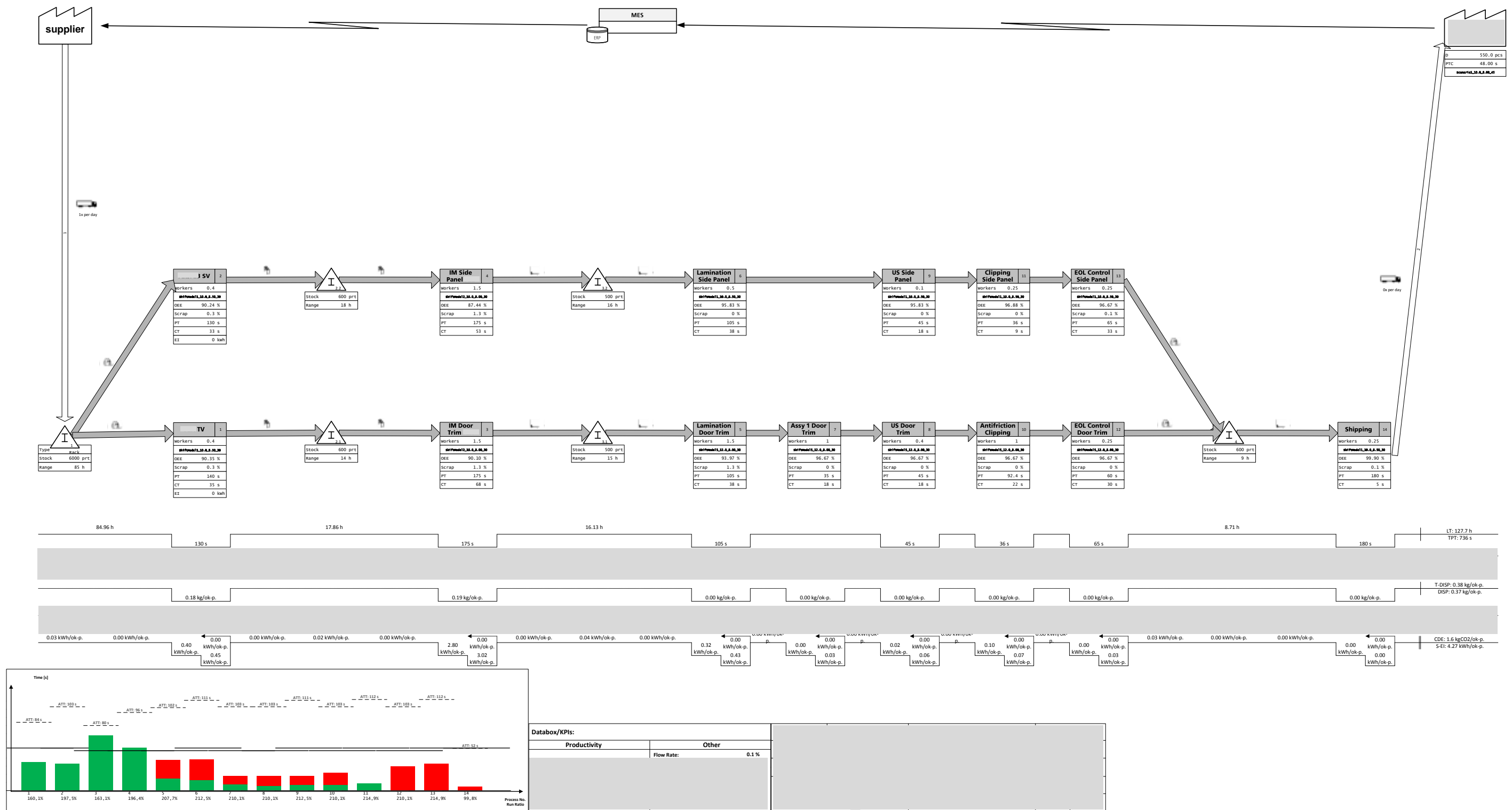


Abbildung 65: FSM (Zielzustand in t₁) des Beispiel-Wertstroms (Vollbild)