

# Bewertung und Einführung von Lean-Methoden in der Einzel- und Kleinserienfertigung am Beispiel des Stahlbaus

Zur Erlangung des akademischen Grades eines  
DOKTOR-INGENIEURS  
von der Fakultät für  
Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften

des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)

genehmigte  
DISSERTATION  
von

Alexander Hofacker  
Dipl.-Ing., MBA., MSc.

Tag der mündlichen  
Prüfung: 13. Dezember 2010

Referent: Prof. Dr.-Ing. Fritz Gehbauer, M.S., Technologie und Management im Baubetrieb  
Korreferentin: Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza, Institut für Produktionstechnik

Karlsruhe 2010

# Kurzfassung

Die Forschungsarbeit verfolgt einen dreigliedrigen Ansatz:

(1) Zunächst wurde die Stahlbaukette vom Wareneingang bis zur Baustellenmontage innerhalb von zwei Unternehmensfallstudien systematisch gemessen, mit dem Fokus auf Produktionsdurchfluss (Stückzahl und Masse), Zwischenbeständen, Wertschöpfungsanteilen und Prozessschwankungen. Die entwickelte Formel der Vorbestandswartezeit der jeweiligen Arbeitsstation dient dabei zur Engpassberechnung des Produktionsdurchsatzes.

(2) Eine qualitative Organisationsbefragung durchleuchtet den jeweiligen organisatorischen Kontext, die Unternehmenskultur und Mitarbeitervorstellungen von bestehenden Engpässen und kontinuierlicher Verbesserung. Diese quantitative und qualitative Analyse ist über eine Organisations- und Prozessverknüpfungsmatrix zusammengeführt und zeigt innerhalb der Fallstudien, dass in der Stahlbaufertigung die berechneten Engpässe sich an manuellen Heftständen und in der Baustellenmontage befinden. Dies korreliert mit Bereichen höchster organisatorischer Schnittstellen und widerlegt die häufig vorherrschende Meinung, dass Engpässe an den technologieintensiven Arbeitsstationen des Zuschnitts auftreten.

(3) Basierend auf den Messwerten finden diskrete ereignisorientierte Simulationsstudien statt. Hierbei ist untersucht, welche Effekte die Implementierung ausgewählter lean-Methoden wie SMED (Single-Minute-Exchange-of-Die), One-Piece-Flow und Verstetigung durch LPS (Last-Planner-System) auf den Produktionsdurchfluss und die Bestände haben. Die Berechnungsergebnisse zeigen, dass eine direkte Bestandsreduzierung (One-Piece-Flow) zu einem verringerten Produktionsdurchsatz führt, während die Verstetigung durch LPS oder SMED die Produktivität erhöht. Diese Berechnungen im Stahlbau entsprechen Literaturhinweisen aus anderen Industriesektoren, wonach der Prozess zuerst zu verstetigen ist und anschließend die Bestände zu reduzieren sind.

Die Arbeit liefert zudem einige im Stahlbau typische bestehende Muster der Produktionsflüsse, enthält ein Kennzahlensystem zur Visualisierung und zur „pull“-Steuerung der Stahlbaufertigungskette und behandelt Umsetzungsvorschläge für Lean-Methoden. Die in der Forschungsarbeit entwickelten Vorgehensweisen, Detailuntersuchungen und Verbesserungsmethoden sind auch auf andere Industriebetriebe übertragbar, die ähnliche Produktionscharakteristika aufweisen. Dazu zählen beispielsweise Unternehmen der Stahlgussfertigung, der Holzbaufertigung, der Betonfertigteileproduktion oder andere Produktionsunternehmen der Einzel- und Kleinserienfertigung.

## Summary

### **“Introduction and Evaluation of lean-methods in single- and small-series production companies, based on the example of steel fabricators”**

This research follows a three step approach:

(1) First was measured the steel-supply chain from material entry at steel-fabricators to the erection process on the construction sites, based on two case studies. The focus of these quantitative measurements is based on throughput (piece/hour, and mass/hour), including the analysis of intermediate stock, value adding activities and process variation. It is also developed a new formula to calculate present bottlenecks in production flows, determined by the “waiting time of stock in front of each work station”, which includes a variability factor.

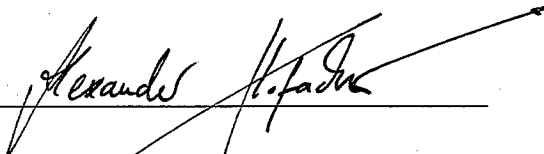
(2) Qualitative analysis of the respective organization explores the organizational context which has a high impact on the productivity of the whole production system. This standardized survey includes the analysis of the company’s culture, the value codex and the perspective of employees regarding prevailing waste and continuous improvement. Both analysis (organization and process) are linked together with a connecting matrix. Hereby is shown, that the current bottlenecks in the investigated steel-fabrication companies are located at the manual fitting stations, behind the CNC-cutting machines.

(3) Discrete event Simulation (DES) is conducted to investigate the effects on throughput and stock when introducing certain lean-methods (SMED, One-Piece-Flow and Last-Planner). The simulation is based on measured process data of the case studies. The results of these calculations illustrate, that pure reduction of intermediate stock (One-Piece-Flow) leads to a decrease in throughput, while introducing more continuous flow conditions (achieved by SMED or LPS) increases the productivity. These results of the simulated steel-fabrication processes correspond with literature references from the automotive sector. Accordingly, processes are to be managed in a more continuous flow before lowering the intermediate stocks.

The research also highlights several typical patterns of the production flows in steel-fabrication processes. For instance, all investigated steel-fabricators are in a push-production modus, initiated by the CNC-machines. Finally a KPI-concept was developed to visualize the performance and introduce production control with pull-principles. Several suggestions are provided to achieve successful implementation of such process changes. The conducted research approach is also applicable to other industry sectors with similar conditions, such as wood-fabricators, precast-concrete-fabricators and other single- and small series production companies.

*Hiermit erkläre ich Eides Statt, dass ich die vorliegende Dissertation selbstständig und ohne fremde Hilfe angefertigt, keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.*

Karlsruhe den 06.11.2010

  
(Unterschrift des Verfassers)

## Vorwort des Verfassers

Die vorliegende wissenschaftliche Arbeit entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT).

Mein Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Fritz Gehbauer, M.S. für die Übernahme des Hauptreferates. Neben der fachlichen Auseinandersetzung förderte er mich durch die Ermöglichung der Teilnahme an zahlreichen internationalen Lean-Konferenzen, Forschungsaufenthalten in Chile, Brasilien und Japan und motivierte mich, aktiv die Forschungsarbeit mit Industriepartnern zu gestalten.

Zudem danke ich sehr herzlich Frau Prof. Dr.-Ing. Giesela Lanza, Institutsleiterin des Instituts für Produktionstechnik (wbk) des KITs, für ihre Bereitschaft, das Koreferat zu übernehmen und die Arbeit unter fertigungstechnischen Aspekten zu betreuen. Sie und ihre Mitarbeiterin Frau Dr.-Ing. Kathrin Peter unterstützten mich sehr durch einen kooperativen Austausch, ihr produktionstechnisches Wissen und ihre Erfahrung bei Simulationsstudien.

Herzlichen Dank auch an Gernot Hickethier und Annette Gann für das Korrekturlesen dieser Arbeit. Sehr viele weitere Kollegen, Freunde und Industriepartner trugen zum Resultat dieser Forschung bei. Ihnen und Euch allen möchte ich danken, die direkt oder indirekt durch Ihre Ideen und Unterstützung zu dieser Arbeit beitrugen:

Kunibert Lennerts, Helmut Saal, Veronique Lange, Fabian Metz, Aguinaldo Santos, Jorge Taboada, Harald von Borries, Erik, Thomas Dobler, Eckart Flöther, Fabian Kleinschnitz, Tobias Schürg, Luis Fernando Alarcon, Peter Steffek, Iris Tommelein, Lauri Koskela, Carlos Formoso, Ivo Lehnerr, Manfred Klein, Alan Mossmann, Agnes- Helmut- und Claudius Hofacker, Christian Stockhausen, Kathrin Peter, Theodoris Zikas, Hagen Engelmann, Fabian Kohlbecker, Michael Ott, Jürgen Kirsch, Annett Schöttle, Bettina Willige, Philip Robinson, Ellen Freding, Tobias Bleninger.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG.....</b>	<b>1</b>
1.1	MOTIVATION UND ZIELSETZUNG .....	1
1.2	FORSCHUNGSFRAGEN UND HYPOTHESEN .....	2
1.3	RELEVANZ UND BETRACHTUNGSRAHMEN.....	3
1.4	STRUKTUR DER ARBEIT .....	6
<b>2</b>	<b>THEORIE (TEIL A): PROZESSANALYSE .....</b>	<b>8</b>
2.1	WERKZEUGE ZUR DARSTELLUNG UND STATISCHEN ANALYSE VON PROZESSEN .....	8
2.1.1	Kennzahlen.....	8
2.1.2	Value Stream Mapping und Wertstromdesign .....	9
2.1.3	Business Process Modeling Notation (BPMN) .....	12
2.2	DYNAMISCHE ANALYSE MITTELS LINEARER OPTIMIERUNG UND SIMULATION .....	13
2.2.1	Lineare Optimierung (LO) .....	16
2.2.2	Diskrete Ereignisorientierte Simulation (DES) .....	16
2.2.3	Kontinuierliche Simulation .....	17
2.3	ORGANISATIONSANALYSE .....	19
2.3.1	Typen von Organisationsanalysen.....	19
2.3.2	Zwei Vorgehenskonzepte für die Erstellung von Organisationsanalysen .....	21
<b>3</b>	<b>THEORIE (TEIL B): PROZESSVERBESSERUNG.....</b>	<b>24</b>
3.1	THEORETISCHE GRUNDLAGEN VON LEAN PRODUKTION .....	24
3.1.1	Ganzheitliche Produktionssysteme: Ziele und Herkunft von Lean-Produktion .....	25
3.1.2	Theorie der Einschränkungen (Theory of Constraints, TOC) .....	27
3.2	VERBESSERUNGSMETHODEN: DEZENTRALE LEAN-PRODUCTION-METHODEN .....	29
3.2.1	Auswahlkriterien zur Untersuchung von Lean-Methoden in der Einzelfertigung ...	32
3.2.2	Eins-zu-Eins-Fluss (One-Piece-Flow).....	32
3.2.3	Single-Minute-Exchange-of-Die (SMED) .....	32
3.2.4	Kanban und ConWIP .....	33
3.2.5	Shop-Floor-Management (SFM) .....	34
3.2.6	Baustellenleitstand (COB) als Shop-Floor-Management-System in LMB .....	34
3.3	THEORETISCHE GRUNDLAGEN VON LEAN-MANAGEMENT IM BAUWESEN (LMB).....	36
3.3.1	Das Transformations-Fluss-Wert-Konzept (TFV) .....	36
3.3.2	Weiterführung und Neuerungen innerhalb von TFV .....	39

3.3.3	Construction-Physics: Sieben verschiedene Arten von Fluss.....	42
3.4	VERBESSERUNGSMETHODEN: LEAN-MANAGEMENT IM BAUWESEN (LMB) .....	44
3.4.1	Last-Planner-System (LPS), zur Planungs- und Ausführungsverbesserung .....	45
3.4.2	Produktionsverbesserung über Taktzeitsteuerung .....	47
3.4.3	Vergleich von Taktzeit und LPS bei Bauprojekten .....	48
<b>4</b>	<b>VORSTUDIEN IM STAHLBAU.....</b>	<b>53</b>
4.1	MERKMALE DER EINZELFERTIGUNG UND KLEINSERIENPRODUKTION .....	53
4.2	DIE STAHLBAUFERTIGUNG .....	55
4.2.1	Produktivitätsentwicklung des Stahlbaus .....	56
4.2.2	Der Produktionsprozess.....	57
4.2.3	Verbesserungspotentiale im Stahlbau, in Abhängigkeit von der Vertragsform .....	59
4.3	INDUSTRIE-VORSTUDIEN .....	63
<b>5</b>	<b>ANFORDERUNGEN DES ANSATZES UND METHODISCHES VORGEHEN .....</b>	<b>69</b>
<b>6</b>	<b>PRODUKTIONSFLUSSANALYSE: MESSUNG, KENNZAHLEN, BEFRAGUNG..</b>	<b>73</b>
6.1	PROZESSDETAILMESSUNGEN .....	73
6.2	KENNZAHLENSYSTEMATIK ZUR PRODUKTIONSSTEUERUNG IM STAHLBAU.....	74
6.2.1	Entwicklungskriterien des Kennzahlensystems mit „pull“-Prinzip.....	75
6.2.2	Beispielentwicklung einer Kennzahl für Heft- und Schweißstände (2. Ebene) .....	76
6.2.3	Gesamtkennzahlenkonzept für Stahlbauprozesse.....	81
6.2.4	Validierung.....	87
6.3	ORGANISATIONSBEFRAGUNGSMODELL .....	89
6.3.1	Zielsetzung .....	89
6.3.2	Modellarchitektur .....	90
6.3.3	Entwicklung .....	91
6.3.4	Wesentliche inhaltliche Bestandteile.....	93
6.3.5	Einige Befragungspunkte im Detail .....	93
6.3.6	Interpretationsschema und Ergebnispräsentation .....	96
6.3.7	Validierung des Befragungsmodells.....	97
<b>7</b>	<b>FALLSTUDIEN .....</b>	<b>99</b>
7.1	STAHLSYSTEMBAU EINES KLEINSERIENFERTIGERS .....	99
7.1.1	Organisationskontext und Hintergrundverständnis der Produktion .....	99
7.1.2	Produktionsdetailmessungen und Engpassuntersuchung .....	102
7.1.3	Muster und Erkenntnisse .....	109
7.2	STAHLSYSTEMBAU EINES EINZELFERTIGERS .....	112
7.2.1	Organisationskontext und Hintergrundverständnis der Produktion .....	112

7.2.2	Produktionsdetailmessungen: Stückzahlfluss, Tonnagefluss, Leistungskurven.....	115
7.2.3	Versandlager: Die Schnittstelle zwischen Fertigungswerk und Baustellen.....	123
7.2.4	Zusammenführung der Befragungs- und Messergebnisse: Engpassermittlung.....	125
7.2.5	Muster und Erkenntnisse .....	127
<b>8</b>	<b>SIMULATION: LEAN-MANAGEMENT-UNTERSUCHUNGEN IM STAHLBAU</b>	<b>128</b>
8.1	DISKRETES EREIGNISORIENTIERTES SIMULATIONSMODELL IM STAHLBAU.....	128
8.1.1	Auswahl der DES-Software .....	128
8.1.2	Vorgehenskonzept.....	129
8.1.1	Aufbau des Simulationsmodells.....	130
8.1.2	Datenerhebung .....	131
8.1.3	Annahmen, Einflussfaktoren und Modelleingabewerte .....	132
8.1.4	Validierung.....	133
8.2	SIMULATIONSUNTERSUCHUNG VON LEAN-METHODEN IM STAHLBAU.....	133
8.2.1	Grundmodell Ist-Situation mit normalverteilten Zeitwerten .....	133
8.2.2	Simulation von One-Piece-Flow (1x1-Fluss).....	134
8.2.3	Simulation von SMED-Einführung (Varianz- und Setupverringerung).....	136
8.2.4	Simulation von SMED und 1x1-Fluss.....	137
8.3	AUSWERTUNG, VERGLEICHE DER METHODEN, ERGEBNISZUSAMMENFASSUNG .....	138
<b>9</b>	<b>UMSETZUNG.....</b>	<b>141</b>
9.1	TYPISIERTE PRAXISANSÄTZE .....	141
9.1.1	Veränderung und Umsetzung über externe Beratung.....	141
9.1.2	Umsetzungsansätze bei firmeninternen Verbesserungsabteilungen.....	142
9.1.3	Umsetzungs- und Veränderungsansätze aus der angewandten Psychologie .....	142
9.2	UMSETZUNGSVORSCHLAG FÜR DEN STAHLBAU .....	145
9.2.1	Technische Unterstützungswerkzeuge zur Umsetzung .....	146
9.2.2	Erfolgsfaktoren und Hemmnisse .....	147
<b>10</b>	<b>ERGEBNISSE.....</b>	<b>150</b>
10.1	ERGEBNISÜBERBLICK .....	150
10.2	ENTDECKTE MUSTER .....	155
10.3	VALIDIERUNG DER HYPOTHESEN .....	157
10.4	ZUSAMMENFASSUNG .....	161
10.5	AUSBLICK .....	162
<b>4.</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>164</b>
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....	173



TABELLENVERZEICHNIS .....	175
<b>ANHANG .....</b>	<b>176</b>
ANHANG 1: BEGRIFFSDEFINITIONEN .....	176
ANHANG 2A: KENNZAHLEN .....	179
ANHANG 2B: CPM UND VPN .....	180
ANHANG 3A: KONZEPT, PRINZIP, METHODE.....	181
ANHANG 3B: DIE SIEBEN ARTEN VON FLUSS (CONSTRUCTION PHYSICS).....	182
ANHANG 4A: DIAGRAMM PRODUKT-UND PROZESSCHARAKTERISTIKA.....	184
ANHANG 4B: INDUSTRIE-VORSTUDIEN (ABBILDUNG).....	185
ANHANG 6A: HINTERGRUNDDATEN, KENNZAHLENKONZEPT FÜR DEN STAHLBAU .....	186
ANHANG 6B: KENNZAHLENKONZEPT, INDIKATOREN DER EBENE 2 UND 3 .....	187
ANHANG 6C: DOPPELRICHTUNGSVERFAHREN ZUR FEHLERFINDUNG .....	188
ANHANG 7A: INTERPRETATIONSSCHEMA DES BEFRAGUNGSMODELLS.....	192
ANHANG 7B: BERECHNUNG DER ABGELEITETEN KENNZAHLEN .....	206
ANHANG 7C: DIREKTE ERGEBNISSE DER ORGANISATIONSBEFRAGUNG, CASE 1 .....	209
ANHANG 7D: ABBILDUNGEN DER PROZESSDETAILMESSUNGEN, CASE 1 .....	217
ANHANG 7E: AUSWERTUNG UND ENGPASSBERECHNUNG, CASE 1 .....	219
ANHANG 7F: DIREKTE ERGEBNISSE DER ORGANISATIONSBEFRAGUNG, CASE 2 .....	221
ANHANG 7G: ABBILDUNGEN DER PROZESSDETAILMESSUNGEN, CASE 2.....	228
ANHANG 7H: ENGPASSBERECHNUNG UND VERKNÜPFUNGSMATRIX, CASE 2.....	229
ANHANG 8A: VORGEHENS-KONZEPT ZUR ERSTELLUNG DER SIMULATIONSSTUDIEN .....	231
ANHANG 8B: MODELLEINGABEWERTE, SIMULATION DER IST-SITUATION .....	235
LEBENS-LAUF: ALEXANDER HOFACKER.....	236

# Abkürzungsverzeichnis

ARGE = Arbeitsgemeinschaft

AVP = Analyse-Veränderungs-Prozess

BGB = Baugesetzbuch

BPD = Business Process Diagram

BPMN = Business Process Modeling Notation

CONWIP = Constant Work-In-Process

CPM = Critical Path Method

DES = Diskrete Ereignisorientierte Simulation

DESS = Differential Equation Specified System

GPS = Ganzheitliche Produktionssysteme

GT = Gesprächstherapie

GU = Generalunternehmer

IFOA = Integrated Form of Agreement (kooperativer Bauvertrag)

KMU = Klein- und Mittelständische Unternehmen

KPI = Key Performance Indicator = Kennzahl als strategischer Schlüsselfaktor

KVP = Kontinuierlicher Verbesserungsprozess

LM = Lean Management

LO = Lineare Optimierung

LP = Lean Production, Lean Produktion

LPS = Last Planner System

LM = Lean Management

LMB = LC = Lean Management im Bauwesen = Lean Construction

MA = Mitarbeiter

MOAB = Montageabschnitt

NVA = Non-Value-Adding (nicht wertschöpfend)

PEA = Prozent der Erbrachten Arbeiten

PPS = Produktionsplanungssystem

RFID = Radio-Frequency-Identification

SCM = Supply Chain Management

SFM = Shop-Floor-Management

SMED = Single Minute Exchange of Die

TA = Transaktionsanalyse

TFV = Transformation-Flow-Value Model

TFV<sub>p</sub> = process-metaphysics based TFV,    TFV<sub>t</sub> = thing-metaphysics based TFV

TOC = Theory of Constraints

TPM = Total Production Maintenance

TPS = Toyota-Produktion-System

TQM = Total Quality Management

VA = Value Adding (wertschöpfend)

VOB = Verdingungsordnung für Bauleistungen

VPM = Vorgangs-Pfeil-Methode

VT = Verhaltenstherapie

WSA = Wertstromanalyse

WIP = Work-In-Process

Definitionen der für die Arbeit wesentlichen Begriffe wie Engpass, Schnittstelle, Fluss, Lean-Management, Durchsatz und Operationelle Kosten u.a. sind in Anhang 1 erklärt.

# 1 EINLEITUNG

## 1.1 Motivation und Zielsetzung

Hinsichtlich Produktivitätsentwicklung und Optimierungspotentialen liegen große Unterschiede zwischen Industriesektoren vor, ersichtlich beispielsweise an der Entwicklung der Automobil- und der Bauindustrie in Deutschland [Geh-‘09][Sta-‘09]. Der Stahlbau, wie auch andere Betriebe der Einzel- und Kleinserienfertigung, bilden ein Bindeglied zwischen Fertigungsindustrie, Bauindustrie und dem Handwerk. Innerhalb dieses Industriesektors sind bisher die Potentiale der industriellen Weiterentwicklung durch detaillierte Produktionsflussanalysen und Prozessverbesserung wissenschaftlich kaum betrachtet, was zum Teil an dessen Individualcharakter liegt, der damit schwer verallgemeinerbar ist [Met-‘09].

Die Schwierigkeit bei individuellen Produkten und projektorientierten Prozessen besteht darin, die Prozessdetails zu kennen, und in der Vielzahl von Prozessen diejenigen mit relevanter Unternehmenswertschöpfung und deren Engpässe zu finden, durch die das Gesamtergebnis positiv beeinflusst werden kann. Dies hängt mit Indikatoren und Messkonzepten zusammen, die derzeit nicht in geeigneter Form für die Stahlbaufertigung vorliegen [Met-‘09]. Sind limitierende Faktoren in den Produktionsprozessen erkannt, stellt sich die Frage, mit welchen Methoden der höchste Verbesserungsnutzen im Verhältnis zum Einsatz entstehen kann, und wie die Umsetzung stattfinden soll.

Neue Erkenntnisse über detaillierte Fließbilder von Produktions-, und Baustellenerrichtungsprozessen in der Kleinserien-, und Einzelfertigung sind ein erstes Ziel der vorliegenden Arbeit. Des Weiteren sollen passende Produktions- und Baustellenprozessverbesserungsmethoden für das Fertigungs- und Bauumfeld unter Einbezug der Mitarbeiter evaluiert werden. Mit dieser Motivation liefert die vorliegende Arbeit einen praktischen neuen Baustein für die Thematiken der Prozessanalyse, Engpassermittlung und Prozessverbesserung mittels Lean-Management-Methoden in der Einzel- und Kleinserienfertigung am Beispiel des Stahlbaus. Die Arbeit enthält speziell entwickelte Kennzahlen für Heft- und Schweißprozesse. Zudem wurde ein Gesamtkennzahlensystem zur Produktionssteuerung nach dem „pull“-Prinzip entwickelt, bezogen auf den Stahlbau vom Zuschnitt innerhalb der Stahlbaufertigung bis zur Baustellenmontage. Die Untersuchungen basieren auf gemessenen Realdaten.

## 1.2 Forschungsfragen und Hypothesen

Die Arbeit baut auf drei wesentliche *Forschungsfragen* auf:

1. Existieren bestimmte Muster (Patterns), die durch Detailbetrachtung in diesen Produktionsprozessen ersichtlich sind, z.B. push-pull Mechanismen der Produktionssteuerung oder Zusammenhänge zwischen Organisationsstruktur und Produktionsprozess?
2. Welche Lean-Management-Methoden erbringen in Bezug auf den Betrachtungsrahmen welchen Effekt hinsichtlich Durchsatz und Beständen?
3. Wie können Lean-Management-Methoden zur Prozessverbesserung von Durchsatz und Beständen in der Einzel- und Kleinserienfertigung des Stahlbaus eingeführt werden?

Verschiedene Fachbereiche überschneiden sich innerhalb dieser Forschung. Der Supply Chain Management Gedanke (SCM) spielt hierbei eine Rolle, indem ein Gesamtoptimum des Flusses über eine Versorgungskette hinweg betrachtet werden soll [Fur-'05] [Ahl-'07]. Lean-Management aus der Großserienindustrie (Lean-Produktion) und Lean-Management im Bauwesen mit dem Theoriekonzept „Transformation-Flow-Value“ TFV werden behandelt [Kos-'92][Kos-'00][San-'99]. Um den Unternehmenskontext zu verstehen, der wesentliche Auswirkungen auf das Produktionsumfeld hat, ist auch die Thematik der Organisationsanalyse nach [Tit-'08][Ros-'08][Lin-'07] und der angewandten Psychologie [Dör-'04][Rog-'01] in die Arbeit integriert. Diese Bereiche bilden die interdisziplinäre Ausgangsbasis, wobei die Literaturanalyse in zwei Teile unterteilt ist: in die Prozessanalyse und die Prozessverbesserung. Als Untersuchungszielgrößen innerhalb der Arbeit dienen die Produktivitätskenngrößen Durchsatz [Stück / Zeiteinheit], Bestände (WIP) [Stück] und damit verbunden auch die Losgrößen.

Drei *Hypothesen* liegen dieser Arbeit zugrunde:

1. Es existieren bestimmte Muster (Pattern) in diesen Produktionsprozessen, die mittels detaillierten Prozessmessungen und einem passenden Organisationsbefragungsmodell erkannt werden können. Dadurch sind Verbesserungspotentiale leichter erkennbar.
2. Mittels Diskreter Ereignisorientierter Simulation (DES) können die Effekte von einigen Lean-Methoden quantitativ in Bezug auf den Betrachtungsrahmen der Forschungsstudie bewertet werden.

3. Die Einführung von Lean-Management-Methoden zur Prozessverbesserung in der Einzel- und Kleinserienfertigung des Stahlbaus ist möglich mittels eines spezifischen Kennzahlensystems und dem Einbezug des Organisationskontextes.

### 1.3 Relevanz und Betrachtungsrahmen

Die Forschungsfragen entspringen aus Vorstudien mit vier Stahlsystembauunternehmen, basierend auf jeweils mehrtägigen Aufenthalten in den Unternehmenseinheiten der Produktionsfertigung, Arbeitsvorbereitung, Planung, Disposition und Transport. Diese Vorstudien zeigen (in Kapitel 4), dass in allen betrachteten Unternehmen weder systematische Untersuchungsmethoden noch spezielle Leistungsindikatoren bekannt sind, mit denen Produktivitätsschwankungen im Stahlbaufertigungsprozess sichtbar würden. Auch innerhalb der Literatur gibt es derzeit keine speziellen Kennzahlenkonzepte für die Einzel- und Kleinserienfertigung des Stahlbaus, beispielsweise für die Kernbereiche des manuellen Heftens und Schweißens von Bauteilen. Visualisierung ist jedoch eine wesentliche Voraussetzung für das detaillierte Verständnis der Produktionsprozesse, für die richtige Produktionssteuerung und die Bewertung von Lean-Management-Methoden zur Prozessverbesserung.

Bei Gesprächen innerhalb der Vorstudien fiel zudem auf, dass häufig organisatorische Gründe als Schwierigkeit bei der Produktionsflusssteuerung genannt wurden. Gibt es Zusammenhänge zwischen Organisationsstrukturen und Produktionsprozessen? Solche Schwierigkeiten sind quantitativ und qualitativ schwer nachweisbar, da verschiedene Themenbereiche aus Produktion, Technik, Kommunikation und Psychologie verknüpft sind. Gleichzeitig sind diese Punkte sehr erfolgsrelevant für Projekte. Deshalb wird innerhalb der Forschung der Ansatz verfolgt, sowohl mittels einer detaillierten Prozessanalyse, als auch anhand einer standardisierten Organisationsbefragung solche Zusammenhänge und Muster in den Produktionsprozessen zu untersuchen.

Der **Betrachtungsrahmen** bezieht sich auf die Stahlsystembaufertigung als Schnittstelle zwischen fertiger Industrie, projektorientierter Bauindustrie und Handwerk. Dies ist in Abbildung 1.1 in Form einer Supply-Chain (Versorgungskette) dargestellt. Der Stahlsystembau in dieser Zwischenposition zählt offiziell zum Baugewerbe [Sta-‘07], und die meisten Stahlbaubetriebe in Deutschland entstanden aus expandierenden Schlossereibetrieben. Diese Unternehmen sind langsam gewachsen und zeigen heute noch viele Merkmale von Handwerksbetrieben. Im Stahlsystembau werden standardisierte Rohmaterialien (Träger, Balken, Platten) zu Systemmodulen ortsgebunden in einer Werkshalle an einem Produktionsstandort umgewandelt, und anschließend als Einzelabschnitte zur Endmontage auf Baustellen transportiert. Die Produkte des Stahlbaus sind neben Industriehallen

und Parkhäusern auch Kraftwerke (Kesselbau), Stahlbrücken und viele weitere große und kleine Stahlkonstruktionen.

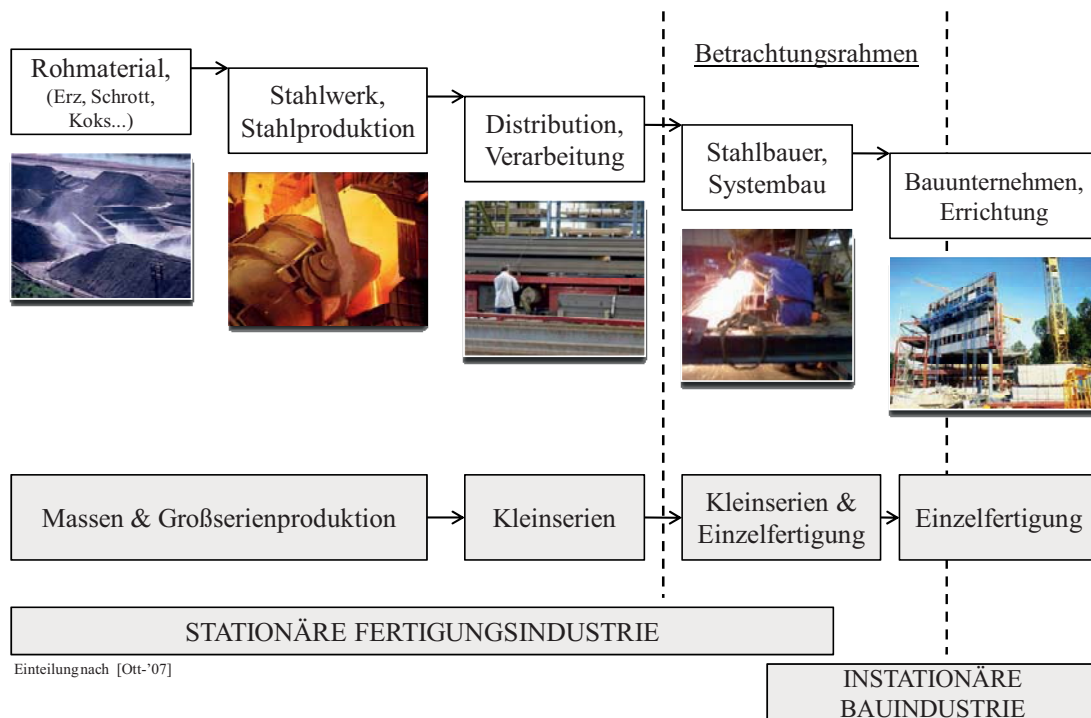


Abbildung 1.1. Supply-Chain: Stahlproduktion-Fertigung-Bau

Die **Fertigende Industrie** wird als stationär bezeichnet, wenn sich die Produktionsstätte an einem festen Standort befindet. Konsum- und Stückgüterindustrie, Rohstoffindustrie und sämtliche andere Produktionsindustriestrukturen können ebenfalls dazu gezählt werden [Ott-'07]. Als **nicht-stationäre projektorientierte Industrie** wird hier das Bauhauptgewerbe bezeichnet, typisiert durch einzelne Projekte, die als Unikate ausgebildet sind, und deren Produktions- und Wertschöpfungsprozesse jeweils an einem anderen Ort entstehen. Dabei sind die Logistikprozesse im Bauhauptgewerbe zum entstehenden Bauobjekt hin orientiert. Das Objekt hat einen Einzelobjektcharakter und ist als Produkt (Straße/Kraftwerk/Brücke/Bauobjekt...) anschließend ortsgebunden [Geh-'06b].

Die Fertigende Industrie hat, durch die Ortsgebundenheit und häufig sich wiederholende Prozesse, leichter die Möglichkeit, eine feste Reihenfolge der einzelnen Abläufe festzulegen. Wenn Prozesse beschrieben und definiert sind, kann eine Standardisierung und anschließende Optimierung stattfinden [Ott-'07]. Die standortorientierte Baustellenmontage erschwert eine Festlegung und Standardisierung von Montageprozessen und erfordert eine größere Flexibilität in Planung und Ausführung. Trotz verschiedener Rahmenbedingungen liegt allen produzierenden Industriezweigen dasselbe Ziel der nachhaltigen Gewinnmaximierung zu Grunde. Dies kann mittels

Durchsatzsteigerung (an Produkten, Projekten oder Dienstleistungen) erreicht werden, durch Reduktion von Kapitaleinsatz (Bestände) oder durch Senkung der operativen Kosten [Gol-'90][Gol-'08]. Dazu bieten Lean-Management-Methoden wesentliche Möglichkeiten der Verbesserung und Potentialerhebung [Wom-'03] [Pet-'09].

In der Automobilindustrie wurden Methoden des Lean-Managements zur Produktionsoptimierung bereits erfolgreich umgesetzt [Rot-'09][Pet-'09][Wie-'05]. Dieser Ansatz ist im Stahlssystembau neu. Abgesehen von einer veröffentlichten Fallstudie der Baustellenabläufe im Stahlbau [Die-et-al-'04] gibt es noch keine Übertragungsuntersuchung auf den Bereich des Stahlbaus, und nur sehr wenig Untersuchungen zur Bewertung und Umsetzung von Lean-Methoden in Einzelfertigungsbetrieben.

In Vorstudien in Stahlbauunternehmen wurde jedoch eine deutliche Abwehrhaltung gegenüber der Einführung von Lean-Management-Methoden zur Prozessverbesserung bemerkt, die sich in der Formulierung eines befragten Werksleiters ausdrückt:

*„Solche Methoden sind zwar in der Serienfertigung der Automobilindustrie anwendbar, aber nicht im Stahlbau. Hier ist jedes Projekt anders, die Produktionszeiten sind auftragsabhängig und so unterschiedlich. Dazuhin befindet sich der Stahlbau noch nicht in der Form einer Serienfertigung.“*

Was genauer hinter solchen Argumenten liegt, d.h. wie hoch die Produktionsschwankungen tatsächlich sind und wie viele Anteile an Bereitstellungszeiten im Produktionsprozess im Detail vorliegen, ist in keinem der Unternehmen bekannt. Duggan sagt hierzu [Dug-'02]: *„Before we can eliminate waste, we must be able to see it. If we can identify waste, we can target it for elimination. If we can't see it, it will remain.“*

Folglich besteht ein wesentlicher Schritt der Forschungsarbeit in systematischen Messungen und Datenaufnahmen der Produktionssysteme und der darin befindlichen wertschöpfenden und nicht wertschöpfenden Prozesszeiten<sup>1</sup>. Da die Auswahl und Umsetzung von Lean-Methoden einen längeren Zeithorizont erfordert, werden die Untersuchungen und Empfehlungen bezüglich einiger quantifizierbarer Lean-Prozessverbesserungen rechnerisch innerhalb von DES-Simulationen durchgeführt.

---

<sup>1</sup> Als wichtiger Grundsatz gilt nach Rother [Rot-'09], dass bei solchen Untersuchungen das Produktionssystem mit dem Fokus auf dem Prozess untersucht wird, nicht den Mitarbeitern (diese bleiben anonym). D.h. nicht wie bei einer Multimomentanalyse (in der die Mitarbeiter und deren Wartezeiten erfasst werden) gilt es hier, den Produktionsprozess zu messen, also die Umwandlung des Materialflusses zu verfolgen, vom Wareneingang bis zum Einbau auf der Baustelle.



## 1.4 Struktur der Arbeit

Die verschiedenen Bausteine der Arbeit gliedern sich in zehn Kapitel. Innerhalb des ersten einleitenden Kapitels werden die Motivation, die Zielsetzung, die Forschungsfragen, die Hypothesen, der Bezugsrahmen und die Relevanz der Arbeit dargelegt. Kapitel zwei und drei bilden die Literaturrecherche, beginnend mit dem Wissensstand an Theorie und Methoden der Prozessanalyse (Kapitel 2). Diese beinhalten als Kernkonzepte die statischen Prozessanalyseverfahren (Wertstromanalyse, Kennzahlen, Organisationsanalyse) und dynamische Verfahren (lineare Optimierung und Simulation). Darauf folgt der Wissensstand an Theorie und Praxismethoden zur Prozessverbesserung (Kapitel 3). Hier werden die Konzepte und Methoden des Lean-Managements aus der stationären Fertigungsindustrie erklärt, und den Theorien und Anwendungskonzepten von Lean in der Bauindustrie gegenübergestellt. Erstmals in der deutschen Literatur werden in dieser Arbeit auch die Unterschiede zwischen dem Last-Planner-System und dem Taktzeitmodell erklärt.

Kapitel vier umfasst die Industrievorstudien im Stahlbau, und erschließt die Ist-Situation dieser Industriebetriebe. Zudem sind die in der Literatur veröffentlichten Hinweise hinsichtlich Produktivität und Spezifika der Stahlbauproduktionsprozesse zusammengefasst. Daraus sind einige Wissenslücken und Forschungspunkte aufgedeckt, und in die anschließende Definition der Anforderungen des eigenen Lösungsansatzes integriert (Kapitel fünf).

Dieser eigene Analyseansatz ist in Kapitel 6 beschrieben, bestehend aus drei Teilen: der detaillierten Prozessmessung der ganzen Stahlbaukette (1), der Erstellung eines Kennzahlenkonzeptes (2) und einer dazu parallel durchgeführten Organisationsbefragung, zur Erfassung des Unternehmenskontextes (3).

Innerhalb zweier Fallstudien (Kapitel 7) sind gemessene Detaildaten zum Thema Prozessstetigkeit und Fluss erklärt und in unterschiedlichen Darstellungsformen werden die Fließbilder der gemessenen Produktionsprozesse gezeigt. Die beiden Fallstudien umfassen ein Stahlbauunternehmen der Kleinserienfertigung (Fallstudie 1) und ein Stahlbauunternehmen der Einzelfertigung (Fallstudie 2). Der Betrachtungsfokus liegt auf den dortigen Fertigungsabteilungen und deren Vernetzung mit den Abteilungen der Arbeitsvorbereitung, Design, Qualitätskontrolle und Logistik. Diese gemessenen quantitativen Daten aus Fallstudie 2 beinhalten neben der Stahlbaufertigung auch die Baustellenmontageprozesse und dienen deswegen auch zur Modellierung der Produktions- und Logistikprozesse innerhalb der Simulationsstudien.

Mittels eines diskreten ereignisorientierten Simulationsmodells werden in Kapitel 8 quantitativ die Anwendbarkeit und Effekte von einigen Lean-Methoden für die Einzel- und Kleinserienfertigung im Stahlbau untersucht.

Kapitel 9 enthält wesentliche Handlungsaspekte zur Umsetzung von Verbesserungsmethoden, basierend auf den Erfahrungen aus den durchgeführten Fallstudien, der Literatur zu Organisationsmanagement und Psychologie und aus einer zusätzlichen Expertenbefragung.

Die Ergebniszusammenführung, Validierung der Hypothesen mit abschließender Zusammenfassung und der Ausblick auf weiterführende, sinnvolle Forschungsuntersuchungen finden in Kapitel 10 statt.

Die Gesamtstruktur der Arbeit ist in Abbildung 1.2 dargestellt.

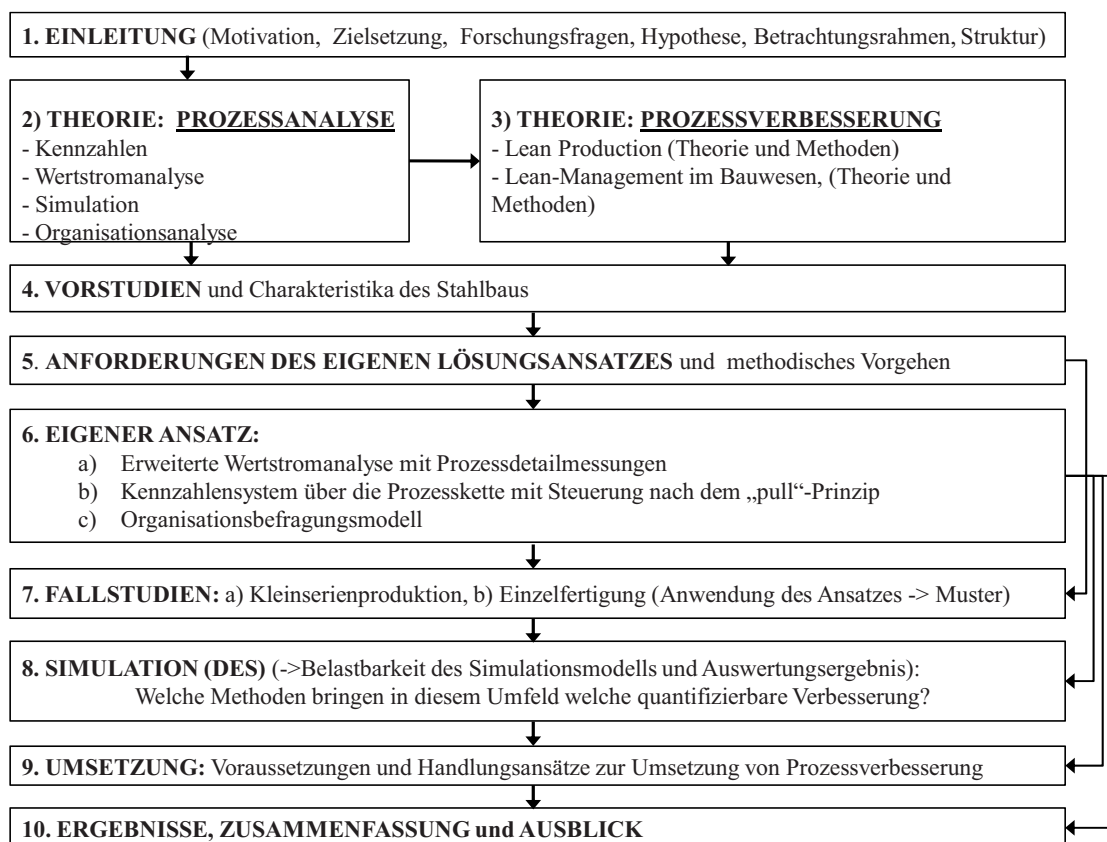


Abbildung 1.2. Struktur der Arbeit

## 2 THEORIE (TEIL A): PROZESSANALYSE

Kapitel zwei behandelt die wesentlichen Analysemethoden und derzeitigen Konzepte, um Produktionsprozesse und Organisationen zu untersuchen, darzustellen, zu verstehen und zu interpretieren. Dieses Kapitel ist unterteilt in (1.) statische Methoden und Werkzeuge der Prozessanalyse (KPIs, BPD, WSM), (2.) dynamische Analyse von Prozessen mittels Simulation sowie (3.) den Grundlagen der Organisationsanalyse. Prozessanalyse als Erfassung und Visualisierung von Produktionssystemen und deren Organisation bildet damit die Voraussetzung um prozessverbessernde Lean-Methoden bewerten zu können.

### 2.1 Werkzeuge zur Darstellung und statischen Analyse von Prozessen

Zu den statischen Analyse- und Darstellungsmethoden von Prozessen zählt die Wertstromanalyse (WSA) [Rot-‘04] und die Business-Process-Modelling-Notation (BPMN) mit dem Business Process Diagramm (BPD), als internationaler Standard für Geschäftsprozess-Modellierung [Whi-‘02][Ste-‘08]. Direkte Prozessvisualisierungs-Werkzeuge am Fertigungsort sind sogenannte Shop-Floor-Management Systeme. Die Critical-Path-Methode (CPM) und Vorgangspfeilnetzpläne (VPN) finden in Projekten der Bauplanung eine Anwendung, sind jedoch weniger für die Produktivitätsanalyse von sich wiederholenden Produktionsprozessen im Stahlbau oder der Einzelfertigung geeignet<sup>2</sup>.

#### 2.1.1 Kennzahlen

Kennzahlen als strategische Schlüsselfaktoren (Key-Performance-Indicator KPI) geben quantifizierbare Sachverhalte in konzentrierter Form wieder, mit der Funktion, schnell und aussagekräftig Informationen zu liefern [Wer-‘08][Rei-‘09]. **Absolute Kennzahlen** umfassen als Zahlentyp die ursprünglichen Zahlen (Bsp. Stückzahlen) und abgeleiteten Zahlen (Summen, Mittelwerte) [Wer-‘08]. **Relative Kennzahlen** sind Gliederungszahlen (Marktanteil), Beziehungszahlen (Umsatz pro Mitarbeiter) und Indexzahlen (Preisindex für Rohstoffe). Durch die Erfassung von Kennzahlen können Prozesse bewertet, und die Daten einem internen oder externen Benchmark-Verfahren unterzogen werden. Gleichzeitig ermöglichen Kennzahlen, Zielgrößen für die Prozesse vorzugeben [Rei-‘09], das heißt ein Kennzahlensystem ist auch ein Steuerungsinstrument.

Eine Vielzahl an Kennzahlen ist für die Produktion innerhalb der stationären Serienfertigungsindustrie entwickelt worden, wie z.B. die *Durchlaufzeit* = [Warenausgangstermin – Wareneingangstermin], die *Fertigungstiefe* = [Wertschöpfung x 100 / Umsatz], die *Wertschöpfung* =

---

<sup>2</sup> Weitere Informationen zu CMP und Vorgangs-Pfeil-Netzplänen sind in Anhang 2A beigelegt.

[*Eigenleistung / Anzahl Mitarbeiter*]<sup>3</sup>. Ein theoretisches Kennzahlensystem für die Baustelle wurde von Ott [Ott-‘07] entwickelt. Dieses findet bisher in der Bauindustrie keine Anwendung, da die Systematik in dieser Form noch nicht dem Grundsatz der Wertschöpfung hinsichtlich „*Erhebungsaufwand der Kennzahlen < Gewinn anhand der Kennzahlenerzeugung*“ entspricht.

Ein in anderen Industriesektoren gebräuchliches umfassendes Unternehmens-Kennzahlensystem ist die Balanced Scorecard (BSC) [Kap-‘92]. Dieses findet bisher im Rahmen der untersuchten Stahlbauunternehmen zur Produktionssteuerung der einzelnen Stationen aufgrund des Einzelfertigungscharakters und der variierenden Betrachtungseinheit ebenfalls keine Anwendung.

### 2.1.2 Value Stream Mapping und Wertstromdesign

Die Methode des Wertstromdesigns oder Value Stream Mappings entstand in der Fertigungsindustrie und ist zur Prozessanalyse sowohl für Bauprozesse als auch für stationäre Fertigungsprozesse geeignet [Rot-‘04]. Unter Wertströmen sind alle wertschöpfend und nicht wertschöpfenden Aktivitäten zu verstehen, die ein Produkt in der Fertigung durchläuft, wobei es um die Erfassung der Material-, und Informationsflüsse geht [Ott-‘06]. Für das Bauwesen ist die Vorgehensweise der Wertstromanalyse (WSA) nach Ott wie folgt definiert: Auswahl der Gewerke und Prozesse, Auswahl der Analyseebene<sup>4</sup>, Ermittlung des Ist-Zustandes und anschließend des Soll-Zustandes. Zur Komplexitätsreduzierung am Produktionsort wird zunächst mit der dortigen Prozessebene begonnen. Danach kann die Analyse auf die gesamte unternehmensübergreifende Wertschöpfungskette ausgedehnt werden. Zur Darstellung des Ist-Zustandes werden möglichst alle Informationen von der analysierenden Person selbst gesammelt und einheitliche Symbole verwendet. Das Zeichnen des Ist-Wertstromdesign geschieht von Hand und stromaufwärts [Rot-‘04][Wie-‘05][Ott-‘08]. Durch die Darstellung des Ist-Zustandes sollen alle Prozessschritte und projektrelevanten Parameter wie Durchlaufzeit (DZ), Prozesszeit (PZ), Rüstzeiten (RZ) und Wartezeiten (WZ), aber auch die Anzahl der Mitarbeiter aufgenommen werden. Die Durchlaufzeit ist die Zeitspanne der Produktherstellung einer Materialeinheit vom Materialeingang bis zum Versand der fertiggestellten Produkteinheit. Diese liegt im Bauwesen typischerweise im Zeitbereich von Wochen [Bau-‘05][Ott-‘08]. Die Prozesszeit gilt als die Wertschöpfungszeit oder vereinfacht als die Bearbeitungszeit, womit der rein wertschöpfende Zeitanteil gemeint ist, der in Abbildung 2.1 im Minutenbereich liegt.

---

<sup>3</sup> Eine Übersicht der gängigen Fertigungskennzahlen für Produktion und Logistik ist in Anhang Kapitel 2A beigefügt.

<sup>4</sup> Konzentration auf Produktfamilien und einzelne Prozesse. Hierbei kann ein Prozess eine Baustelle, ein Gewerk oder ein Vorgang sein.

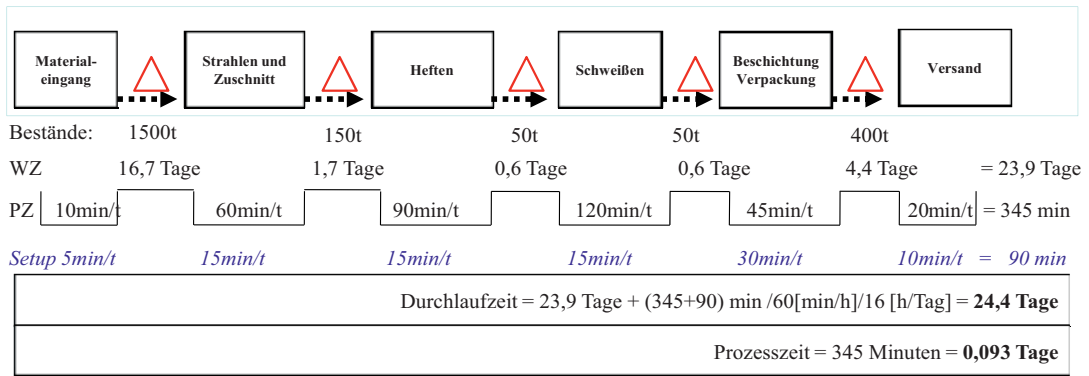


Abbildung 2.1. Beispiel von Prozess- & Durchlaufzeit eines Stahlbauprozesses

Die klassische Wertstromanalyse ist an Produktionsprozesse in der Fertigung angelehnt. Sie wird zur Übersicht von Prozessschritten innerhalb einer Funktion angewendet oder zur Darstellung des Gesamtzusammenhangs zwischen Funktionen (Bsp. Abb.2.2). Es sind keine speziellen Softwareprogramme<sup>5</sup> für die Durchführung von WSA notwendig, wobei die WSA als Visualisierungsmethode nur für einfache Prozesse oder für Gesamtzusammenhänge auf der Funktionsebene geeignet ist [Ott-'06].

<sup>5</sup> Als Werkzeuge dienen typischerweise zunächst nur Papier und Stift, anschließend werden die Skizzen meist in MS-Powerpoint oder Visio oder andere Zeichenprogramme in Dokumente übertragen.

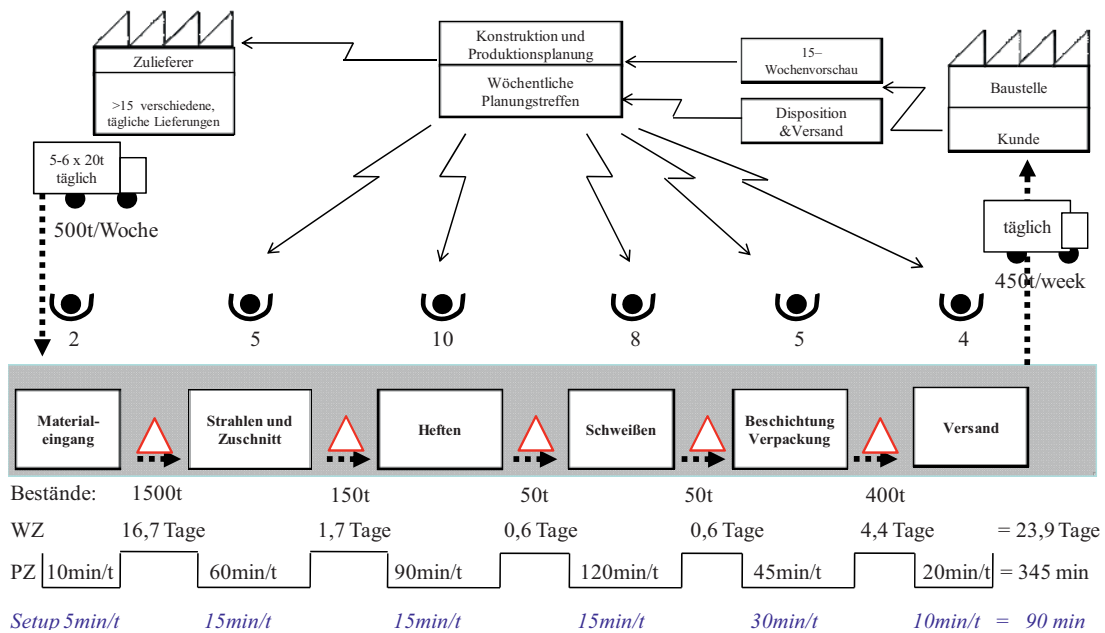


Abbildung 2.2. Beispiel einer Wertstromanalyse im Stahlbau; vorstudienbasiert

Die modifizierte Wertstromanalyse beinhaltet eine detaillierte Abbildung der Geschäftsprozesse mit allen beteiligten Funktionen und Schnittstellen. Die Tätigkeiten der Geschäftsprozesse können weiter unterteilt werden nach „wertschöpfend“ (1), „nicht wertschöpfend aber notwendig“ (2) und „Verschwendung“ (3) [Geh-‘06a][Ott-‘06]. Ein wesentliches Ziel bei der Durchführung der WSA ist, zusammen mit den Mitarbeitern die qualitative, zeitliche und organisatorische Verschwendung zu minimieren. Der Soll-Zustand ist als iterativer Prozess anzusehen, mit der möglichen Zielsetzung des kontinuierlichen Flusses [Lik-‘04][Ott-‘06][Rot-‘09]. In einer einfachen Auswertungsprozedur sollen die Prozessstörungen identifiziert, dokumentiert und anschließend über Sofortmaßnahmen eliminiert werden [Ott-‘06]. Eine genauere Vorgehensweise zur Ermittlung solcher Prozessstörungen im Bauwesen und einer anschließenden Eliminierung derselben ist jedoch in den erwähnten Ansätzen der Literatur nicht beschrieben [Ott-‘08][Wie-‘05][Rot-‘04]. Da die WSA eine zeitlich fixierte Momentaufnahme der Produktionsprozesse wiedergibt, sind reale Daten über Lagerhaltung und Schwankungen der Nettoprozesszeiten nicht darstellbar und allenfalls als Mittelwerte abgebildet. Im Stahlbau beispielsweise sind innerhalb der Produktion keine Aufwandswerte und Schwankungen bezüglich Netto-Transportzeiten, Inspektionszeiten und reinen Prozesszeiten erfasst. Auch die Unternehmenshintergründe und -entwicklungen in Bezug auf den Produktionsprozess, die Planung, die Bestellungen und das Personal, sind mit der WSA oder der erweiterten WSA nicht ersichtlic.

### 2.1.3 Business Process Modeling Notation (BPMN)

BPMN steht für „Business Process Modeling Notation“, wurde von White 2002 entwickelt, und ist durch einen internationalen Arbeitsausschuss zu einer einheitlichen Darstellungssprache von Unternehmensprozessen aufgegriffen worden [Whi-‘02]. Ziel ist, eine Prozessmodellierungs-Notation zu erstellen, die von allen Benutzern direkt verstanden werden kann, d.h. von Unternehmensanalytikern bei der Prozesserstellung, aber auch von technischen Entwicklern, die für die Umsetzung neuer Produktions- und IT-Prozesse verantwortlich sind [Whi-02]. BPMN soll eine Standardisierung schaffen, um Prozessanalyse, Prozessdesign und Prozess-Implementierung einheitlicher zu verbinden. Zuvor wurden Geschäftsprozessmodelle typischerweise von kaufmännischen Geschäftsleuten entwickelt. Dadurch bestand eine Entkoppelung von den technisch realen Prozessdarstellungen, die für die eigentliche Systemimplementierung und Ausführung notwendig sind. Diagramme in BPMN-Standardnotation heißen Business Process Diagramm (BPD) und enthalten vier Elemente [Whi-02][Ste-‘09]:

- a) *Fließ-Objekte* (connecting objects, oder Knoten), mit den dreierlei Arten von Knoten: Ereignissen, Aktivitäten und Gateways (Entscheidungspunkte oder zusammenführende Kontrollflüsse).
- b) *Verbindende Kanten*, mit drei Kantentypen, d.h. Ablaufkette (sequence flow), die die Reihenfolge einer Aktivität bezeichnet, Mitteilungsflüsse (Message flow) und Verbindungen (associations), um Texte oder andere Gegenstände mit Fließobjekten zu verbinden.
- c) *Becken* und *Bahnen* (pools und swimlanes) dienen als Darstellungsbereiche für Akteure und Systeme. Ein Becken stellt einen Akteur (Prozessteilnehmer) innerhalb eines Prozesses dar. Unter einer „Bahn“ ist die horizontale Unterteilung zu verstehen, die sich über die ganze Länge eines Beckens erstreckt. „Bahnen“ dienen zum Organisieren und zur Kategorisierung von Aufgaben.
- d) *Artefakte*, auch als „weitere Elemente“ bezeichnet, können dem Prozess in der Darstellung zugefügt werden. Hierin unterscheidet sich BPD von WSA, da innerhalb der Darstellung eine Softwareverknüpfung vorhanden ist, wodurch Daten und Dokumente an einzelne Objekte elektronisch geheftet werden können.

Abbildung 2.3 zeigt einen einfach modellierten Geschäftsprozess nach BPDN-Notation.

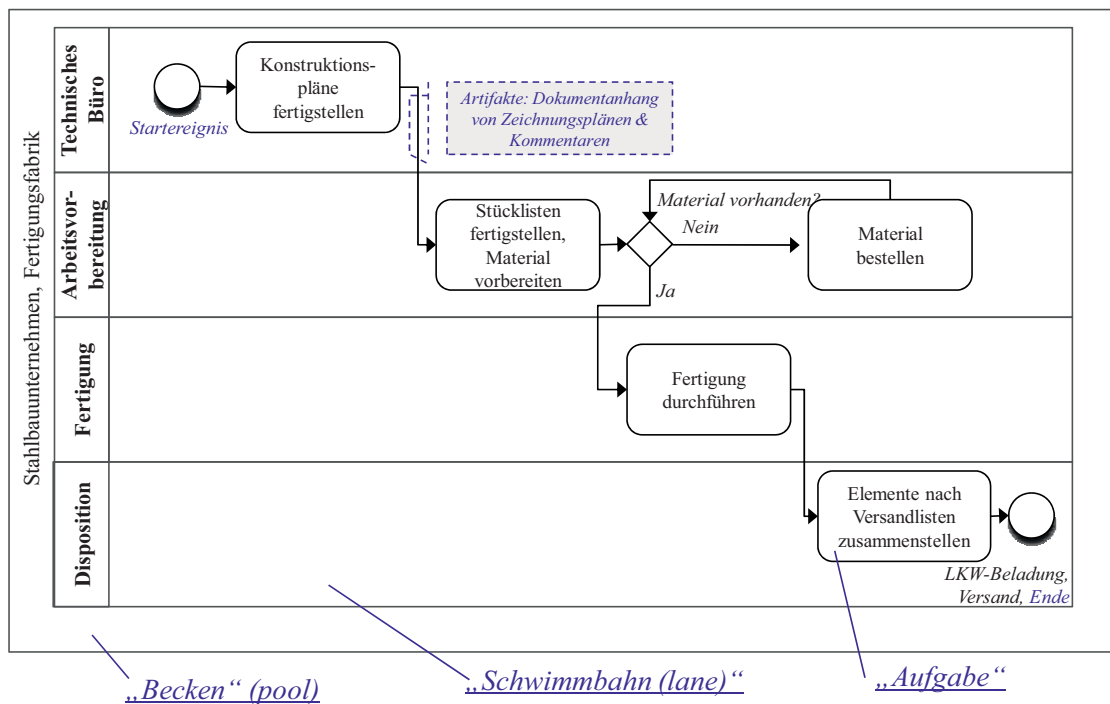


Abbildung 2.3. BPMN-Darstellung (Becken, Bahn, Aufgaben, Artefakte)

Ähnlich wie bei der WSA bestehen beim BPD außerhalb der Prozessdarstellung weder Anweisungen noch Handlungsvorschläge, um mittels der Diagramme beispielsweise Prozessschwankungen darzustellen, Engpässe zu ermitteln, oder Prozesse zu verbessern. BPMN dient zur Unterstützung der Abbildung oder der Entwicklung von Prozessen. Für Produktionsanalysen und Prozessmessungen sind BPMN-Modelle in der Regel unterspezifiziert und abstrahieren ausführende Details.

## 2.2 Dynamische Analyse mittels Linearer Optimierung und Simulation

Simulation wird im allgemeinen Sprachgebrauch als das Nachbilden einer realen oder fiktiven Situation in einer unwirklichen Umgebung verstanden. Der Zweck einer Simulation ist das Untersuchen von Eigenschaften und Auswirkungen an einem Modell, um daraus Erkenntnisse für ein vorhandenes oder geplantes System zu erhalten [Kut-‘08]. Simulation ist im Gegensatz zum Wertstromdesign das Nachbilden von **dynamischen** Prozessen in einem Modell. Die VDI Richtlinie 3633, Blatt 1, 1993 definiert Simulation als: „die Nachbildung eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierfähigen Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind.“ Des Weiteren definiert die Simulation die Vorbereitung, Ausführung und Auswertung sorgfältig gelenkter Experimente innerhalb eines Simulationsmodelles.



Die Durchführung einer Simulation erfordert einen höheren Detaillierungsgrad als das Wertstromdesign und benötigt in der Regel unterstützende Softwareprogramme, die auf unterschiedliche Anwendungsausrichtungen ausgelegt sind, z.B. für die strategische Konzeption im Anlagenbau, oder für verschiedene Arten von Planung, Optimierung und Organisation. Tabelle 2.1 beschreibt unterschiedliche Anwendungen von Simulationen, dazugehörige Methoden, und mögliche Softwareunterstützungsprogramme [Kut-'08].

**Tabelle 2.1. Methoden, Werkzeuge und Ausrichtung der Simulation [Kut-'08]**

<b>Ausrichtung</b>	<b>Anwendung</b>	<b>Methode</b>	<b>Werkzeug / Software</b>
<b>Strategische Konzeption:</b>	Optimierung von Supply Chain Netzwerken	Kostenvergleichsrechnung	Orion-PI Value Network Opt
<b>Planung</b>	Materialfluss- und Layoutplanung	CAD / Sankey-Analysen	AutoCAD, MATFLOW
	Simulation von Werken & Anlagen	Dynamische Simulation	Siemens-Plant Simulation
	Montage und Anlagenplanung	Virtual Human Model / 3D	Siemens-oM-Workplace
	3D Visualisierung	Building Information Modelling	REVIT* BUILDING
<b>Optimierung und Organisation</b>	Materialflussoptimierung	Sankey-Analysen	MATFLOW
	Systematische Schwachstellenanalyse	MTM Studien, Videoanalysen	Office-Access, ifp Planungsboard
	Maßnahmenbewertung	Simulation, Benchmarks	Siemens- Plant Simulation

Dynamische Simulation erbringt im Vergleich zum Wertstromdesign eine wesentlich höhere Planungssicherheit, erfordert aber durch den größeren Detaillierungsgrad und die notwendige Datenerhebung auch einen höheren Aufwand. Weig (2008) ordnet die beiden wesentlichen Werkzeuge Simulation und Wertstromdesign in den zeitlichen Planungs- und Bauprozess ein, wie in Abbildung 2.4 dargestellt [Wei-'08]. Auf der x-Achse sind der zeitliche Verlauf, sowie die einzelnen Projektentwicklungsschritte aufgeführt, die y-Achse beschreibt die prozentuale Höhe der festgelegten Kosten. Bis zur Fertigstellung der Grobplanung müssen weitreichende Projektentscheidungen unter noch hoher Unsicherheit getroffen werden, der „Korridor der Planungsunsicherheit“ ist sehr groß. Simulation soll aufgrund des erforderlichen

Detaillierungsgrades bei Bauprojekten deshalb erst in der Feinplanungsphase erfolgen, wohingegen Wertstromdesign zu einem früheren Zeitpunkt der Grobplanung sinnvoll eingesetzt werden kann [Wei-‘08]. Die CPM-Methode bezieht sich mehr auf die Ausführungsplanung, da es hierbei im Wesentlichen um die zeitliche Kontrolle der Planung und Ausführung von Bauabläufen geht, und weniger um den Produktionsprozess per se.

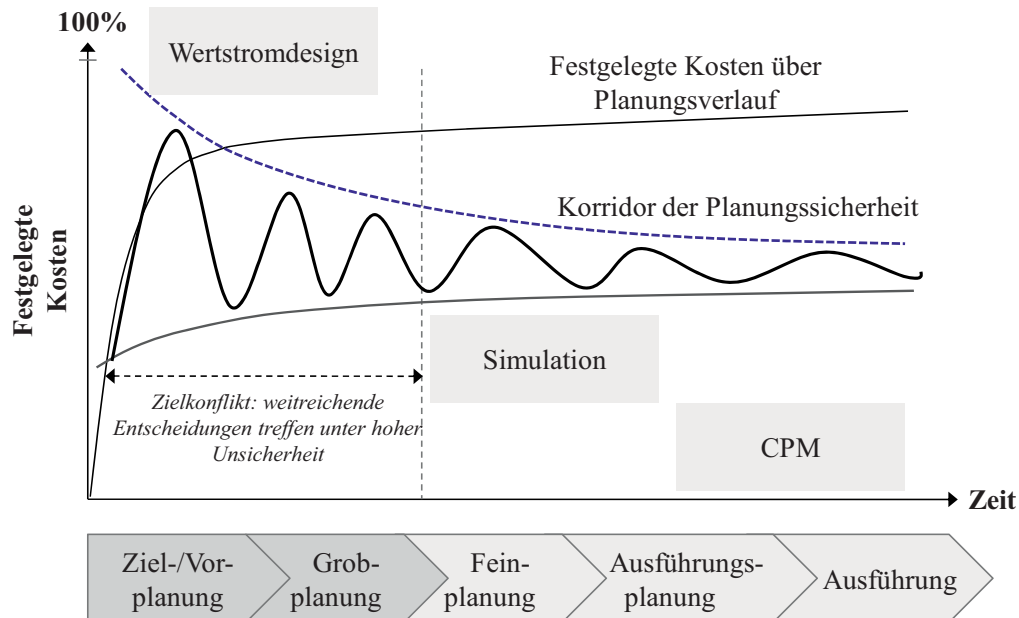


Abbildung 2.4. Zeitliche Einordnung der Prozessanalysewerkzeuge [Wei-‘08]

Die Vorgehensweise zur Entwicklung einer Simulationsstudie gliedert sich als zyklisch-evolutionärer Prozess in drei Hauptbereiche: die definierte Vorbereitung, die Ausführung und die Auswertung. Ein typisches Simulationsvorgehen besteht aus folgenden Schritten [Sps-‘09]:

1. Problem und Zieldefinition festlegen
2. Systemanalyse beschreiben
3. Datenbeschaffung
4. Modellbildung
5. Modellvalidierung
6. Experimentieren und Analysieren
7. Ergebnisauswertung
8. Empfehlung

Voraussetzung für eine aussagekräftige Simulationsanalyse sind belastbare Eingangsdaten der realen Prozesse.

### 2.2.1 Lineare Optimierung (LO)

Die **Lineare Optimierung** wird zum Beispiel in der Verfahrensforschung eingesetzt, und dient zunächst nicht primär der Prozessanalyse, sondern als Unterstützungswerkzeug zur richtigen qualitativen und quantitativen Entscheidungsfindung bei Handlungsalternativen. Die Lineare Optimierung stammt aus dem Operations-Research und beinhaltet die Optimierung linearer Zielfunktionen über eine Menge, die durch lineare Gleichungen und Ungleichungen eingeschränkt ist. LO ist eine konvexe Optimierungsproblematik, die mit Hilfe des Simplex-Verfahrens (nach Dantzig 1947) gelöst werden kann. Die Lineare Optimierung wird beispielsweise für die Bestimmung von Routings für Verkehrsanfragen in Verkehrsnetzen verwendet, oder auch in der Produktionsplanung bei gleichförmigen Produkten und geregelten Maschinenbelastungen, zur Errechnung der optimalen Maschinen-Produktverteilung.

Mathematisch formuliert sind bei einer Linearen Optimierung eine Matrix  $A \in \mathbb{R}^{m,n}$  und zwei Vektoren  $b \in \mathbb{R}^m$  und  $c \in \mathbb{R}^n$  gegeben. Der zulässige Lösungsvektor  $x \in \mathbb{R}^n$  darf keine negativen Einträge haben und muss die lineare Bedingung der Ausgangsmatrix erfüllen:

$$\begin{array}{rcl} a_{11}x_1 + \dots & a_{1n}x_n & \leq b_1 \\ a_{21}x_1 + \dots & a_{2n}x_n & \leq b_2 \\ a_{m1}x_1 + \dots & a_{mn}x_n & \leq b_m \end{array}$$

Ziel ist es, unter allen zulässigen Lösungsvektoren einen zu finden, der das Skalarprodukt  $c^T x = c_1x_1 + \dots + c_nx_n$  maximiert. Je höher die Anzahl an Variablen, desto schwieriger wird die Anwendung der linearen Optimierung. Komplexe und kompliziert zu analysierende Prozesse können oft nicht durch mathematische Lösungsoptimierungsprozesse direkt abgebildet werden, oder nur mit einem sehr hohen Ressourcenaufwand. In dafür entwickelten Optimierungsmodellen sind alle relevanten Faktoren enthalten, wie die Zielfunktion, die Randbedingungen und die Zielbeschreibung. Je detaillierter das Modell ist, umso mehr Rechenkapazität wird benötigt. Daher wird zur Produktionsprozessuntersuchung und Variantenevaluation immer häufiger die Diskrete Ereignisorientierte Simulation verwendet.

### 2.2.2 Diskrete Ereignisorientierte Simulation (DES)

Die **Diskrete Ereignisorientierte Simulation** basiert auf dem Prinzip der schrittweisen Betrachtung von Eingangs- und Ausgangsereignissen. Bei DES treten die Zustandsänderungen der Modellkomponenten nicht kontinuierlich, sondern nur zu bestimmten Zeitpunkten auf. Die DES-Simulation behandelt also nur diejenigen Zeitpunkte (Ereignisse), die für den Verlauf der

Nachbildung von Bedeutung sind. Die Zeiten zwischen den Ereignissen werden übersprungen und die Ereignisse selbst steuern das Modell (vgl. Abbildung 2.5 [Sps-'09]).

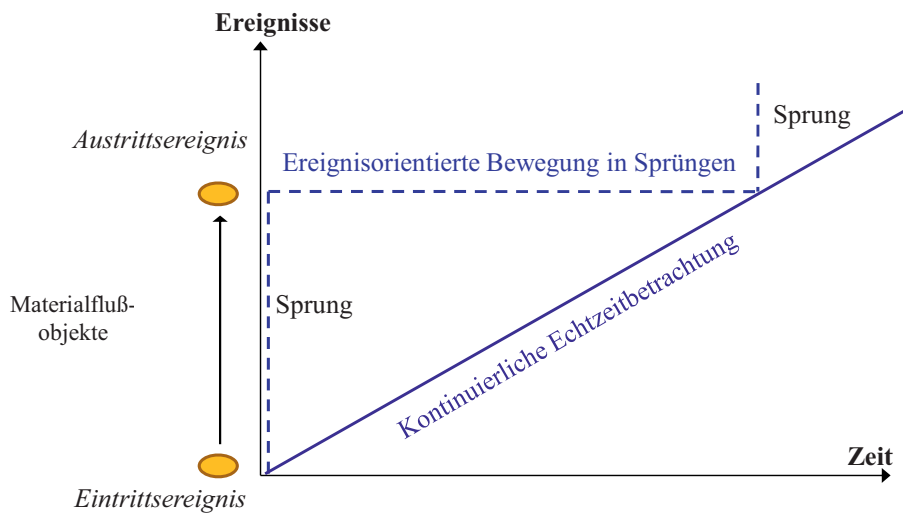


Abbildung 2.5. Diskrete ereignisorientierte und kontinuierliche Betrachtung

DES bietet gute Anwendungsmöglichkeiten für komplexe Netzwerke mit vielen Variablen. Diese Art der Simulation basiert auf einfacheren mathematischen Grundformeln als die Lineare Optimierung oder kontinuierliche Simulationsmodelle. DES bietet ebenfalls eine größere Anwendungsbreite und eine flexiblere Ausrichtung für dynamische Prozesse und standardisierte Variableneingangsgrößen. Auch stochastische Eigenschaften bezüglich der Eintrittswahrscheinlichkeit können mit DES-Simulationsprogrammen geeigneter integriert werden als mit Linearer Optimierung.

### 2.2.3 Kontinuierliche Simulation

Im Gegensatz zur ereignisorientierten Simulation beschreiben **kontinuierliche Modelle** (DESS<sup>6</sup>) mittels Differenzialgleichungen das modellierte System, und ermöglichen damit beispielsweise bei hydrodynamischen Modellierungen die Analyse von Fließgeschwindigkeiten, Wirbel und Durchflussgrößen. Im naturwissenschaftlichen und technischen Anwendungsbereich stehen hinter DESS-Simulation mathematisch komplexe Berechnungen, die vor allem in der Strömungsmechanik Anwendung finden. Auch in den Sozialwissenschaften und der Psychologie werden kontinuierliche Modelle verwendet, wobei hier die Identifikation der Gleichungen sehr diffizil ist. Nach Cellier

<sup>6</sup> DESS = Differential Equation Specified System

(1991) besteht ein kontinuierliches DESS-Modell aus der Definition der Eingabemenge, Ausgabemenge, Zustandsmenge, sowie aus der Funktion der Veränderungsrate und der Ausgabefunktion [Cel-‘91]. DESS findet bisher in der Prozessanalyse und Produktionsverbesserung der Fertigungsindustrie (Stückgut) kaum Anwendung. Dies ist u. a. mit dem hohen mathematischen Rechenaufwand verbunden. Die hybride Simulation ist eine Mischung aus der diskreten ereignisorientierten Simulation und der kontinuierlichen Simulation. Entsprechende Modelle und Softwareprogramme sind bisher aber nur ansatzweise für die Fertigungsindustrie entwickelt [Dic-‘07].

### **Fazit-Box 1: Prozessvisualisierungswerkzeuge und Simulation**

Ohne Visualisierung der Ist-Situation von Prozessen kann keine Verschwendung quantitativ erfasst, und Verbesserung durch Lean-Methoden wahrgenommen werden. Die derzeit wesentlichen Werkzeuge zur statischen Betrachtung und Darstellung von Produktionsprozessen sind Kennzahlensysteme, die Wertstromanalyse (WSA) und die erweiterte Wertstromanalyse in Zusammenhang mit der Business-Process-Modelling-Notation (BPMN). Die WSA ist hilfreich zur Darstellung und Analyse der Ist-Situation von Gesamtprozessen und zur Definition eines Zielzustandes. Zusätzlich ist die Berechnung des Durchflusses basierend auf Mittelwerten möglich. Prozessschwankungen sind mit WSA aber nicht darstellbar und zur Implementierung des Sollzustandes keine Konzepte vorhanden. BPMN als einheitliche „Sprache“ zur Geschäftsprozessmodellierung dient zur Unterstützung der Abbildung oder der Entwicklung von Prozessen und beinhaltet dabei auch Softwareelemente zur Informationsverknüpfung mit anderen Dokumenten. Zur dynamischen Produktionsanalyse sind BPMN-Modelle i. d. R. unterspezifiziert.

Diskrete Ereignisorientierte Simulation (DES) ist für die Produktionsanalyse und Optimierungsberechnung von quantifizierbaren Aspekten innerhalb der Stahlbauproduktion aufgrund des Detaillierungsgrades und der Berücksichtigung von Prozessschwankungen mit weniger Rechenaufwand sinnvoller einsetzbar als Lineare Optimierungsmethoden (LO). Ziel von DES ist, rechnerisch den Ist-Zustand eines Produktionssystems darzustellen, und dann Verbesserungsvarianten zu ermitteln, indem zum Beispiel Durchsatz- und Bestände auf die Effekte von Lean-Management-Methoden untersucht werden. Simulationsstudien sind im Vergleich zu Wertstromanalysen detaillierter und kostspieliger.

## 2.3 Organisationsanalyse

Im Gegensatz zu den beschriebenen statischen Prozessanalysewerkzeugen und zur Simulation als Nachbildung von dynamischen Prozessen, basiert die Organisationsanalyse auf empirischen Untersuchungen, deren Ergebnisse meist qualitativen Charakters sind. Organisationsanalysen liefern Situationsbeschreibungen, Erklärungen oder Prognosen [Tit.et.al-'08]. Die meisten Produktionsprozessanalysen sind auf Leistungsermittlung beschränkt und beziehen den Kontext der Organisation nicht in die Untersuchungen mit ein. Ho (2002) fordert mehr Untersuchungen der Zusammenhänge zwischen dem Organisationskontext und Produktionsprozessen [HoD-'02]: *“The majority of current empirical studies of Supply-Chain-Models, regardless of how sophisticated analytic techniques have been applied, focus only on the practices-performance-relationship, and pay little attention to the context under which production practices are implemented. Context is the setting in which organizational practices are established and applied. Organizational practices are contextually embedded in a way that the possibilities for their emergence and functioning are created or constrained by the context. Few studies focus on this context-performance relationship.”* Hierin ist begründet, weshalb die Untersuchung des Organisationskontextes bewusst mit der Analyse der Produktionsprozesse verbunden wurde.

### 2.3.1 Typen von Organisationsanalysen

Die Organisationsanalyse ist ein Prozess, bei dem eine interessierende Frage mittels empirischer Methoden betrachtet wird [Tit.et.al-'08]. Eine systematische Realitätsbetrachtung innerhalb einer Organisationsanalyse umfasst die Beschreibung von Merkmalen, Bedingungen, Strukturen und Prozessen innerhalb von Organisationen. Als Forschungsfrage könnte der Organisationsanalyse zum Beispiel zugrunde liegen, ob es Zusammenhänge zwischen gewissen Organisationsstrukturen und Leistungsgaps gibt oder welche Sichtweisen und welches Wissen die Mitarbeiter zum Thema „Kontinuierliche Verbesserung“ vertreten.

Der sozialwissenschaftliche Hintergrund fordert, dass Organisationsanalysen formalisierte Beziehungen untersuchen [Tit.et.al-'08]. Untersuchungsgrenzen klar abzustecken ist dabei eine wichtige Voraussetzung, um aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen. Gleichzeitig fordert Titscher (2008) aber auch, dass Organisationsanalyse nicht auf die betriebswirtschaftliche und technische Sichtweise reduziert werden soll, sondern unternehmenspolitische Machtbeziehungen mitberücksichtigt. Wenn die Analyse keine Interaktionen dieser Machtverhältnisse zum Thema hat, besteht die Gefahr, dass mit einem Tunnelblick auf Produktionsoptimierung fokussiert wird und dabei wesentliche, auf Verhaltensmuster basierende Ergebnisfaktoren außer Acht gelassen werden [Tit.et.al-'08]. Innerbetriebliche Prozesse sind im Zusammenhang mit den (Macht-) Beziehungen im

relevanten Umfeld der Organisation zu sehen, wonach das folgende Untersuchungsdiagramm aus unterschiedlichen Untersuchungsperspektiven und unter Berücksichtigung politischer Aspekte entwickelt wurde (Abbildung 2.6) [Tit.et.al-'08].

		Politische Prozesse werden in der Analyse berücksichtigt	
		Ja	Nein
Analyse wird in der Organisation zum politischen Mittel	Ja	<i>Bestätigung der Änderungsmöglichkeiten</i> 1	<i>„unreflektierte Studie“</i> 2
	Nein	<i>„kritische Studie“</i> 3	<i>Rein sachbezogene Studie</i> 4

Abbildung 2.6. Analyse mit Berücksichtigung politischer Prozesse, [Tit-'08]

Es gibt laut Tischer et. al. (2008) nicht „die Organisationsanalyse“ oder den „richtigen Weg“. Vielmehr bestehen verschiedene typisierbare Analysedesigns, in Abhängigkeit von den Erkenntnisinteressen und der Positionierung der Analyseperson. Einer Organisationanalyse können dreierlei Durchführungsmotive, d.h. Erkenntnisinteressen zugrunde liegen:

- a) **Deskription**, d.h. die Beschreibung einer Situation. Hierbei soll die Frage beantwortet werden „Was ist überhaupt los?“. Antworten können sowohl quantitativ, über statistische Verteilungen, als auch qualitativ ausfallen.
- b) **Erklärung**, d.h. das Ziel einer Organisationsanalyse ist, eine Erklärung für einen Sachverhalt oder eine bestimmte Situation zu finden. Laut Tischer (2008) sollten Organisationsanalysen über die reine Beschreibung hinausgehen und Erklärungen liefern, um weniger der Kritik des „Unhinterfragten“ ausgesetzt zu sein.
- c) **Prognose**, d.h. mittels der Analyse soll eine zukünftige Situation eingeschätzt werden. Beispiel hierfür sind Konjunkturprognosen. Voraussetzung sind genaue Kenntnisse der Einflussfaktoren, der Anfangs- und Randbedingungen.

Zu Beginn jeder Organisationsanalyse sind drei wesentliche Fragen zu stellen [Tit.et.al-08]:

1. Warum soll die Organisationsanalyse gerade jetzt durchgeführt werden?
2. Wer hat Interesse an der Beschreibung?
3. Warum ist gerade dieser Abschnitt interessant?

De Marco [Dem-'95] liefert die folgenden drei möglichen Gründe, weshalb eine Analysedatensammlung stattfinden soll: (1) um Erkenntnisse über die Welt zu gewinnen, (2) um Handeln zu steuern, und/oder (3) um Verhalten zu ändern.

### 2.3.2 Zwei Vorgehenskonzepte für die Erstellung von Organisationsanalysen

Nach Titscher (2008) gibt es zwei wesentliche Grundkonzepte zur Erstellung einer Organisationsanalyse. Eine Möglichkeit ist die Zergliederung in einzelne Arbeitsschritte nach einem Strukturplan. Demgegenüber besteht der Analysekreislauf als zweiter Ansatz aus empirischen Untersuchungen. Der Analysekreislauf stellt die Frage, welche Analysearbeitsschritte unter theoretischen Gesichtspunkten absolviert werden, und welche Erfordernisse und Regeln für den jeweiligen Arbeitsschritt gelten. Abbildung 2.7 stellt den Analysekreislauf nach [Tit.et.al-08] dar.

Der Gesamtkreislauf ist in eine linke Hälfte der Theorie, und eine rechte Hälfte der Empirie eingeteilt, wobei sich die drei innenliegenden Kreisläufe miteinander verbinden. Der Analysekreislauf wurde in abgewandelter und vereinfachter Form zur Erstellung des Organisationsbefragungsmodells angewandt.

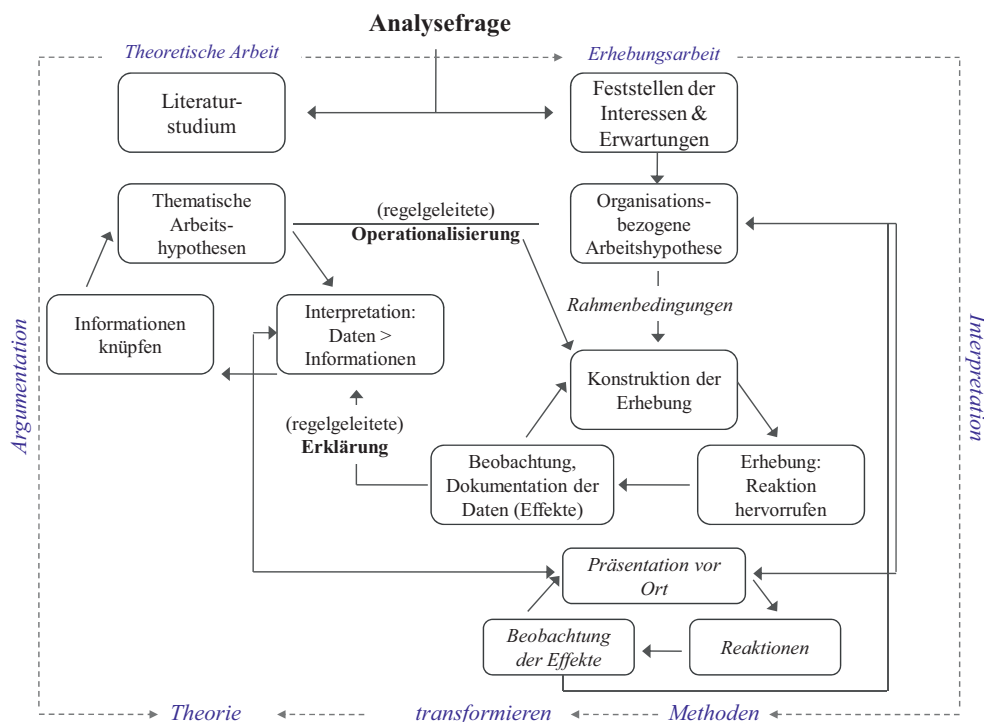


Abbildung 2.7. Der Analysezyklus [Tit.et.al-'08]



Der Strukturplan, dargestellt in Abbildung 2.8, folgt einer anderen Vorgehenslogik und verschafft einen arbeitstechnisch orientierten Überblick. Die Hintergrundfrage dabei lautet: Welche Aufgaben werden in welcher Reihenfolge von wem erledigt?

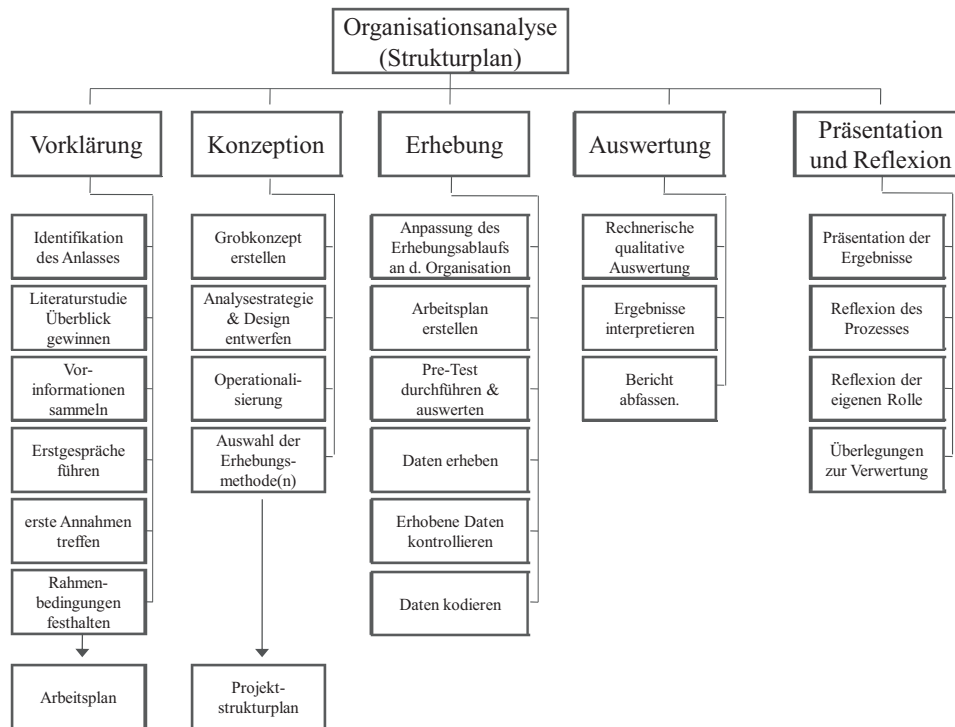


Abbildung 2.8. Der Strukturplan zur Strukturierung der Analyse [Tit.et.al-'08]

Zur Datenerhebung gibt es verschiedene Methoden, die im Folgenden stichwortartig erklärt sind [Kar.et.al-'05][Tit.et.al-'08].

- **Befragungen**, in Form von mündlichen Interviews, schriftlichen Befragungen oder Internetumfragen
- **Gruppeninterviews und Gruppendiskussionen**
- **Analyse von Kommunikations- und Beziehungsstrukturen**, z.B. über Soziometrische Befragung, die Ecco-Analysis<sup>7</sup> oder die SMALL-World-Technik<sup>8</sup>
- **Beobachtungen**
- **Dokument- und Textanalysen**

<sup>7</sup> Ecco Analysis stammt von Davis 1953, es ist eine Technik, um Beziehungen und Kommunikationswege mit dem Fokus aufzuzeichnen, wie sich spezifische Nachrichten und z.B. Rumor/Gerüchte in einer Organisation verbreiten [Kar.et.al-'05].

<sup>8</sup> Small-World-Technik ist von Milgram 1967 entwickelt und insgesamt selten gebraucht. Es ist ein Ansatz, um die Informationsflüsse in einer Organisation zu untersuchen [Kar.et.al-'05].

Die Standardisierung einer Organisationsanalyse hat eine bindende Wirkung in zweierlei Richtungen. Die untersuchten Personen werden in ihrer Reaktionsmöglichkeit eingeengt, da nur bestimmte Abschnitte von Interesse sind. Gleichzeitig wird durch Standardisierung aber eine Vergleichbarkeit der gewonnenen Daten möglich. Bei der Präsentation der Ergebnisse ist zu beachten, dass Organisationsanalysen an Strukturen und der Wechselwirkung zwischen Strukturen und Verhaltensweisen orientiert sind. Deshalb sind beobachtete Ereignisse und Befunde aus Daten nicht mit persönlichen Motiven, sondern mit strukturellen Bedingungen zu erklären [Lin-'07][Tit.et.al-'08].

### **Fazit-Box 2: Organisationsanalyse**

Der Organisationskontext als Ansatzpunkt für qualitative Lean-Methoden steht in direkter Verbindung mit der Produktivität eines Fertigungsunternehmens. Bisher gibt es dennoch kaum Untersuchungen über den Organisationskontext, in welchem neue Produktionsmethoden implementiert werden. Die Organisationsanalyse als eine empirische Untersuchung mit qualitativen Ergebnissen ist ein geeignetes Mittel, um den Organisationskontext zu untersuchen. Sie findet Anwendung bei Situationsbeschreibungen, oder um Erklärungen und Prognosen abzugeben.

Zwei wesentliche Konzepte zur Erstellung einer Organisationsanalyse wurden vorgestellt: Der **Analysekreislauf** enthält drei Regelkreise der Theorie, Empirie und Ergebnis-Effektbeobachtung. Der **Strukturplan** verfolgt die Frage, welche Aufgaben in welcher Reihenfolge von wem erledigt werden (hinsichtlich Vorklärung, Konzeption, Erhebung, Auswertung und Präsentation). Die Erstellung des entwickelten Organisationsbefragungsmodells beruht auf dem vereinfachten Vorgehenskonzept des Analysekreislaufes. Zur Eingrenzung des breiten Handlungsspektrums ist der Betrachtungsrahmen formalisiert und als Erhebungsmethode eine standardisierte Befragungsmethode mit automatisierter Auswertung gewählt.

Die Organisationsbefragung hat einen doppelten Effekt: Für die analysierende Person sind dadurch Erkenntnisse über Zusammenhänge zwischen Organisation, Kontext und Produktion erhältlich sowie Erklärungen und gegebenenfalls Prognosen erstellbar. Für die an der Organisationsbefragung beteiligten Mitarbeiter findet der Einbezug in das Projekt (Produktionsanalyse) statt. Anhand dieser Eigenidentifikation wird eine spätere Umsetzung von Verbesserungsmaßnahmen i.d.R. wesentlich besser akzeptiert. Beides sind wichtige Faktoren zur Umsetzung von Prozessverbesserung durch Lean-Methoden.

### **3 THEORIE (Teil B): PROZESSVERBESSERUNG**

Im ersten Teil des dritten Kapitels wird der aktuelle Wissensstand von Lean-Production (LP) aus der Fertigungsindustrie erarbeitet, eingeteilt in Theorie (3.1) und praxisorientierte Methoden (3.2). Der Wirkungsbereich von LP bezieht sich im Wesentlichen auf die Verbesserung der operativen Ebene, d.h. der Produktion. Im zweiten Teil des dritten Kapitels (3.3) folgt der aktuelle Stand von Lean-Construction (LC), auch Lean-Management im Bauwesen (LMB) genannt, ebenfalls unterteilt in Theorie (3.3) und praktische Methoden (3.4). Im Bau spielen neben der operativen Produktionsebene vor allem die Projektplanung und die Vertragsformen eine wesentliche Rolle zur Optimierungsgestaltung der Unternehmung. Dadurch entstanden in Lean-Construction andere Methoden als in Lean-Production, aber beide Richtungen beinhalten relevante Ansätze für die Prozessverbesserung von Unternehmen der Einzel- und Kleinserienfertigung.

#### **3.1 Theoretische Grundlagen von Lean Produktion**

Lean-Production, auch „schlankes Produktionsmanagement“ genannt, ist ein Ansatz eines ganzheitlichen Produktionssystems (GPS). Das Beispiel der Produktionsentwicklung innerhalb der letzten 40 Jahre bei Toyota zeigt, dass hierin ein Potential der Produktionsverbesserung für Industriebetriebe liegt, wie es in dieser Form zuletzt durch Henry Ford vor knapp hundert Jahren mit der Einführung des Fließbandes und der Massenproduktion entstand. Dennoch sind diese Theoriekonzepte nicht in Form festgelegter Muster oder mathematischer Theorien definiert, sondern lediglich als lose Theorie- und Methodensammlung vorhanden. Die Bündelung dessen zu dem Begriff „Lean-Management“ umfasst verschiedene Prinzipien (z.B. die fünf Lean-Prinzipien nach Womack und Jones [Wom-‘03]), bestimmte Handlungsansätze, eine wertebasierte Unternehmenskultur und praktische Werkzeuge zur Prozessverbesserung. Die „Theory of constraints“ (Theorie der Hemmnisse) nach Goldratt [Gol-‘91] kommt in einigen Punkten dem Lean-Gedanken der *Kontinuierlichen Verbesserung* sehr nahe und wird im Folgenden daher ebenfalls genauer erklärt.

### 3.1.1 Ganzheitliche Produktionssysteme: Ziele und Herkunft von Lean-Produktion

„Ohne Verschwendung“<sup>9</sup>, autonome Automation und ein Weg der kontinuierlichen Verbesserung gelten als die Hauptcharakteristika für eine lange, erfolgreiche Weiterentwicklung der dezentralen Produktionssteuerungsmethoden, basierend auf der Produktionssystematik von Toyota (TPS) [Ohn-‘93][Shi-‘96][San-‘99][Wom-‘03][Lik-‘04][Dic-‘07]. Die Entwicklungsgeschichte Toyotas reicht zurück ins Jahr 1894, in dem Sakichi Toyoda den ersten automatischen Webstuhl entwickelte und damit einen Grundbaustein der Automation legte, der später innerhalb der Automobilindustrie weiterverfolgt wurde [Dic-‘07]. Nach dem 2. Weltkrieg befand sich die Automobilindustrie weltweit in einer Krise. Zudem hatten die ersten japanischen Autos auf dem Markt einen schlechten Ruf bezüglich Qualität, Komfort und Effizienz. Um dennoch Erfolg zu haben, wurde ein Weg des konsequenten Suchens nach Verschwendung und kontinuierlicher Qualitätsverbesserung verfolgt, der insbesondere von den eigenen Werksarbeitern und Ingenieuren vorangetrieben und getragen wurde [Wom-‘99][Dic-‘08].

Just-in-Time als Flussprinzip und die „pull“-Methode zur Materialflusssteuerung mittels Kanban-Karten sind weitere Entwicklungen, die von Ohno [Shi-‘96][San-‘99] angestoßen wurden. Er überträgt das Supermarktprinzip auf die Produktionsstätte, so dass nur noch die Gütermenge produziert wird, die von der darauffolgenden Arbeitsstation mittels einer Kanban-Karte angefragt wird. Somit können Lagerkapazitäten reduziert werden, es entsteht eine höhere Transparenz an der Produktionsstätte und ein verbesserter Arbeitsfluss.

„Zuerst der Prozess, dann die Arbeitsoperationen“- ist der wesentliche Kernpunkt in der Vorgehensweise zur Effizienzsteigerung innerhalb von TPS [San-‘99]. Aufgrund der Unternehmensgröße, Komplexität und der organisatorischen Strukturen tendieren Mitarbeiter natürlicherweise dazu, nur den individuellen Arbeitsschritt zu betrachten, ohne dabei den Gesamtprozess und die Auswirkungen auf die Unternehmensziele zu erfassen. Dies führt zu lokalen Produktionsoptima, die typischerweise nicht mit dem Gesamtoptimum übereinstimmen [Dic-‘07]. Daher muss zuerst der Gesamtprozess betrachtet und nachhaltig strukturiert werden, um im Anschluss daran die einzelnen Arbeitsstationen zu verbessern [Ohn-‘93][San-‘99][Wom-‘03].

Der Begriff „Lean-Management (LM)“ als „schlankes Produktionsmanagement“ entstand in den 90er Jahren im Rahmen einer weltweiten Benchmarkstudie der Automobilindustrie am Massachusetts Institute of Technology (MIT) durch Womack et. al. [Wo-‘91][Wom-‘03]. Danach ist

---

<sup>9</sup> Eine Säule des TPS ist die Suche nach Verschwendung mit den 8 Arten der Verschwendung: 1. Überproduktion, 2. Warten, 3. Unnötiger Transport, 4. Überarbeiten aufgrund schlechter/falscher Maschinen/Materialhandhabung, 5. Überbestände (Lagerhaltung), 6. Unnötige Bewegungen, 7. Nacharbeit, 8. Ungenutzte Kreativität der Mitarbeiter zur Prozessverbesserung; [The Toyota Way, Liker, J.2004]

Lean-Management durch fünf konsekutive Prinzipien definiert: **Value** (Wertdefinition), **Value-Stream** (Wertstromerhebung und Aufdecken von Verschwendung), **Flow** (Prozessfluss etablieren), **Pull** (Ziehen von Produktionseinheiten durch den Prozess, anstatt eines „Weiterschubens“ zur nächsten Arbeitsstation) und **Perfektion** (als Streben nach kontinuierlicher Verbesserung).

Aufgrund der sich ändernden Marktsituation und der Forderung nach Vielfalt, kommt der Produktionsflexibilität und kürzeren Produktentwicklungszeiten eine größer werdende Rolle zu. Bei Toyota wird Flexibilität einerseits durch Weiterbildung der internen Mitarbeiter gefördert (durch multi-funktionale Teams) und andererseits durch Abfedern von Spitzenkapazitätsleistungen mit Leiharbeitern aus Fremdfirmen [Ohn-‘96]. Der Mitarbeiter (MA) als Mensch stellt bei ganzheitlichen Produktionssystemen einen wesentlichen Erfolgsfaktor des Unternehmens dar und wird nicht zu einem anonymen Kostenfaktor degradiert [Bec-‘06][Lan-‘10].

Durch die oben genannte MIT-Studie wurden die Automobilindustrie und andere Industriezweige weltweit auf die **höhere Flexibilität und Produktivität** aufmerksam, die innerhalb des Toyota-Produktionssystems vorhanden waren [Lan-‘10]. Deren Produktionskonzept bildet eine Alternative zu den bisher vorherrschenden, auf Ford zurückgehenden Rationalisierungsmethoden der Massenproduktion. Typische Optimierungsprinzipien aus der Massenproduktion sind große Losgrößen, um die Rüstzeiten pro Einzelteil zu verringern. Auch Akkordlohn und Rationalisierung einzelner Arbeitsstationen mittels Zeit-, und Bewegungsstudien entspringen dem Taylorismus und der Massenproduktion nach Ford. Die Erfolge solcher Optimierungsmaßnahmen sind jedoch wesentlich geringer als die Lean-Production-Ansätze. Mittlerweile adaptieren viele andere Industriezweige Lean-Production-Konzepte, beispielsweise zur Prozessverbesserung im Verwaltungs- und Dienstleistungssektor, aber auch in der Bauindustrie [Wie-‘05][Geh-‘06a]. Oft ist eine solche Übertragung erfolgreich, wobei GPS nach Lean-Management-Aspekten einen ganzheitlichen Ansatz einer **wertebasierten Unternehmenskultur** darstellt, der nicht durch reine Übertragung von technischem Wissen zu erreichen ist [Bec-‘06][Geh-‘06b][Dic-‘07][Lan-‘10].

### 3.1.2 Theorie der Einschränkungen (Theory of Constraints, TOC)

**Kostenreduzierung** und **Effizienzsteigerung des Durchsatzes** zur Erhöhung der Gewinne und **Marktanteile** sind die Hauptziele, die den meisten Produktionssystemen zugrunde liegen [Gol-'90]. Das Toyota-Produktionssystem setzt diese Ziele beispielhaft und konsequent um [Dic-'08]. Die „*Theorie der Einschränkungen (TOC)*“ beschreibt, dass jedes Produktionsunternehmen nach dem Wirtschaftlichkeitsprinzip nur mittels der Steuerung folgender drei Variablen zu Gewinnsteigerung gelangen kann<sup>10</sup> [Gol-'90], dargestellt in Abbildung 3.1:

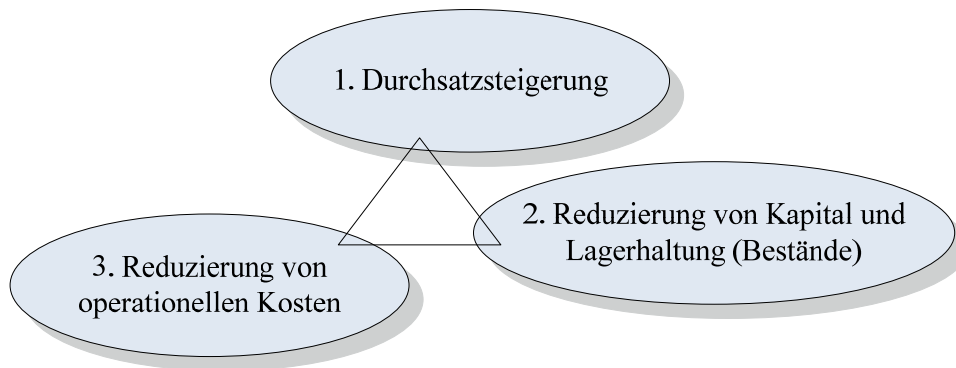


Abbildung 3.1. Stellgrößen zur Optimierung von Produktionsunternehmen

Die Komplexität entsteht durch die Abhängigkeit dieser Variablen untereinander, sodass aufgrund fehlender Transparenz und anderer Faktoren eine effiziente und nachhaltige Unternehmenssteuerung erschwert wird.

Die **Theorie der Einschränkungen** [Gol-'90] unterliegt weniger der Charakteristik einer wissenschaftlichen Theorie, sondern erstellt interessante Managementthesen zur Thematik der Engpässe, der Prozessveränderung und -verbesserung. Goldratt (1990) fordert, dass **zunächst die Einschränkungen in einem System identifiziert werden sollen, d.h. der relevante Engpass in jeder unabhängigen Prozesskette**. Dazu gibt er dem Anwender zur Engpassermittlung fünf allgemeine Schritte der Fokussierung vor, indem er zu folgendem praktischen Vorgehen auffordert [Gol-'00][Kla-'04]:

1. Identifizieren Sie die auf das System einschränkend wirkenden Faktoren. Orientieren Sie sich dabei an der Bedeutung der einzelnen Engpässe für die Systemfunktion, bzw. das Systemziel. Es existiert immer mindestens ein Systemengpass.

<sup>10</sup> Goldratts inhärente Hypothese: die Marktcharakteristika sind konstant- d.h. Absatzmöglichkeiten sind vorhanden oder können geschaffen werden.

2. Entscheiden Sie sich, nach der Identifikation der Engpässe, wie die mit Ihnen verbundenen Engpässe besser ausgeschöpft werden können. Alle Ressourcen, die an solchen Stellen benötigt werden sollen von nicht-engpassrelevanten Arbeitsstationen zur Verfügung gestellt werden.
3. Ordnen Sie alles dieser obigen Entscheidung (aus #1 und #2) unter.
4. Erheben Sie die Einschränkungen, d.h. versuchen Sie die identifizierten Engpässe durch Aufbau zusätzlicher Leistungskapazitäten aufzulösen.
5. Wenn im vorherigen Schritt eine Einschränkung gelöst wurde, gehen Sie dann wieder zu Schritt eins zurück. Dulden Sie aber nicht, dass Trägheit im Hinblick auf den angestoßenen kontinuierlichen Verbesserungsprozess selbst zum Engpass mutiert.

Daran anschließend entwickelt Goldratt (1990) die **These der Veränderung (process to change<sup>11</sup>)** und den **Prozess des Überwindens von Widerstand**. Das Ziel ist es, in jedem Unternehmen einen Prozess der kontinuierlichen Verbesserung zu implementieren, bezüglich der drei bereits genannten Zielgrößen: Durchsatz, Bestände und operative Kosten. Dies kann jedoch leicht blockiert werden, wenn Veränderungsmechanismen und Hintergrundängste der Mitarbeiter ignoriert bleiben [Gol-'90]. Der Prozess des Überwindens von Widerstand zur Einführung von Verbesserung wird durch folgenden Mechanismus erklärt:

- *„Jede Verbesserung ist eine Veränderung; das führt dazu, dass...*
- *jede Veränderung als Gefährdung der Sicherheit empfunden wird; das führt dazu, dass...*
- *jede Gefährdung der Sicherheit emotionalen Widerstand aufkommen lässt; jedoch...*
- *emotionaler Widerstand kann nur durch eine noch stärkere Emotion überwunden werden!“*

Goldratt (1990) sagt: „Wo Verbesserung betroffen ist, liegt mehr als eine Emotion vor. Nicht nur die Emotion des Widerstandes, sondern auch die sehr mächtige Emotion des Erfinders“[Gol-'90]. Diese Erfindermotivation gilt es bewusst zu gebrauchen und so stark einzusetzen, dass sie die Widerstandsemotionen überwindet und Prozessverbesserung umgesetzt werden kann.

---

<sup>11</sup> **The process to change: Der Veränderungsprozess nach Goldratt (1990)**

- a) *Finden Sie heraus, was verändert werden soll (pinpoint the core problems)*
- b) *Sie müssen sich klar werden, in welche Richtung Sie etwas verändern wollen (construct simple, practical solutions)*
- c) *Wie kann Veränderung bewirkt werden?(induce the appropriate people to invent such solutions)*

**Fazit-Box 3: Theorie der Einschränkungen, Theory of Constraints (TOC)**

Die Theory of Constraints beschreibt eine systematische Vorgehensweise, wie Einschränkungen in Unternehmen behandelt werden können. Zielsetzung ist die wirtschaftliche Verbesserung des Produktionssystems, die nur über die drei Zielgrößen Durchsatzerhöhung (1), Bestandsreduzierung (2) oder Reduzierung von operationellen Kosten (3) zu erreichen ist. Dazu ist innerhalb der Theorie ein Vorgehensmuster enthalten, das die Hintergründe und Ängste bei Veränderungsprozessen beschreibt und erklärt wie diese überwunden werden können. Die Theorie der Einschränkungen (TOC) bleibt zwar auf einer abstrakten Ebene und ist in Romanform nicht auf Realdaten fundiert, sie stellt aber zugleich relevante Aussagen für das Verständnis von Engpässen, Prozessveränderung und Verbesserungseinführung in Produktionsprozessen dar. Dies gilt insbesondere für Produktionsbetriebe, die z.B. über längere Zeit gewachsen sind und ggf. dadurch hohe Resistenz gegenüber Veränderung aufweisen<sup>12</sup>.

**3.2 Verbesserungsmethoden: Dezentrale Lean-Production-Methoden**

Dickmann (2008) beschreibt 16 wesentliche Lean-Methoden für die stationäre Fertigungsindustrie, die dort auch erfolgreich umgesetzt werden [Dic-'08] (vgl. Tabelle 3.1). Die Vielseitigkeit der einzelnen Methoden verdeutlicht die Notwendigkeit einer dezentralen Anwendung. Der Mitarbeiterfokus innerhalb dieses Ansatzes wird durch das Arbeiten in multidisziplinären Teams sichtbar. Wurzelfehleranalyse und automatische Fehlerfindungsprogramme werden von Mitarbeitern bis auf die unteren Hierarchieebenen durchgeführt. Dickmann (2008) vergleicht die Produktionsleistung eines Unternehmens und die Implementierung der LM-Methoden bildlich mit einem Holzfass, dessen Planken undicht sind. Der Leistungspegel ist nur so hoch, wie das schwächste Glied belastbar bzw. „dicht“ ist. Um Verschwendung zu reduzieren, sind für unterschiedliche Problemstellungen daher verschiedene interdisziplinäre Methoden nützlich.

---

<sup>12</sup> Im Zusammenhang der verschiedenen Fallstudien in Firmen wurden jeweils Mitarbeiter am Produktionsstandort gefragt, was sich bei ihrer Arbeit in den letzten 20 Jahren verändert hat, und was eventuell aus ihrer Sicht verbessert werden könnte. Dazu eine Antwort eines Mitarbeiters: „*Verbesserung? Ich will überhaupt keine Verbesserung, und Veränderung auch nicht. Ich bin seit 20 Jahren in diesem Unternehmen und hier hat sich nichts verändert. Ist doch gut wie es läuft! Zuhause habe ich auch keine Veränderung. Ich sitze jeden Abend am gleichen Stuhl an derselben Tischecke und schaue Fern.*“



Tabelle 3.1. Interdisziplinäre Lean-Production Methoden nach [Dic-'07]

<b>Methode</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Messbarkeit</b>
Verschwendung vermeiden	Verschwendung wird systematisch gesucht und verringert (8 Arten der Verschwendung [Lik-'04], z.B. Überproduktion).	Teilweise quantifizierbar
5 W Methode	Probleme und Fehler werden auf den Wurzelgrund hinterfragt, indem 5-mal die Frage „Warum“ gestellt wird, bis die eigentliche Ursache des Fehlers verstanden ist.	Umsetzung quantifizierbar, Effekt teilweise quantifizierbar
Poka-Yoke und Autonomation	Werkzeuge und Arbeitsschritte sind so gestaltet, dass systematisch Fehler vermieden werden. (Prinzip: „Fehler überhaupt nicht aufkommen zu lassen und beim ersten Mal gleich alles richtig machen“). Autonomation bezeichnet das automatische Abschalten der Anlage bei Fehlern oder Abweichungen von Standards.	Umsetzung quantifizierbar, Effekt teilweise quantifizierbar
Andon	Andon ist eine „Produktionslinienstopampel“, um den Status der Produktion direkt am Arbeitsplatz anzuzeigen und Abweichungen oder Probleme sofort zu erkennen, um eingreifen zu können	Qualitativer Effekt
Baton Pasing Room	Pufferraum, um einen gleichmäßigen Fluss zu erreichen und Verzögerungen ausgleichen zu können.	Qualitativ und quantitativ
“Keine isolierten Inseln”	Werker sollen im Team arbeiten, da auf diese Weise höhere Flexibilität und Leistung erzielt werden kann.	Qualitativ, teilweise quantifizierbar
5S Methode	5 Ansätze, um durch Ordnung und Sauberkeit Fehler zu vermeiden und Effizienz zu steigern.	Qualitativer Effekt
Mehrmaschinenbedienung	Mehrere Maschinen werden in einem Rhythmus nacheinander bedient.	Qualitativ, teilweise quantifizierbar
Kaizen	Kaizen ist eine systematische Form der kontinuierlichen Verbesserung.	Qualitativer Effekt
Die Kraft der individuellen Fertigkeiten und des Teamworks	Dies bedeutet eine umfassende Einbindung und Nutzung der Innovation und Kompetenz der Belegschaft.	Qualitativer Effekt
Belegschaftsschutz und Schutz des Werkers	Mitarbeiter werden als Teil „der Firmenfamilie“ betrachtet.	Qualitativer Effekt
Produktionsfluss und Arbeitsfluss (Work-Flow)	Damit Produktionsfluss und Arbeitsfluss erfolgreich ablaufen, ist eine hohe Verantwortung des Einzelnen notwendig.	Qualitativer Effekt
Just-In-Time (JIT)	JIT bedeutet die Bereitstellung von Material in der richtigen Menge, zum gewünschten Zeitpunkt, am richtigen Ort. Damit werden unnötige Wartezeit, Zwischenpuffer und Ineffizienz vermieden.	Quantitativ und qualitativ
Kanban (Supermarkt-Prinzip)	Kanban ist ein Kartensteuerungskonzept, um „Pull“ und JIT in Produktionsprozesse zu integrieren. (Kanban in Japanisch = Label). Durch jeden Verbrauch wird ein neuer Bedarf beim Lieferanten angestoßen. Nach diesem Prinzip funktioniert auch die Kanban-Steuerung. Dieses Prinzip wird auch auf die Lieferantensteuerung übertragen.	Quantitativer Effekt, teilweise quantifizierbar
Produktionsglättung (Produktionsnivellierung)	Die Arbeitsinhalte werden mit dem Ziel einer Fließfertigung ausgeglichen, d.h. eine Glättung von Bedarfsspitzen & Bildung eines gleichmäßigen Taktes.	Quantitativ und qualitativ

Weitere Lean-Production-Methoden aus anderen Literaturquellen sind in Tabelle 3.2 zur Vollständigkeit und aufgrund der Relevanz für die Forschungsuntersuchung zugefügt [Hop-‘96][Arb-‘06][Win-‘08][Kir-‘09][Rot-‘09][Pet-‘09][HoHi-‘09].

Tabelle 3.2. Ergänzende Lean-Production-Methoden

Methoden	Beschreibung	Messbarkeit
Constant Work-in-Process ConWIP	Ein ConWIP Produktionssystem ist eine Vorstufe zum Pull-System, mit definierten Bestandsgrößen (Ober- und Untergrenzen) über mehrere Arbeitsstationen. Es unterscheidet sich von einem reinen Pull-System durch die Art der Signalanfrage zur Weitergabe des Materials [Arb-‘06].	Quantifizierbar
Total Production Maintenance, TPM	(TPM) zielt auf eine technische Verfügbarkeit der Maschinen und Anlagen von mindestens 95%, die nur anhand eines durchgängigen präventiven Instandhaltungssystems über den gesamten Lebenszyklus einer Maschine/Anlage gewährleistet werden kann. Ziel ist es, ungeplante Störungen zu vermeiden, und so die Gesamtanlageneffektivität (Overall-Equipment-Effectiveness, OEE) zu erhöhen [Pet-‘09].	Teilweise quantifizierbar
Total Quality Management, TQM	TQM bedeutet, dass praktische Maßnahmen mit dem Ziel der nachhaltigen Steigerung der Produkt- und der Prozessqualität durch Vorbeugen von Fehlern am Produkt und in den Abläufen verfolgt werden. TQM beinhaltet eine schnelle Fehlerbehebung und eine kontinuierliche Qualitätskontrolle [Pet-‘09].	Teilweise quantifizierbar
Single-Minute-Exchange-of-Die SMED	SMED bezeichnet das schnelle Rüsten (Werkzeugumrüsten innerhalb einer Minute) an einer Arbeitsstation.	Quantifizierbar
Shop-Floor-Management SFM	Kurzzyklisches Produktionsmanagement und Mitarbeiterführung an der Basis des Geschehens (Gemba, oder Shop-Floor) mit Kommunikationstafeln und Kennzahlensteuerung	Qualitative und quantifizierbare Effekte
One-Piece-Flow 1x1-Fluss	Single-Piece-Flow bedeutet das Fließprinzip in der Fertigung, d.h. es bestehen keine Zwischenbestände, und eine Arbeitsstation bearbeitet immer nur ein Teil, wenn es von der nachfolgenden Arbeitsstation angefordert ist [Rot-‘09]	Quantifizierbar
PDCA-Zyklus, Kaizen (KVP) und Standardisierung	Kontinuierlicher Verbesserungseffekt nach dem Verbesserungskreislauf: P (Plan), D (do), C (check), A (act). Ein Qualitätszirkel wird aufgebaut, nach dem Vorgehen „plan-do-check-act“, der sich kreisförmig wiederholt, um kontinuierliche Verbesserung zu erreichen [Kir-‘09]. Ist eine Verbesserung eingeführt, so muss sie stabilisiert und standardisiert werden, bildlich vorzustellen durch einen Keil der verhindert, dass der PDCA-Kreis zurückrollt. Dieser neue Standard muss fest eingeführt werden, bis der PDCA-Kreis sich in der Entwicklungsstufe nach oben weitergedreht hat. Wird auf Standardisierung verzichtet, so kann langfristig keine Weiterentwicklung stattfinden, da Prozesse in alte Muster zurückfallen [Win-‘08].	Teilweise quantifizierbar sowie qualitativer Effekt

Ein Planungsunterstützungswerkzeug zur Einführung und Bewertung der Wirkzusammenhänge von Lean-Management-Methoden in der Kleinserienfertigung nach Peter (2009) beinhaltet eine quantitative Bewertungsmethodik für ConWIP, SMED, TPM und TQM, basierend auf 3 Fallstudien aus der Kleinserienfertigung im Maschinenbau [Pet-‘09]. Dieses Werkzeug bildet u. a. eine Grundlage für die vorliegende Forschung, wobei die Einzelfertigung im Stahlbau wesentlich handwerksorientierter ist, als die von Peter (2009) betrachteten Maschinenbauunternehmen.

### **3.2.1 Auswahlkriterien zur Untersuchung von Lean-Methoden in der Einzelfertigung**

Die Kriterien für die Auswahl der untersuchten Methoden für die Einzelfertigung im Stahlsystembau sind die erfassbaren Prozessdaten und die Quantifizierbarkeit der Effekte auf den Durchfluss und die Bestände des gesamten Produktionssystems im Stahlbau. Aus den Lean-Production-Methoden werden in dieser Forschungsarbeit die Methoden 1x1-Fluss, SMED und CONWIP hinsichtlich der Effekte in der Einzelfertigung des Stahlbaus mittels Simulationsstudien untersucht.

Voraussetzung für die Messbarkeit von Effekten einzelner Methoden sind Kennzahlen, visualisierte Prozesse und reale Prozessdaten als Eingangsgrößen. Diese liegen in den wenigsten Einzelfertigungsbetrieben vor. Innerhalb aller untersuchten Stahlbaubetriebe ist diese Thematik bisher noch unzureichend bearbeitet. Die für die Simulationsstudien relevanten Lean-Methoden sind im Folgenden ausführlicher erklärt.

### **3.2.2 Eins-zu-Eins-Fluss (One-Piece-Flow)**

Eins-zu-Eins-Fluss beschreibt einen direkten Produktionsfluss von einer Arbeitsstation zur nächsten Arbeitsstation ohne Zwischenbestände und ohne Wartezeiten [Lik-,04][Bec-‘06][Rot-‘09]. Dieser Zustand ist innerhalb des TPS als der unerreichbare Zielzustand definiert, auf dessen schrittweise Verwirklichung kontinuierlich hingearbeitet wird [Rot-‘09]. 1x1-Fluss bedeutet die minimal mögliche Durchlaufzeit bei eliminierten Zwischenbeständen und ohne Wartezeiten.

### **3.2.3 Single-Minute-Exchange-of-Die (SMED)**

SMED ist eine Methode, die speziell Rüstzeiten mit dem Ziel der Minimierung betrachtet. Der Ausdruck beschreibt die Zielsetzung, einen Umrüstvorgang, beispielsweise einer Zuschnittsmaschine, innerhalb einer Minute erledigen zu können [Ohn-‘93][Lik-‘04][Pet-‘09]. Je kleiner die Rüstzeiten, desto flexibler wird die Produktion. Nicht-wertschöpfende Zeiten können reduziert werden. Gleichzeitig kann, das dem Lean-Gedanken widersprüchliche Argument der „Produktionsoptimierung, basierend auf Maschinenauslastung durch große Losgrößen“, eliminiert

werden. SMED-Workshops werden oft auch mit der Zielsetzung durchgeführt, Prozesse zu verstetigen.

### 3.2.4 Kanban und ConWIP

Kanban ist eine Produktionsablaufsteuerung, die sich an der Nachfrage orientiert. Material wird erst nachgeliefert oder produziert, wenn die Ware (/das Produkt) vom Verbraucher entnommen wurde. Bei jeder Produktentnahme wird im Gegenzug eine Karte (Kanban) physisch oder eine Information elektronisch hinterlegt, wodurch das Auffüllen des entnommenen Produktes wieder initiiert wird. Diese Produktionsablaufsteuerung nach Kanban stellt ein Alternativkonzept zur zentralen Produktionsablaufsteuerung dar. Zentrale Steuerung (push-System) reagiert im Gegensatz zur Kanbansteuerung (pull-System) unflexibler bei Bedarfsänderungen und Produktionsschwankungen, erfordert einen höheren administrativen Aufwand und benötigt höhere Lagerbestände, um Schwankungen ausgleichen zu können [Ohn-'93][Shi-'96][Wom-'03][Kir-'09]. Bei pull-Systemen führen Prozessschwankungen zu Leerlauf, bei push-Systemen zu hohen Lagerbeständen.

Sieben Voraussetzungen sind für die Einführung von Kanban erforderlich [Tak-'99]: (1) Aufbau einer Fließfertigung, (2) Verkleinerung der Losgrößen, (3) geglättete Produktion, (4) Verkürzung und Vereinheitlichung der Transportzyklen, (5) kontinuierliche Produktion, (6) Bestimmung der Adressen (von verbrauchenden Stellen, Pufferlagern usw.) und (7) konsequentes Behältermanagement. Die Kanban-Steuerung ist geeignet für Serienfertigungsbetriebe, insbesondere für Produkte mit einem hohen Wertanteil, hoher regelmäßiger Vorhersagegenauigkeit und geringen Nachfrageschwankungen. **Für Einzelfertigungsbetriebe ist Kanban nicht geeignet** [Tak-'99]. Daher wurde im Bauwesen Kanban bisher nur sehr vereinzelt bei Pilotprojekten eingeführt, wie z.B. zur Steuerung der Materialtransporte über die Aufzüge im brasilianischen Hochbau. Aufgrund der Variabilität der Einzelteile in der Stahlbauproduktion sind Kartenbestellvorgänge sehr aufwändig, da Informationen über sämtliche Detailspezifizierungen des Produktes bei geringen Wiederholungsgraden notwendig wären. Daher wird vom Verfasser zunächst noch keine realistische Anwendung von Kanban im Stahlbaufertigungsprozess gesehen, bevor nicht zumindest einige der von Takeda genannten Voraussetzungen erfüllt sind (z.B. Standardisierung von Materialien; Produktionsglättung).

ConWIP steht für *Constant Work-In-Process* als ein definierter Zwischenbestand mit Ober- und Untergrenzen. Im Gegensatz zu Kanban basiert ConWIP weiterhin auf einer push-Steuerung, jedoch mit festgelegten Bestandsgrenzen und meist nicht nur auf eine Arbeitsstation bezogen, sondern auf einen gesamten Arbeitsbereich [Arb-'06]. Diese Produktionssteuerungsmethode erlaubt eine bewusste Pufferung eines Prozesses mit Varianzen, beschränkt jedoch die Höhe des maximal

zulässigen Zwischenbestandes auf ein bestimmtes Niveau [Arb-‘06][Pet-‘09]. ConWIP kann eine Übergangslösung zu einem 1x1-Fluss darstellen [Lik-‘04][Dic-‘07].

### **3.2.5 Shop-Floor-Management (SFM)**

Das Führen und Visualisieren der Produktion direkt vor Ort an der Basis der Arbeitsstationen bezeichnet der Begriff „Shop-Floor-Management“. Hierbei werden die wichtigsten Kennzahlen wie beispielsweise gefertigte Stückmenge/Tonnage pro Schicht (Soll-/Ist Vergleich) ebenso visualisiert wie aufgetretene Fehler und deren Rückverfolgung. SFM dient als dezentrales, kurzzyklisch visualisierendes Steuerungs- und als Kommunikationsinstrument vor Ort, ohne notwendigerweise die Kennzahlen innerhalb einer Produktions-Planungs-Software zentral abbilden zu müssen. Auch Problemfindungsprozesse werden über diese SFM-Tafeln getätigt<sup>13</sup>. Entscheidend für den Erfolg von SFM ist die konsequente Umsetzung, Nutzung und Aktualisierung der Kommunikationstafeln. In der Automobilindustrie sind Shop-Floor-Management-Konzepte flächendeckend mit großem Erfolg eingeführt worden [Sto-‘09].

### **3.2.6 Baustellenleitstand (COB) als Shop-Floor-Management-System in LMB**

Der Baustellenleitstand (COB<sup>14</sup>) entspringt dem Gedanken des Shop-Floor-Management-Konzepts der Automobilindustrie, kombiniert mit Erfahrungen aus innovativem Baustellenmanagement in Japan und Brasilien [HoHi-‘10]. Ziel ist es, die Koordination und Arbeitsausführung am Ort des Geschehens / auf der Baustelle besser zu kommunizieren, und den Baufortschritt zu visualisieren.

Dies geschieht anhand von fünf Kommunikationstafeln, die Folgendes beinhalten:

1. Mitarbeiterstecktafel: Anwesende Mitarbeiter sind mit Foto, Name, Funktion und Gewerk jeweils auf einer Kartenstecktafel visualisiert.
2. Leistungskennzahlen pro Gewerk: PEA-Wert (aus LPS), Mitarbeiteranwesenheitsrate und die Anzahl und Art von Qualitätsmängeln (dies wird über die „gelbe-Karten-Systematik“ erfasst). Als Verbesserungsmethodik ist der A3-Report als Problemlösungsmethodik für komplexere auftretende Probleme integriert.

---

<sup>13</sup> Hier ist der Entstehungsort des A3-Reports. Ein A3-Report ist eine Methode der kooperativen Problemlösungsfindung, wobei dieser Lösungsprozess auf einem A3-Papier offen durchgeführt wird, typischerweise mit den fünf Schritten: (1) Problembeschreibung, (2) Problemanalyse, (3) Mögliche Lösungsansätze, (4) Auswahl des Lösungsweges, (5) Entscheidung und Zusage zur Weiterverfolgung des gewählten Lösungsweges durch Unterschrift der Verantwortlichen.

<sup>14</sup> Construction Operation Board (COB), entwickelt von A. Hofacker und G. Hickethier, Präsentation während der Lean-In-Public-Sector-Konferenz, Dez. 2009, Karlsruhe.

3. Arbeitszeiteinteilung pro Tag
4. Baustellenarbeitsvorbereitung, mit Baustellenzeitplan und Visualisierung des Zielobjektes.
5. Unternehmenskodex hinsichtlich der Produktionsprinzipien.

Das Prinzip der regelmäßigen kurzen, gemeinsamen Tagesbesprechung vor diesen Tafeln bewirkt, dass Kommunikation direkt und allen produktionsbeteiligten Personen zugänglich stattfindet. So wird den Mitarbeitern verdeutlicht, dass Ihre Arbeit und Resultate nicht belanglos sind, sondern dass jegliche Fehler direkt aufgegriffen und beseitigt werden, und aus ihnen gelernt wird. Gleichzeitig findet auch Lob und Anerkennung für gelungene Verbesserungsmaßnahmen oder für besondere Produktionsleistungen vor den anderen Mitarbeitern statt.

#### **Fazit-Box 4: Prozessverbesserung durch Lean-Production**

Das „schlanke Produktionsmanagement“ stammt aus der Fertigungsindustrie als ein dezentraler Ansatz mit vielen unterschiedliche Prinzipien, Methoden und Vorgehensweisen zur Verbesserung der Prozesse eines Produktionssystems. Die Effekte verschiedener Lean-Methoden nach Dickmann [Dic-'07] sind auch innerhalb der stationären Großserienfertigung meist nur qualitativ erfassbar. Neben der Umsetzung solcher Methoden ist beim „schlanken Produktionsmanagement“ der Mitarbeiter als Schlüsselfigur zum Erfolg wichtig, was eine entsprechende Unternehmenskultur voraussetzt. Eine systematische Untersuchung der Anwendbarkeit bestimmter Lean-Methoden innerhalb der Einzel- und Kleinserienfertigung des Stahlbaus gibt es bisher nicht.

Folgende Methoden aus Lean-Production werden daher bezüglich der Effekte im Stahlbau untersucht: Eins-zu-Eins-Fluss, SMED und das Last Planner System (LPS), das in einer abgewandelten Form des Shop-Floor-Managements im Fertigungswerk eingeführt werden kann. Die Selektion dieser Methoden basiert auf den Kriterien der direkten Umsetzbarkeit bzw. der Validierbarkeit der Ergebnisse mit Hilfe der diskreten ereignisorientierten Simulation. Diese Bewertung und Methodeneinführung erfordert zuvor entsprechende Datenerhebungen der Prozessdetails, ein Visualisierungskonzept mittels Kennzahlen und die Betrachtung des Unternehmenskontextes.

Weitere Verbesserungsmethoden aus der Lean- Bewegung der Bauindustrie kommen zusätzlich zum Baustellenleitstand noch hinzu, die im folgenden Kapitel erklärt sind (Last-Planner-System und Taktzeitmodell).

### 3.3 Theoretische Grundlagen von Lean-Management im Bauwesen (LMB)

Lean-Management im Bauwesen beinhaltet ebenfalls verschiedene Methoden der Prozessverbesserung, und entspringt ursprünglich aus Lean-Production. Aufgrund seines instationären, projektorientierten Charakters hat LMB heute jedoch angepasste theoretische und praktische Bestandteile. Hierbei spielen u.a. Planungsprozesse, kooperative Vertragsformen zwischen den einzelnen Organisationen und die Verstetigung des Produktionsflusses auf der Baustelle eine wesentlich größere Rolle als in der stationären Industrie.

Die Theorie von Lean-Management im Bauwesen gründet auf dem Transformations-Fluss-Wert (TFV)<sup>15</sup>-Konzept von Koskela [Kos-'00]. Die Unterscheidung der Begriffe „Konzept“, „Prinzip“ und „Methode und Technik“ ist in Anhang 3A erklärt.

#### 3.3.1 Das Transformations-Fluss-Wert-Konzept (TFV)

Das Transformation-Fluss-Wert-Modell (TFV) als theoretischer Kern und Ursprungstheorie von Lean-Management im Bauwesen besagt, dass die herkömmliche Produktionsweise von Bauunternehmen dem Transformationsmodell „Input-Transformation-Output“ entspricht [Kos-'00]. Demnach gehen Materialien in ein Produktionssystem hinein (Input), werden in einer bestimmten Weise umgewandelt (transformiert), und verlassen das Produktionssystem als ein Ergebnis (Output). Ein Hauptprozess lässt sich wiederum weiter in Input-Transformations-Output-Unterprozesse zergliedern, wie in Abbildung 3.2 gezeigt [Kos-'00]. Dem Transformationsmodell liegt die Annahme zugrunde, **dass eine Optimierung des Gesamtsystems dadurch ermöglicht wird, dass die einzelnen Operationen optimiert werden**, d.h. die Summe der Transformationseinheiten der Unterprozesse schafft ein Optimum [Kos-'00]. Dem Transformationsmodell liegt als zweite Annahme zugrunde, **dass der Wert des Output-Produktes jedes Unterprozesses einzig durch die Kosten (Wert) des Inputs bestimmt wird. Das hat zur Konsequenz, dass der Produktwert lediglich durch Verbesserung der Qualität, bzw. durch qualifiziertere Arbeitskräfte erhöht werden kann.**

---

<sup>15</sup> TFV = Transformation, Flow, Value [Kos-'00]

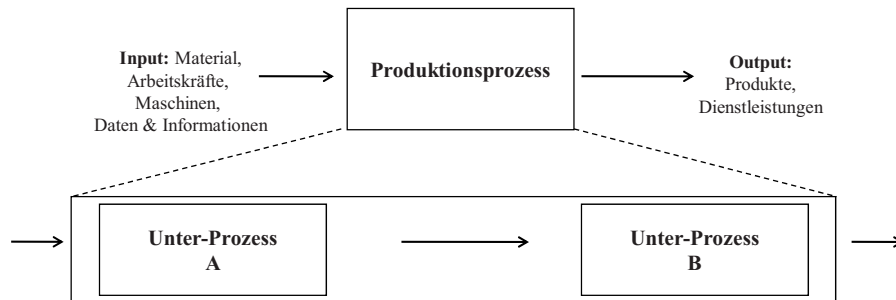


Abbildung 3.2. Das Transformationsmodell [San-‘99][Kos-‘00]

In der Realität gibt es zwischen den Umwandlungsprozessen (Transformationen) jedoch noch andere Bestandteile („Operationen“) in Prozessen, die keinem Umwandlungsprozess entsprechen. Produktionsprozesse bestehen vielmehr nach Koskela [Kos-‘00] **aus Transformationen (Umwandlungen) und drei Grundtypen von „Operationen“: Transport, Warten und Inspektion**, dargestellt in Abbildung 3.3. Werden diese vier Bausteine innerhalb eines Produktionssystems betrachtet, so fügen sich Hauptprozess und dessen Unterprozesse zu einem Fluss zusammen. Innerhalb dieses *Flussmodells* sind ausschließlich die Transformationen (Umwandlungen) wertschöpfend. Die anderen drei Operationstypen (Inspektion, Transport und Warten) sind bezogen auf das Produkt oder die Dienstleistung nicht wertschöpfend. Sie können höchstens als Unterstützungsprozesse notwendig sein, sind jedoch nach dem Wertschöpfungsgedanken möglichst zu minimieren [San-‘99][Kos-‘00].

Hierin liegt ein wesentlicher Unterschied zwischen dem herkömmlichen Transformationskonzept und dem Grundkonzept des schlanken Produktionsmanagements nach TPS, woraus das LMB und das TFV-Konzept (Flussmodell) entwickelt sind. Dem Flussmodell liegt die Annahme zugrunde, dass die Summe der Einzeloptima, bezogen auf die ausschließliche Betrachtung der Transformationsprozesse per-se, nicht notwendigerweise das Gesamtoptimum eines Produktionsprozesses ausmacht [Kos-‘00][Kos-‘07]. Daher gilt es, zuerst den Gesamtprozess mit seinen verschiedenen Transformations- und Operations-Flusstypen als Prozess zu betrachten, bevor einzelne Arbeitsstationen verbessert werden.



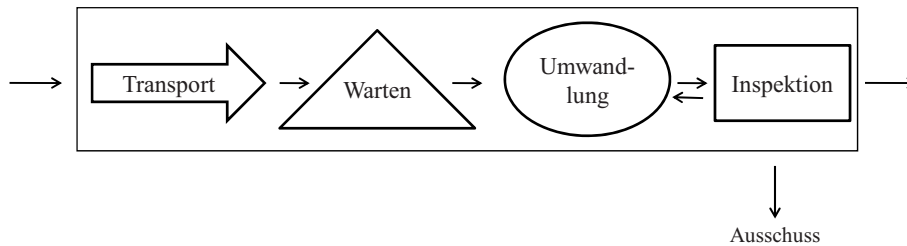


Abbildung 3.3. Das Flussmodell [San-'99] [Kos-'00]

Als dritte Dimension bringt Koskela (2000) die **Wertperspektive** ein, indem die Perspektiven der Endkunden mit ihrer Vorstellung von „Wert“ und „Wertschöpfung“ als Gesamtsicht in die Produktionsprozesse integriert werden sollen (Abbildung 3.4). Das wesentliche Ziel von Produktionsprozessen ist für den Kunden Wert zu schaffen, indem seine Erwartungen erfüllt und seine Bedürfnisse befriedigt werden. Fifield (2005) geht mit seiner Aussage noch weiter, dass es das Wichtigste für ein Unternehmen sei, „to create value for the client and a profit for the company“ [Fif-'05]. Diese Aussage erscheint trivial, ist jedoch entscheidend für das Bewusstsein und die Arbeitshereingangsweise von Mitarbeitern in industriell- kundenentkoppelten Produktionsstätten, wie es teilweise in der Baudindustrie, aber auch in der Einzel- und Kleinserienfertigung des Stahlbaus der Fall ist<sup>16</sup>. In der Realität ist die messbare Realisierung des Wertmodells sehr schwierig, wenn beispielsweise im Bauwesen der Endkunde zum Zeitpunkt der Produktion noch nicht feststeht [Hei-'06].

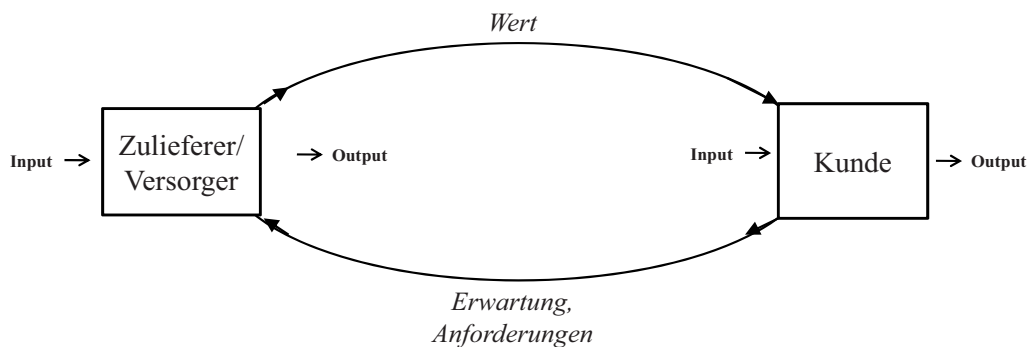


Abbildung 3.4. Die Wertperspektive [San-'99] [Kos-'00]

Indem die drei Modelle *Transformation*, *Fluss* und *Wert* zusammengenommen und integriert werden, entsteht das TFV-Konzept.

<sup>16</sup> Mehr als 50% der in den Fertigungsabteilungen befragten Personen innerhalb der Unternehmensfallstudien waren noch nie auf einer Montagebaustelle, wo ihre Stahlprodukte errichtet werden.

### 3.3.2 Weiterführung und Neuerungen innerhalb von TFV

Eine Verfeinerung der Betrachtungsweise des Transformations-Fluss-Wert-Modells entsteht, indem zwei Interpretationen aufgezeigt werden [Kos-'06][Kos-et-al-'07]: Das objektorientierte TFV-Modell (1) und das prozessorientierte TFV-Modell (2). Ersteres wird „*thing-metaphysics based TFV (TFV<sub>t</sub>)*“ genannt und letzteres wird als „*process-metaphysics-based TFV (TFV<sub>p</sub>)*“ bezeichnet. Koskela et al. (2007) fordern die richtige Gewichtung der einzelnen Bestandteile, und definieren dadurch unterschiedliche Managementauswirkungen und Verständnisbedeutungen von „Kontrolle“.

Das TFV-Modell allgemein betrachtet besteht aus der Integration der genannten drei Bestandsmodelle: der Transformation (T), des Flusses (F) und der Wertschöpfung (V). Wie diese Integration der drei Teile stattfinden soll, wird von Koskelas Theoriekonzept nicht dargestellt, es bleibt Aufgabe des Anwenders. Des Weiteren werden die zwei verschiedenen Ausrichtungen (TFV<sub>t</sub> /objektorientiert oder TFV<sub>p</sub> /prozessorientiert) innerhalb seines Modells diskutiert, deren Gewichtung entscheidend für das richtige Verständnis und die Anwendbarkeit des TFV-Modells ist. Das Transformationsmodell per-se ist objektorientiert ausgerichtet, d.h. der Fokus liegt auf den Produkten und deren Verarbeitung. Das Flussmodell hingegen legt die Gewichtung auf den Prozess. Hierbei werden schwerpunktmäßig nicht die Einzelprodukte als Objekte mit Einzelstationen betrachtet, sondern der Prozess als ein Gesamtfluss, den es zu verbessern gilt. Koskela (2005) interpretiert daher neu die Begriffe Transformation, Fluss und Wert.

Ein Verständnis nach TFV<sub>t</sub> bedeutet, dass die Objektorientierung des Transformations-Modells weiterhin eine starke Gewichtung beibehält. Dadurch ist der Innovationscharakter des Theoriekonzeptes stark reduziert. Die im TFV<sub>t</sub> vorliegende Objektorientierung lag bereits im Taylorismus vor, erbrachte jedoch nicht die gewünschten Effekte von kontinuierlichen Prozessabläufen, geringen Lagerhaltungsmengen und hoher Wertschöpfung. Das Transformationsmodell nach TFV<sub>t</sub> betrachtet die Produktion weiterhin als eine Art „Black-Box“, die nicht weiter verstehbar ist, als sie in kleinere Unterprozesse von „Black-Boxes“ mit Input-Output Beziehungen zu unterteilen. Laut Koskela und Kagioglou (2005) werden dabei die drei Annahmen vorausgesetzt, dass: (1) Aufgaben als Black-Box betrachtet werden, (2) die Aufgaben naturgemäß ähnlich seien und (3) beinahe unabhängig voneinander sind. Die Punkte (2) und (3) bedeuten wiederum, dass das Transformationsmodell linear (additiv) sein müsste. Auf einem solchen Ansatz basiert auch die Zergliederung in Unteraufgaben, wie es bei der Herangehensweise der „Business-process-breakdown-Struktur“ in der Projektplanung oder die Arbeitszergliederung bei Spezialisierungen in Fertigungsbetrieben, wie zum Beispiel die Aufteilung in Heft- und Schweißstationen zutage tritt.

Dem widerspricht das Phänomen von Prozessflüssen, die nach Koskela et al (2007) nicht linear sind. **Daher ist gefordert, mehr dem TFV<sub>p</sub>-Gedanken nachzukommen, und das Prozesskonzept für das Transformationsmodell neu zu überarbeiten.** Hierbei sollen Transformationen mit dem Begriff „Arbeit“ ersetzt werden, begründet in Shingo (1996) und der Tatsache, dass Transformationen durch Arbeit von Menschen und Maschinen getätigt werden [Shi-‘96][Kos-et-al-‘07].

Die Art und Weise der *Kontrolle* ist ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal zwischen TFV<sub>t</sub> und TFV<sub>p</sub>. In traditioneller TFV<sub>t</sub>-Herangehensweise besteht ein typischer Bauprozess aus der konsekutiven Abfolge von Planung, Ausführung und Kontrolle. Dies entspricht einem Management-Planungsmodell, das derzeit in den meisten deutschen Baufirmen und Stahlbauunternehmen vorliegt.

Schwierigkeiten daran sind folgende:

1. Es ist in der Regel nicht möglich, ein vollständiges und aktualisiertes Bild der Wirklichkeit und der beabsichtigten Tätigkeiten zu erhalten.
2. Das Modell basiert auf der Annahme, dass die Organisation aus zwei Teilen besteht, einem Managementteil und einem Ausführungsteil.
3. Pläne „drücken“ die Aufgaben zur Ausführung (push-Modus), ohne den aktuellen Status des Produktionssystems zu berücksichtigen.

Es besteht ein enger Zusammenhang zwischen Management-as-Planning, mit dem Verständnis von Ausführung als Befehl, und Kontrolle als Korrektur. Dies ist eine problematische Sichtweise, weshalb TFV<sub>t</sub> von Koskela (2007) als unzureichend angesehen wird [Kos et al ‘07].

Im Gegensatz dazu sind die Neuerungen und Unterscheidungen des TFV<sub>p</sub>-Ansatzes wie folgt in Tabelle 3.3 in Anlehnung an [Kos-et-al-‘07] dargestellt.

Tabelle 3.3. Gegenüberstellung verschiedener Verständnisse von Kontrolle

<b>Vergleichskriterien</b>	<b>TFVt- Verständnis von Kontrolle</b>  basierend auf <u>Objekt-</u> metaphysischem Verständnis	<b>TFVp –Verständnis von Kontrolle</b>  basierend auf <u>Prozess-</u> metaphysischem Verständnis
<b>Grundannahmen in Bezug auf Produktionskonzepte</b>	Die Gesamtaufgabe und die Teilaufgaben werden als „Black-Boxes“ betrachtet	Externalisierung von Kompetenz zur Aufgabenausführung; (z.B. durch Visualisierung)
	Aufgaben sind ähnlich	Unterschiedliche Arten der Kontrolle, abhängig von der Art der Aufgabe
	Aufgaben sind unabhängig voneinander	Holistischer Ansatz, Aufgaben werden in ihrem Gesamtzusammenhang betrachtet
<b>Ausprägungen der Art des Managements</b>	Zentralistische Betrachtung und Wahrnehmung (centralized cognition); z.B. bestimmte Individuen als Führungssubjekte	Gleichmäßig verteilte Wahrnehmung (distributed cognition)
	Handlungen des Managements sind diskontinuierlich	Handlungen des Managements sind kontinuierlich
	Dinge und ihre Abstraktionen sind die Zielobjekte des Managements	Prozesse und Veränderung sind die Zielobjekte des Managements
	Festgesetzte Ziele: Aufgabenerledigung	Aufrechterhaltung eines Zusammenpassens zwischen verschiedenen Aspekten und Teilen innerhalb einer Situation
<b>Inhalt des Managements</b>	Management-as-planning	Management-as-organizing
	Ausführung als Befehle	Ausführung als Überzeugung & Konversation
	Kontrolle als Richtigstellung	Kontrolle als Lernen

Insgesamt gibt es wenige Managementansätze die beschreiben, wie Prozessorientierung und Flüsse eingeleitet und verbessernd gesteuert werden können [Kos-et-al-'07]. Dennoch besteht eine Möglichkeit in der pull-Kontrolle. Der Unterschied zwischen pull und push erklären Hopp und Spearman [Hop-'06]: „Push-Systeme (drückend) planen die Freisetzung von Arbeit, während pull-Systeme (ziehend) die Freisetzung von Arbeit autorisieren, basierend auf der aktuellen Situation des Systems“. Das heißt, push-Systeme als “drückende” Systeme verrichten die Arbeit basierend auf

einem Plan (Management-as-Planning), wohingegen pull-Systeme als „ziehende“ Systeme die Systemsituation mit in Betracht ziehen und die Produktionssteuerung aktuell auf Bedarf und Kapazität ausrichten (Management-as-Organizing). Der Forderung folgend, den TFV<sub>p</sub> Ansatz weiterzuentwickeln, entsteht das Konzept „Construction-Physics“ mit sieben verschiedenen Arten von Fluss.

### 3.3.3 Construction-Physics: Sieben verschiedene Arten von Fluss

Unter dem Begriff „Construction-Physics“ sind die Neuerungen des TFV-Konzeptes mit einer Ableitung von „Factory-Physics“ verbunden [Ber-‘06][Kos et al-‘07]. Dabei werden sieben verschiedene Arten von Fluss definiert: Arbeit (1), Materialien (2), Maschinen/Werkzeuge (3), Raum (4), Handwerker (5), Informationen (6) und externe Bedingungen (7). Eine erste publizierte Anwendungsstudie führt in die sieben verschiedenen Flüsse anhand eines Krankenhausbauprojektes ein. Dabei konnten erhebliche Verbesserungen des Gesamtergebnisses bezüglich Produktivität und Sicherheit erreicht werden [Cou-‘07].

Mit Construction Physics ist ein Verständnis von „Fluss“ und dessen Interaktionen mit dem Bauprozess bezeichnet. Es behandelt beispielsweise wie der „Fluss“ von Materialien auf den „Fluss“ von Raum wirkt [Ber-‘06]. Als der *kritische Fluss* wird derjenige bezeichnet, unter dem im Gesamtentstehungsprozess niedrige Produktionsraten, Diskontinuität und Engpässe entstehen<sup>17</sup>. Laut Construction Physics ist der Bau als ein kontinuierlicher Prozess zu betrachten, der durch eine Anzahl von Zuflüssen gespeist wird, wobei der Inhalt der Zuströme über das wirkliche Betriebsergebnis entscheidet [Cou-‘07]. Dieser kritische Fluss soll identifiziert und bearbeitet werden [Ber-‘06]. Dennoch gibt es bisher keine ins Detail gehende wissenschaftliche Untersuchung zu der von Bertelsen (2006) und Koskela et al (2007) erstellten These von „Construction-Physics“. Im Anhang 3B sind die Inhalte der sieben Arten von Fluss ausführlich beschrieben.

---

<sup>17</sup> Vergleiche die Ähnlichkeit mit den Aussagen von Goldratt [Gol-‘90] in Theorie der Engpässe (Kapitel 3.1.2)

### **Fazit-Box 5: Theorie von Lean-Management im Bauwesen (TFV-Konzept)**

Das Theoriekonzept von Lean-Management im Bauwesen (LMB; Lean-Construction) basiert auf dem Transformations-Fluss-Wert-Modell (TFV) nach Koskela [Kos-'00]. Die dem Produktionsmanagement im Bauwesen typischen Muster sind innerhalb des TFV-Konzeptes erklärt, wobei die Gewichtung zwischen Transformationsmodell und Flussmodell eine wesentliche Rolle spielt. Hierin findet die Unterscheidung zwischen herkömmlicher Produktionssteuerung nach Taylorismus und dem Lean-Gedanken nach dem prozessorientierten TFV<sub>p</sub>-Ansatz statt.

Dies hat Auswirkungen auf den Managementstil zur Steuerung der Prozessverbesserung und beeinflusst auch die Form der Kontrolle. Vorwegnehmend gibt es hier deutliche Parallelen zur Anwendungsmethodik der Produktionssteuerung nach dem Taktzeitprinzip und der Last-Planner-Systematik.

Construction-Physics ist eine Weiterführung des TFV-Gedankenguts, indem sieben verschiedene Arten von Fluss definiert sind, deren Zusammenwirken und Engpässe für das Betriebsergebnis entscheidend sind. Construction-Physics konkretisiert die bereits durch Goldratt [Gol-'90] erhobene „Theory of Constraints“, bezogen auf das Bauwesen.

### 3.4 Verbesserungsmethoden: Lean-Management im Bauwesen (LMB)

Lean-Management im Bauwesen setzt zur Prozessverbesserung auf drei unterschiedlichen Ebenen an, wie in Tabelle 3.4 dargestellt [Geh.et.al-‘10]:

(1) Kollaborative Verträge (über Unternehmensgrenzen hinweg), (2) Planungs- und Designebene, inklusive Produktionsplanung und Steuerung sowie (3) die rein operative Ausführungsebene. Im Fall des Bauwesens sind unter der operativen Ebene sämtliche Tätigkeiten im Zusammenhang der Bauwerkserrichtung gemeint.

Tabelle 3.4. Übersicht über die drei wesentlichen Wirkebenen von LMB

Vertragsebene	<p><b>Neue kooperative Vertragsformen</b>          Eine sehr erfolgreiche Form dazu aus dem öffentlichen Bausektor ist das australische Vertragsmodell des „Alliancing“, oder aus dem privaten Bausektor das amerikanische Vertragsmodell der „Integrated Form of Agreement“ (IFOA).          In Deutschland entwickelt Gehbauer et. al. und Kapellmeister et. al. ein Allianzvertragsmodell, zunächst mit Gültigkeit für den privaten Bausektor (Beispiel Kraftwerksbau).</p>
Planungs- und Designebene	<p><b>Last-Planner System® (LPS)</b>          Das LPS ist eine Vorgehensmethodik zur Projektplanung und Projektausführung. Mittels LPS wird nicht nur ein Zeitplan erstellt, sondern es kann ein Produktionsplan entwickelt werden, Prozesse verstetigt, Pufferzeiten eliminiert werden, und es kann gemeinsames Lernen mit allen Bauprozessbeteiligten (auch Subunternehmer) stattfinden. Wenn LPS richtig angewandt wird, können zudem erheblich weniger Nachträge entstehen [Bal-‘00].</p> <p>Die <b>Taktzeitsteuerung</b> ist eine Planungsmethodik, mit deren Hilfe der Bauablauf in gleichen Losgrößen hinsichtlich der Arbeitspakete getaktet, und dadurch der Produktionsfluss verstetigt wird.</p>
Operative Ausführungsebene Baustelle	<p>Eine Fülle von Methoden und Werkzeugen steht auf der Baustellenebene zur Verfügung, deren Einsatzeffekte bisher aber nur ansatzweise quantifiziert wurden. Einige wesentliche Beispiele sind:</p> <p><b>Wertstromanalyse</b> um Prozesse richtig zu verstehen und ggf. Durchlaufzeiten oder Produktionszykluszeiten zu berechnen.  <b>Kanban und Pull-Methoden</b> zur Optimierung des Materialflusses und zur Reduzierung der Bestände.  <b>5W</b> als Wurzelfehleranalyse und <b>5S</b> als Vorgehensprinzip der Sauberkeit und Ordnung.  <b>Der Baustellenleitstand</b> als Kommunikationstafel für tägliche Kurzbesprechungen auf der Baustelle, sowie direkte Leistungsvisualisierung und Fehler-Verbesserungsverfolgung pro Gewerk, mit Verknüpfung zu LPS und der Shop-Floor-Management-Methodik [HoHi-‘10].  <b>Standardisierung</b> der Arbeitsprozesse und Einführung einer <b>Systematik der Kontinuierlichen Verbesserung (KVP)</b>, Andon, das „Big Room“-Konzept u. v. m..</p>

Die derzeit wichtigsten Methoden des Lean-Managements im Bauwesen sind neben **neuen kollaborativen Vertragsformen** das **Last-Planner-System®** (LPS), die **Taktzeitsteuerung**, und Methoden des **Shop-Floor-Managements**. Last-Planner ist ein kooperierendes Planungs- und Ausführungssystem. Das Taktzeitmodell hingegen steht für eine ausführliche Planung und anschließende hierarchische Verstetigung von standardisierbaren Produktionsprozessen durch strenge Vorgabe von Taktzeiten. Methoden des Shop-Floor Managements, wie im Baustellenleitstand adaptiert, greifen in die praktische Umsetzung und Visualisierung von Prozessmessung und Prozessverbesserung vor Ort, in der Stahlbaufertigung, oder auf der Baustelle ein. Im Folgenden werden diese drei Methoden näher vorgestellt, da sie auch im Kontext der Einzel- und Kleinserienfertigung des Stahlbaus und an der Schnittstelle zu Baustellen für einen geregelten Projekt- und Materialfluss relevant sind.

#### 3.4.1 Last-Planner-System (LPS), zur Planungs- und Ausführungsverbesserung

Auch im Rahmen dieser Forschungsstudie über Produktionsflussoptimierung und Verbesserung an organisatorischen Schnittstellen ist das **Last-Planner-System** (LPS) als ein **ganzheitliches pull-Projektmanagementsystem** sehr relevant und stellt eine Hauptmethode des LMB dar [Geh-‘06a]. Hierbei geht es um eine **kollaborative Planung und Bauausführung**, um das Erreichen einer guten **Zusammenarbeit** im Fertigungsablauf, und um das Aufbauen einer **Vertrauenskultur** über Organisationseinheiten hinweg. LPS ist vor allem auch für komplexe Projekte mit vielen verschiedenen Beteiligten geeignet.

LPS wurde von Ballard [Bal-‘00] als eine ganzheitliche Planungssystematik im Projektmanagement entwickelt. LPS lenkt und kontrolliert das Netzwerk von Zusagen, das zur termingerechten Fertigstellung von anspruchsvollen Projekten notwendig ist, und setzt dabei auf eine kooperative Zusammenarbeit [Bal-‘00][Geh-‘06a][Ste-‘09]. Indem die am Projekt beteiligten ausführenden Personen (Last-Planner) innerhalb von Tages-, und Wochenbesprechungen integriert werden, wird sichergestellt, dass die zur Erstellung notwendigen Prozesse und Arbeitsschritte von allen Prozessbeteiligten verstanden und nachvollzogen werden können [Geh-‘06a]. Dem steht die herkömmliche Projektmanagementplanung nach der „Work-Breakdown-Struktur (WBS)“ gegenüber. Bei WBS sind die Aufgaben zeitabschnittsweise hierarchisch geplant, und die Ausführung ist ebenfalls hierarchisch kontrolliert.

Beim Last-Planner-System findet eine Planungsuntergliederung in fünf Phasen statt [Geh-‘08][Ste-‘09]:



1. *Rahmenterminplan* (6 Monate-Planung mit Festlegung der wichtigsten Meilensteine und damit Ausgangsbasis für den kooperierenden Phasenterminplan).
2. *Kooperierender Phasenterminplan* (gemeinsame Visualisierung und Festlegung der zum Erreichen der geplanten Meilensteine notwendigen Arbeiten. Dies geschieht mittels Aufkleben von aufgereihten, voneinander abhängigen „Postits“ durch die Last-Planner).
3. *Vorschauplanung* (in regelmäßigen Zeitabständen werden die aus der kooperierenden Phasenterminplanung zu erwartenden Hindernisse und fehlenden Voraussetzungen aufgegriffen und beseitigt, um ein hindernisfreies Arbeiten für die nächste LPS-Phase zu gewährleisten).
4. *Detailplanung, d.h. Tagesplanung und Produktionsplanung* (Ausführung der aufgeführten Arbeiten und Warten auf Ausführung, wobei die Erfüllung der Einzelaufgaben durch Zusagen der Ausführenden gewährleistet ist, was in dieser Phase täglich/wöchentlich überprüft wird).
5. *Auswerten, Lernen, Verbessern* (Durch die Überprüfung der in der vorherigen Sitzung stattgefundenen Zusagen, und durch die Analyse der Gründe für Nichteinhaltung von gemachten Zusagen, wird Motivation, Lernen und Verbesserung gefördert).

Der Unterschied zur herkömmlichen Projektplanung liegt im Wesentlichen in der kooperativen Phasenplanung, sowie der Umkehrung der Ausführung in der Feinplanung. Diese findet zeitnah wöchentlich oder täglich durch Besprechungen mit den bauausführenden Mitarbeitern statt. Dabei wird der jeweilige Mitarbeiter (das letzte Mitglied in der Ausführungskette) gefragt, bis wann er verbindlich und zuverlässig die jeweilige Aufgabe erledigen kann. Im gemeinsamen Gespräch findet so die Abstimmung kommunikativ und direkt statt. Dadurch ergibt sich eine höhere Zuverlässigkeit der Zusagen, die anschließend innerhalb eines PEA-Kennwertes<sup>18</sup> gemessen und überprüft werden. Gleichzeitig können durch die kooperative Zusammenarbeit zeitliche Sicherheitspuffer eliminiert werden, die bei der herkömmlichen Projektplanung automatisch von jedem Gewerk für die anderen Projektbeteiligten unsichtbar eingeplant werden, und den Projektlauf insgesamt verlängern. Abbildung 3.5 stellt die Vorgehensweise des Last-Planner-Systems schematisch dar. Auf diese Weise werden Zusagen und Planung als Arbeitsfluss von den ausführenden Personen zum richtigen Zeitpunkt angefragt und eingefordert, was einem sogenannten „pull“ entspricht, und die Zuverlässigkeit eines geregelten Arbeitsflusses erhöht.

---

<sup>18</sup> PEA-Wert = 100% Prozent der erbrachten Arbeiten (englisch: PPC-Wert),= Anzahl der versprochenen Zusagen / Anzahl der 100% erledigten, versprochenen Zusagen [Geh-'06a].

## Last Planner System , LPS®

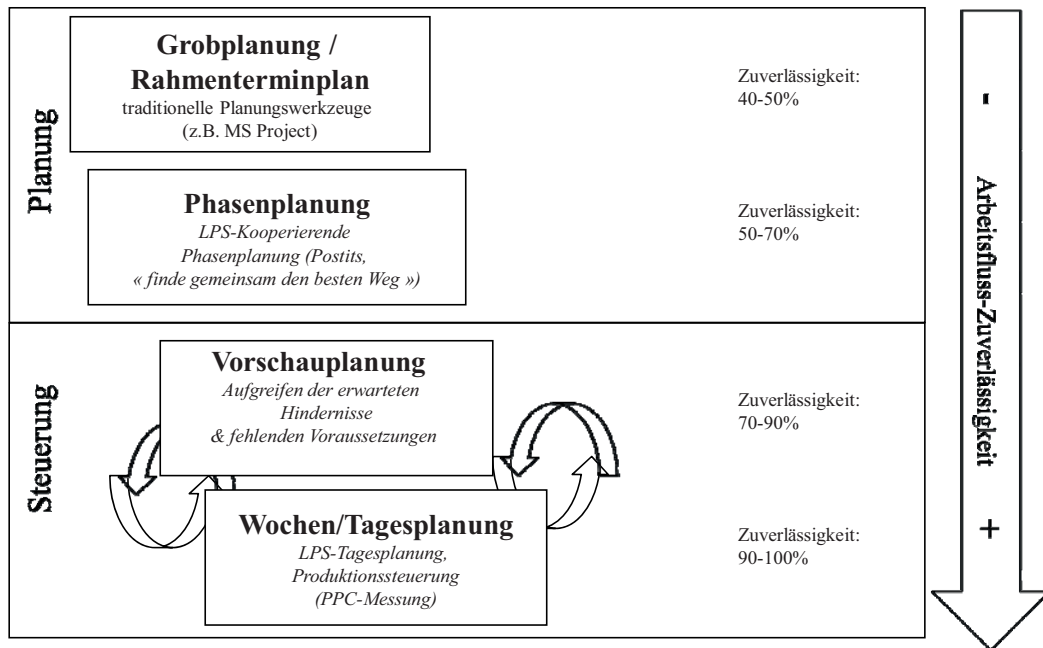


Abbildung 3.5. Phasen des Last-Planner-Systems® [Geh-‘06a][Ste-‘07]

Relevant wird die Last-Planner-Systematik für die Forschungsarbeit durch die Demonstration, wie Organisationseinheiten unterschiedlicher Gewerke durch eine gezielte Vorgehensweise verbunden werden können. Damit lässt sich die Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit der Planungs- und Produktionsprozesse deutlich erhöhen. Dies gilt insbesondere für die Absprache zwischen Baustelle und Fertigungswerk, aber auch in ähnlicher Form für die Kommunikation innerhalb von SFM-Systemen. Schwierigkeiten bestehen beim Last-Planner-System allerdings in der richtigen Definition und Größeneinteilung der einzelnen Aufgabenpakete, die mittels der PEA-Messungen kontrolliert werden [Ste-‘08]. Sind die Aufgaben beispielsweise in zu kleine Größen eingeteilt, und falsch über die Projektplanungslänge verteilt, so kann gegebenenfalls trotz eines hohen PEA-Wertes das Gesamtergebnis in zeitlichen Verzug geraten. Ähnliches gilt, wenn Aufgabenpakete zu groß und über lange Zeiträume dimensioniert werden, wodurch die Übersicht im Detail der Feinplanung verloren gehen kann. Daher genügt zur Projektplanung mit Hilfe von LPS eine ausschließliche Betrachtung des PEA-Wertes (Phase 3-4) als Steuerungsinstrument nicht [Dob-‘08], sondern bedarf einer kooperativen Phasenplanung.

### 3.4.2 Produktionsverbesserung über Taktzeitsteuerung

Die Taktzeitsteuerung stammt aus der Fertigungsindustrie und steht im Zusammenhang mit Prozessstetigkeit, Transparenz und Produktionsoptimierung. **Ziel** der Taktzeit ist die Leistungsberechnung und Steuerung von Produktions- und Prozessabläufen. Laut Rother (2001) wird

der „Puls des Projektes gemessen“, um daraufhin eine synchronisierte Taktzeit in der „Zelle“ (= definierter Arbeitsabschnitt) zu erreichen [Rot-‘01]. Die Taktzeit und Zykluszeit dient zur Anpassung der Produktionskapazitäten an einen kalkulierten Rhythmus, um eine gleichmäßige Geschwindigkeit des Prozesses zu erhalten [Kai-‘09]. Definiert ist die Taktzeit als diejenige Zeit, in der ein Kunde fertige Einheiten abnimmt [Rot-‘01], und berechnet sich nach Ohno mit der Formel:

$$Takt = \frac{Verfügbare\_Arbeitszeit\_pro\_Periode}{Kundennachfrage\_in\_Periode}$$

Die Referenzzahl „Takt“ dient dazu, die Produktionsrate zu steuern und mit der Verkaufsrate zu synchronisieren. Das heißt, neben der Visualisierung der aktuellen Produktivität können Abweichungen vom Planungssoll leichter erkannt und Aussagen über Fertigstellungstermine besser getroffen werden.

Taktzeitsteuerung wird mittlerweile auf einigen Baustellen erfolgreich zur Prozessverbesserung eingesetzt, indem die Baustelle wie ein stationäres Produktionswerk betrachtet und getaktet wird.

Im Gegensatz zum kooperativen LPS wird bei der Taktzeitsteuerung hierarchisch vorgegeben, welche Leistung pro Zykluszeit zu erreichen ist. Danach müssen sich alle Prozessbeteiligten (inklusive Subunternehmer) ausrichten, um dieses Soll zu erreichen [Kai-‘09]. Taktzeitsteuerung bedeutet sozusagen „autoritäre Prozessverstetigung“. Sie ist geeignet für sich wiederholende Prozesse, insbesondere mit einer begrenzten Anzahl an beteiligten Organisationseinheiten. Innerhalb des Stahlbaus und des Bauwesens gibt es einige mögliche Anwendungsbereiche mit diesen Charakteristiken, wie zum Beispiel die Steuerung von einigen Fertigungsabschnitten mit standardisierten Produkten im Stahlbauwerk, oder Linienbaustellen im Straßenbau. Die Vorstudien im Kapitel 4 geben Hinweise darauf, dass in deutschen Stahlbauunternehmen bisher jedoch weder Taktzeitsteuerung, noch LPS-Steuerung eingeführt oder getestet wurde.

### **3.4.3 Vergleich von Taktzeit und LPS bei Bauprojekten**

Im Folgenden wird die Annahme des Taktzeit-Prinzips (Abb.3.6) der Annahme des Last-Planner-Prinzips (Abb. 3.5) gegenübergestellt. Hinter dem Taktzeitvorgehen im Bau steckt vereinfacht das Denkmuster, dass die Zukunft beherrschbar ist, indem gründlicher, ausführlicher, und besser geplant wird. Im Idealfall erfolgt die Ausführung erst nach Fertigstellung der Detailplanung. Bauprozesse werden durch einen streng vorgegebenen Baurhythmus in Form einer Taktung verstetigt, mit der vereinfachten Vorstellung, die Baustelle sei eine stationäre Fabrik.

## TAKTZEIT-PRINZIP

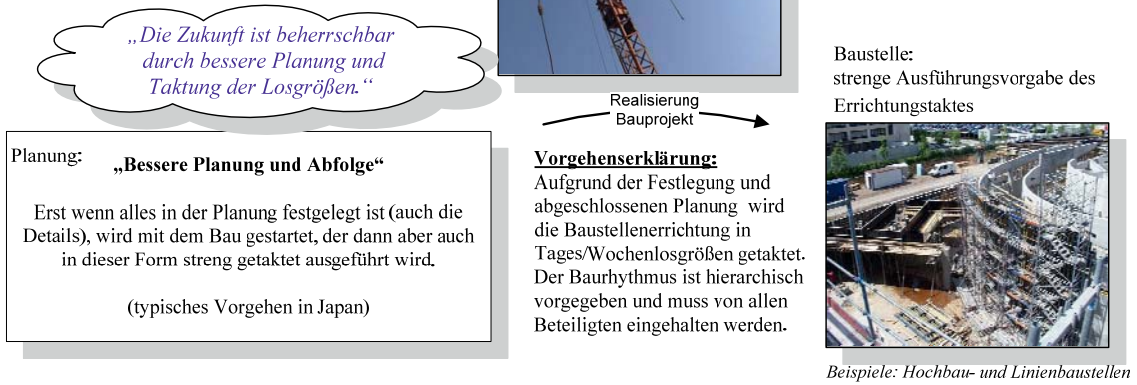


Abbildung 3.6. Taktzeitprinzip: Hintergrundmuster und Vorgehen im Bau

Bei einem Beispiels einer Linienbaustelle konnte nach Einführung der Taktzeit eine Produktivitätssteigerung von 30% erreicht werden [Kai-‘09], da durch die Taktung mit einer Produktionszelle eine bessere Nutzung der Maschinen, Weg- und Bauzeitverkürzung und Prozessverstetigung erzielt wurde. Die Taktzeitsteuerung hat jedoch bei großen komplexen Bauprojekten mit vielen Subunternehmern bisher ihre Anwendungsgrenzen, insbesondere wenn die Produktionsprozesse ein geringes Maß an Wiederholungsgraden aufweisen. Die hierarchische Vorgabe der Taktzeit an alle Projektbeteiligten fördert zwar die Prozessverstetigung, führt aber nicht implizit zu Lernprozessen oder kontinuierlichen Verbesserungsautomatismen der Projektbeteiligten.

Dem gegenüber liegt dem Denkmuster der Last-Planner-Vorgehensweise zugrunde, dass die Zukunft „ungewiss“ ist. Dafür wurde eine Planungs- und Ausführungssystematik entwickelt, die mit dieser Komplexität bestmöglich umgeht (vgl. Abb. 3.7).

## LAST-PLANNER-PRINZIP

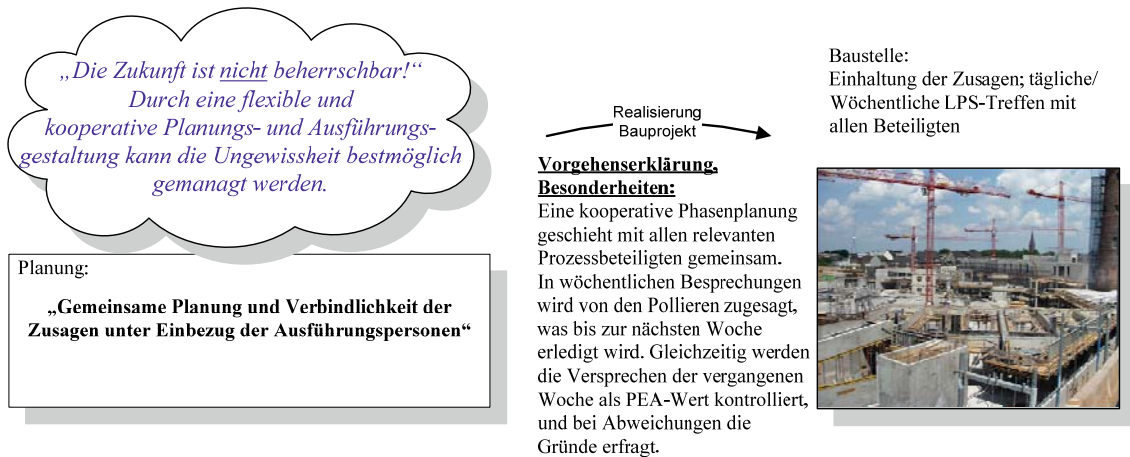


Abbildung 3.7. Last-Planner-Prinzip: Hintergrundmuster und Vorgehen

Das LPS wurde in Deutschland beispielsweise auf einer Hochbaustelle mit öffentlichem Auftraggeber eingesetzt. Hierbei konnten in den ersten beiden Projektabschnitten erhebliche Verbesserungen erreicht werden. Durch erhöhte Zuverlässigkeit der Terminzusagen konnte eine Produktionsverstetigung, eine exaktere Bauzeiteinhaltung, sowie eine Baukultur des Vertrauens geschaffen werden [Geh-‘08][Ste-‘09]<sup>19</sup>. Tabelle 3.5 zeigt eine Gegenüberstellung der Taktzeit- und LPS-Methode hinsichtlich der jeweiligen Voraussetzungen, deren Vorteile und Schwachpunkte. Markant ist dabei die Ähnlichkeit zu dem Theorievergleiche von Koskela (TFVp- und TFVt-Modell, Tabelle 3.3).

Der Stahlsystembau bietet mit seinen sich wiederholenden Produktionsschritten, seinem Projektcharakter und den verschiedenen involvierten Organisationseinheiten sowohl für die Taktzeitsteuerung, als auch für das Last-Planner-System gute Anwendungsmöglichkeiten.

<sup>19</sup> Der dritte Bauabschnitt des Projektes zeigte jedoch auch die Nachteile des kooperativen Planungssystems auf, indem ein neu dazugekommener wesentlicher Projektbeteiligter sich auf Nachtragsgenerierung ausrichtete, und nicht bereit war, an der Kooperation maßgeblich mitzuwirken. Wenn an dieser Stelle der Bauherr nicht über notwendige kooperative Eingliederung oder Kündigung eines solchen Projektbeteiligten entscheidet, hat die gesamte LPS-Systematik wenig Einfluss auf die Verbesserung von Prozessen [Ste-‘09].

Tabelle 3.5. Gegenüberstellung von Taktzeit- und LPS-Steuerung

Vergleichs-Kriterium	Taktzeit-Steuerung	Last-Planner-System
<b>Prinzip</b>	<p>Taktzeitberechnung der Ist-Situation in der Produktion.</p> <p>Hierarchisch-autoritäre Vorgabe des Soll-Taktes.</p> <p>Leistungsmessung über Taktzeit.</p> <p>Optimierungskontrolle über Vergleich der veränderten Taktzeit.</p> <p>Fokus auf Produktion.</p> <p>Kontrolle als Richtigstellen und Leistungsüberwachung.</p>	<p>Kooperative Meilensteinplanung, Detailplanung über Zusagen, wöchentliche/tägliche Rückfragen und Auswertung der Einhaltung der Zusagen über gemeinsame Besprechungen (PEA-Wertermittlung).</p> <p>Leistungsmessung auch indirekt, über terminlich eingehaltene und fertig abgeschlossene Aufgaben.</p> <p>Optimierungskontrolle über Verlauf des Prozentsatzes des PEA-Wertes.</p> <p>Anwendungsfokus auf Planung, Design, Ausführung = Produktion.</p> <p>Kontrolle als Lernen.</p>
<b>Notwendige Voraussetzung</b>	<p>Wiederholbarkeit der Prozesse.</p> <p>Autoritätsinstanz zur Umsetzung der Vorgaben.</p> <p>Der Bauherr muss dies wollen.</p>	<p>Bereitschaft der Projektbeteiligten zur Kooperation und Offenheit.</p> <p>Ziel auf Nachträge zu verzichten und gemeinsam das Projekt zu optimieren.</p> <p>Der Bauherr muss dies wollen.</p>
<b>Projekt-/ Unternehmenskultur</b>	<p>Hierarchisch (Vorgabe und Autorität),</p> <p>d.h. der Zieltakt wird vorgegeben und muss von allen Projektbeteiligten eingehalten werden.</p>	<p>Kooperativ (Vertrauen und Kooperation),</p> <p>Möglichkeit zur Kooperation gleichberechtigter Projektpartner mit einem externen Moderator.</p>
<b>Vorteile</b>	<p>Klare Leistungsmessung und Verbesserungsmessung möglich.</p> <p>Bei den richtigen Prozessen und Rahmenbedingungen schnell umsetzbar.</p> <p>Schnelle kurzfristige Verbesserung.</p>	<p>Wenn alle Projektbeteiligten kollaborieren kann das Gesamtprojekt nachhaltig verbessert werden.</p> <p>Lernkultur entsteht über Unternehmensgrenzen hinweg.</p> <p>Verbesserte Qualität &amp; langfristige KVP erhältlich; positive Projektatmosphäre.</p>
<b>Schwachpunkte</b>	<p>Kein implizites Lernen.</p> <p>Schwierig anwendbar auf komplexe Projekte mit vielen produktionsbeeinflussenden Variablen.</p> <p>Notwendigkeit einer Autorität.</p>	<p>Wenn ein wesentlicher Projektbeteiligter nicht zur Kooperation bereit ist, kann die ganze Systematik des LPS blockiert werden.</p>
<b>Anwendungs-Beispiele und Projektcharakter</b>	<p>Linienbaustelle (Straßenbau),</p> <p>Hochbaustelle (Rohbau im standardisierten Stockwerksbau)</p>	<p>Jegliche Art von Baustelle und Projekt, vor allem auch in der Planungsphase sinnvoll, wenn verschiedene Projektbeteiligte vorliegen. Beispiel: Hochbau (Rohbau und Innenausbau)</p>

### **Fazit-Box 6: Wesentliche Ausführungsmethoden von Lean-Management im Bauwesen (LMB)**

Für die Prozessverbesserung im Stahlbau (Fertigung und Baustelle) wurden innerhalb dieser Forschungsstudie als relevante LMB-Methoden das Last-Planner-System, das Taktsteuerungsprinzip und der Baustellenleitstand ausgewählt.

Hinter der Taktsteuerung steckt der Fokus auf einer genauen und festgelegten Planung. Nach Abschluss der Planung wird der Ausführungsrhythmus hierarchisch streng als Taktung vorgegeben.

Last-Planner basiert auf kooperativer Planung und Ausführung, indem die Ungewissheit des genauen zukünftigen Bauablaufs und dessen Komplexität in das LPS-Vorgehen der Planung und Ausführung einbezogen wird.

Der Baustellenleitstand fördert die Kommunikation, Prozessvisualisierung und die kontinuierliche Verbesserung am Ort des Geschehens bei der Baustellenausführung.

## 4 VORSTUDIEN IM STAHLBAU

Der Stahlbau zählt je nach Produktausprägung zur Einzel- oder Kleinserienfertigung. Die Unterscheidung der Einzel-, Kleinserien- und Großserienindustrie ist im Folgenden erklärt, da die Produktausprägung und der Wiederholungsgrad einen großen Einfluss auf die Untersuchungsmöglichkeiten und Einführung von Lean-Management-Methoden hat.

### 4.1 Merkmale der Einzelfertigung und Kleinserienproduktion

Die Einteilung produzierender Gewerbe in die vier Kategorien (Einzelfertigung, Kleinserienproduktion, Großserienproduktion und Massenproduktion), basiert nach [Sch-‘06][Pet-‘09] auf der durchschnittlich gefertigten Jahresstückzahl und Losgröße. Die charakteristischen Eigenschaften sind in Abbildung 4.1 dargestellt [Sch-‘06][Pet-‘09]. Einzelfertigung unterscheidet sich von der Kleinserienfertigung durch eine noch ausgeprägtere Produktvielfalt und besonders kleine Stückzahlen (1-10). Eine offizielle und eindeutige Unterscheidung zwischen Kleinserienproduktion und Einzelfertigung, die auch für die Stahlsystembaufertigung anwendbar ist, gibt es nicht [Pet-‘09].

<b>Wert des Produktes</b>	klein (<5€)	mittel	groß (> 10.000 €)	
<b>Größe des Produkte</b>	klein (< 1dm³)	mittel	groß (> 5dm³)	
<b>Anzahl gefertigter Produkte pro Jahr</b>	< 100	100 - 9.999	10.000 – 1Mio	> 1Mio
<b>Erzeugnisspektrum</b>	Erzeugnisse nach Kundenspezifikation	Standarderz. mit kundenspezif. Varianten	Standard-erzeugnisse mit Varianten	Standard-erzeugnisse ohne Varianten
<b>Wichtigkeit eines Produktpreises</b>	klein	mittel	groß	
<b>Wichtigkeit einer Variantenvielfalt</b>	klein	mittel	groß	
<b>Wichtigkeit einer produktspezif. Dienstleistung</b>	klein	mittel	groß	
<b>Häufigkeit des Kundenbedarfs</b>	nicht wiederkehrend	blockweise	regulär	kontinuierlich
<b>Beschaffungsart</b>	überwiegend externe Beschaffung	teilweise externe Beschaffung	fast keine externe Beschaffung	
<b>Produktionstyp</b>	Einzelteilproduktion	Produktion in kleinen Los	Serienproduktion	Massenproduktion
<b>Produktionskonzept</b>	Engineer-to-Order	Make-to-Order	Make-to-Stock	

**Legende:**

□ <30%

■ 30-49%

▒ >50%

Abbildung 4.1. Merkmale eines Kleinserienfertigers [Sch-‘06]

Die Einzel- und Kleinserienfertigung wird meist von kleinen und Mittelständischen Unternehmen betrieben (KMUs), deren Produktionsmerkmale in großer Abhängigkeit zum Begriff des Produktes



selbst stehen. Je nach Betrachtungspunkt innerhalb der Wertschöpfungskette, hat der Begriff „Produkt“ aufgrund der Prozessveränderung verschiedene Bedeutungen. Ein Stahlträger beispielsweise, der innerhalb der Stahlbaufertigung in mehrere Einzelteile zersägt, anschließend zu Baumodulen abschnittsweise geheftet, und auf der Baustelle zu einem Gesamtgebäude errichtet wird, hat abhängig vom Betrachtungszeitpunkt unterschiedliche Größendimensionen, Komplexitätsgrade und Fertigungskonzepte.

Eine andere in der Bauindustrie übliche Einteilung der Produktionsunternehmen ist nicht produktspezifisch ausgerichtet, sondern anhand der Mitarbeiteranzahl in Kleinbetriebe (1-49 MA), Mittelständische Betriebe (50-199 MA) und Großunternehmen ( $\geq$  200 MA) [Die-‘08] [Sta-‘09] [Pet-‘09]<sup>20</sup> aufgeteilt.

Unterscheidungsmerkmale zwischen einzel-, und kleinserienorientierter Bauindustrie, sowie der Großserienindustrie im Automobilbau, sind nach [Ott-‘07] in Anhang 4A gegenübergestellt.

Santos [San-‘99] unternimmt eine Produktionskategorisierung durch die Variablen **Produkteigenschaft und Prozessalternativen**. Demnach sind Bauprojekte charakterisiert als Einzelprodukte mit hohen Einheitskosten und hoher Produktvielfalt. Ein höher industrialisiertes Produktionskonzept in Richtung Großserienfertigung ist gekennzeichnet durch geringe Einheitskosten, große Stückzahlen und eine geringere Produktvielfalt<sup>21</sup>. Aus den genannten Betrachtungsmöglichkeiten abgeleitet, ergeben sich zusammengefasst folgende Merkmale der Einzelfertigung und Kleinserienfertigung mit Bezug zur Stahlbaufertigung [San-‘99][Sch-‘06] [Ott-‘07][Pet-‘09]:

- Eine hohe Variantenvielfalt und Prozessindividualität ermöglicht Flexibilität, erschwert jedoch die Standardisierung und Prozessverfestigung. Die Wiederholhäufigkeit der Prozesse und Produkte ist in der Einzelfertigung sehr gering.
- Über wenige Arbeitsstationen werden viele verschiedene, individuelle Produkte personengebunden gefertigt. Je nach Betrachtungsperspektive und Betrachtungszeitpunkt innerhalb der Fertigung auf das Produkt, besteht auch eine andere Definition vom Gegenstand des Produktes selbst.

---

<sup>20</sup> Diese Unternehmenseinteilung unterscheidet sich von den Richtlinien des Instituts für Mittelstandsforschung (IfM), nachdem Unternehmen mit weniger als 500 MA bzw. einem Jahresumsatz kleiner 50 Mio. Euro zu *kleinen und mittleren Unternehmen (KMU)* gezählt werden. Dieser Einteilung nach stellen KMUs 70,2% der Arbeitsplätze und 48,8% der gesamten Bruttowertschöpfung aller Unternehmen in Deutschland [Pet-‘09].

<sup>21</sup> Die Einteilung nach Santos [San-‘99] ist im Anhang 4A beigefügt.

- Aufgrund der Auftragsvielfalt entstehen hohe Nachfrageschwankungen. Zusätzlich sind Prozesse fehleranfällig. Liefertermine an den Kunden sind häufig behaftet mit Unsicherheit, oder werden mittels zusätzlicher Sicherheitsbestände gewährleistet. Häufige, lange Rüstvorgänge und fehlende Lernkonzepte verhindern systematische Prozessverbesserung.
- Entspringt die Einzel- und Kleinserienfertigung dem Handwerk, so fehlt oft eine klare Eigendefinition des Unternehmens als Industriefertigung, als Handwerksbetrieb oder als Bauunternehmen. Dann fehlt eine klare Zielvorgabe, und Kennzahlensysteme zur Produktionssteuerung bestehen in der Regel nicht.

#### **Fazit-Box 7: Stahlbau als Einzel- und Kleinserienfertigung**

Der Stahlbau als Einzel- und Kleinserienfertigung unterscheidet sich von der Großserienfertigung z.B. aufgrund seiner hoher Variantenvielfalt, Kapazitätsschwankungen und Prozessindividualität. Dem Handwerk entspringend, entwickeln sich Stahlbaubetriebe nur langsam in Richtung höherer Industrialisierungsgrade. Der Forschungsarbeit liegt die Annahme zugrunde, dass Weiterentwicklung über Prozessvisualisierung und Standardisierung möglich ist, sowie durch ein passendes Kennzahlensystem und Prozessverbesserung durch die Einführung verschiedener Lean-Methoden.

## **4.2 Die Stahlbaufertigung**

In der Literatur gibt es nur wenige technische oder produktionsorientierte Veröffentlichungen über die Stahlbaufertigung. Eine davon ist die vom statistischen Bundesamt veröffentlichte Studie zur Produktionsindexentwicklung in Deutschland, die den Stahl-, und Leichtmetallbau nennt. Industrievorstudien in Form einer Benchmarkuntersuchung beschreiben die Ausgangsbasis von Stahlbauunternehmen detaillierter, in Bezug auf die derzeitig dort bekannten und vorhandenen Werkzeuge zur Prozessanalyse und Prozessverbesserung. Eine solche Vorstudie hinsichtlich des Standes verschiedener Stahlbauunternehmen in Deutschland wurde bisher nicht veröffentlicht.

#### 4.2.1 Produktivitätsentwicklung des Stahlbaus

Die **Produktivitätsentwicklung** des Stahlbausektors, gemessen durch den **Produktionsindex**<sup>22</sup>, liegt innerhalb des Stahl- und Leichtmetallbaus deutlich unterhalb der Indexentwicklung des produzierenden Gewerbes [Sta-‘07]. Abbildung 4.2 zeigt einen ähnlichen Indexverlauf zwischen Stahlbau, Bauhauptgewerbe und Hochbauleistungen in Deutschland. Alle drei Indexkurven weisen zwischen 2003 und 2006 keine Produktivitätssteigerung auf, während der Produktionsindex aller übrigen produzierenden Gewerbe (inklusive Fahrzeugbau) in dieser Zeit von 98 auf 113 Punkte kontinuierlich steigt [Sta-‘07].

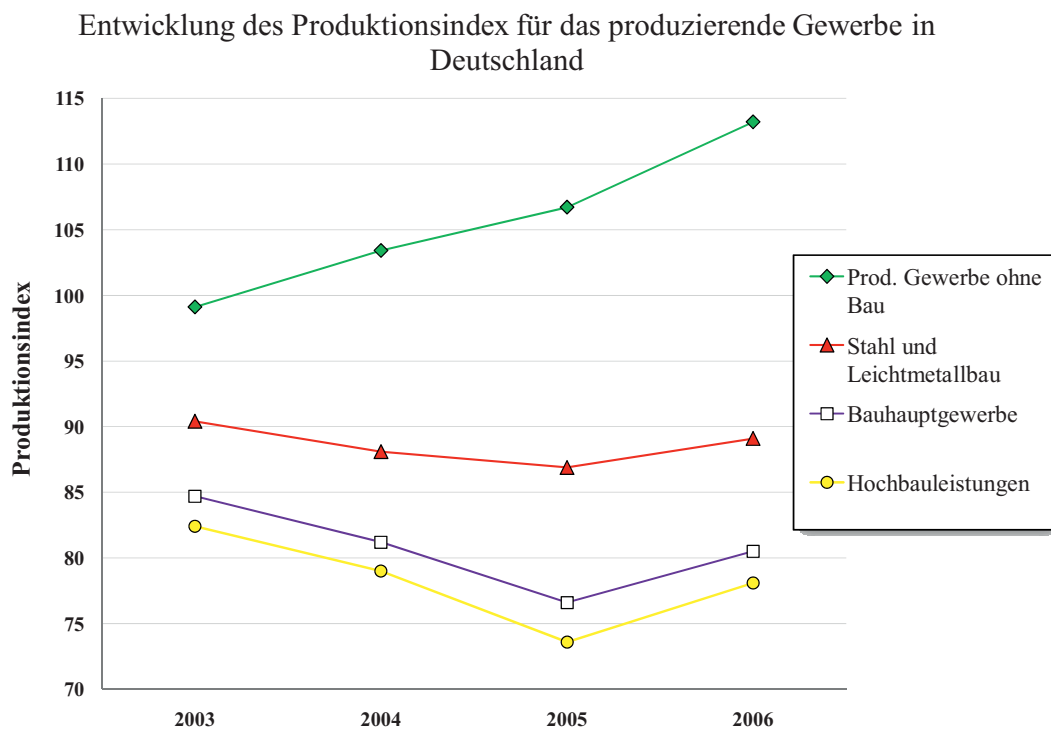


Abbildung 4.2. Entwicklung des Produktionsindex zwischen 2003-2006

<sup>22</sup> Erklärung des Produktionsindex (Gabler Wirtschaftslexikon 2010): Der Produktionsindex ist eine: Indexzahl zur Fortschreibung der gesamten Wertschöpfung eines Wirtschaftszweiges bzw. des Produzierenden Gewerbes insgesamt unter Ausschaltung der Preisveränderungen, um eine kurzfristige Beschreibung der konjunkturellen Entwicklung zu ermöglichen. Die wichtigste Datengrundlage für die Indexberechnung ist die monatliche Produktionsstatistik, die monatlich von den Statistischen Landesämter bundesweit bei den Betrieben des Verarbeitenden Gewerbes mit 50 und mehr Beschäftigten erhobene Produktion von ca. 6000 industriellen Erzeugnissen nach Wert und Menge. Die Abgrenzung erfolgt nach dem Güterverzeichnis für Produktionsstatistiken (GP). Damit werden rund vier Fünftel des Werts der deutschen industriellen Produktion abgedeckt. Aus diesen Produktionsdaten werden zunächst Messzahlen der Produktion gebildet, bezogen auf den Monatsdurchschnitt des jeweiligen Basisjahres (momentan 2005). Die Wertangaben werden dabei mit den Indizes der Erzeugerpreise preisbereinigt. Aus diesen Messzahlen werden Wirtschaftszweigindizes entwickelt; zur Abgrenzung wird die Klassifikation der Wirtschaftszweige (WZ) herangezogen. Die Aggregation bis hin zum Produzierenden Gewerbe insgesamt erfolgt unter Verwendung des Anteils der Bruttowertschöpfung zu Faktorkosten eines jeden Wirtschaftszweiges am Gesamtwert des Produzierenden Gewerbes im jeweiligen Basisjahr (momentan 2005). Die Veröffentlichung erfolgt in Querschnittsveröffentlichungen des Statistischen Bundesamtes. Bereitgestellt werden die Werte als Originalindizes, arbeitstäglich bereinigt und als saisonbereinigte Indizes.

Außerhalb dieser Produktionskennzahlen gibt es in Deutschland keine veröffentlichten detaillierteren Daten über die Entwicklung der Produktivität innerhalb der Stahlbaubetriebe.

#### 4.2.2 Der Produktionsprozess

Im Stahlbauprozess werden Stahlträger, Platten und Rohre bearbeitet und zu Systemen werksgebunden gefertigt, die auf die Baustelle transportiert und dort errichtet werden. Die Produktionsprozesse befinden sich zwischen Tendenzen der Standardisierung, mit sich wiederholenden Einzelteilen einerseits (Serienfertigung), und einer vollständig individuellen Einzelteilbauweise andererseits. Die Kernprozesse der Fertigung sind in Abbildung 4.3 schematisch dargestellt.

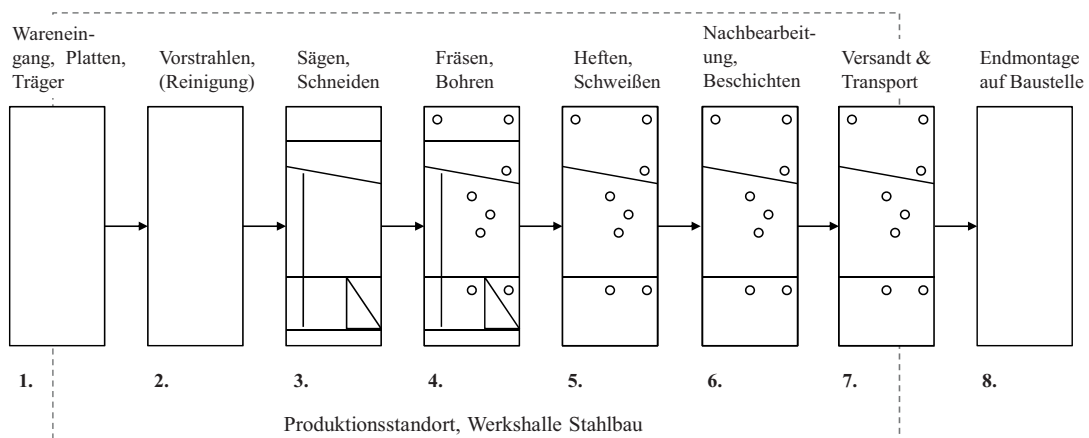


Abbildung 4.3. Produktionsprozess im Stahlsystembau

Die wesentlichen Prozessschritte sind nach dem Wareneingang eine Reinigung der Materialien, z.B. durch Kugelstrahlen (2), gefolgt von den zerkleinernden Prozessschritten, wobei die Träger und Platten zersägt, gestanzt, und in die geforderten individuellen Einzelteile zerschnitten werden (3). Die Weiterbearbeitung findet durch Bohren und Fräsen statt (4). Anschließend werden die vorbereiteten Teile nach einem Konstruktionsplan zu Montagehauptpositionen geheftet, das heißt, verschiedene Kleinteile werden manuell durch punktuelltes Anschweißen an einer Hauptposition (Träger) fixiert. Die eigentliche Verschweißung (5) kann je nach Bauteilkomplexität maschinengesteuert oder manuell stattfinden. In der Nachbearbeitung werden Sägespäne und Schweißverunreinigungen entfernt, um bei der Beschichtung (6) keine Fehlstellen zu verursachen. Die Disposition stellt die fertigen Bauteile in Stücklisten so zusammen, dass sie anschließend zu Losgrößen für LKW-Ladungen von durchschnittlich 20 Tonnen gepackt, und zur Endmontage auf die Baustelle transportiert werden (8).

Für eine differenziertere Untersuchung der Logistik- und Produktionsprozesse in der Stahlbaufertigung ist es notwendig, die Begriffe **Projekt, Montageabschnitt, Haupt- und Unterpositionen** gemäß der im Stahlbau üblichen Begriffsweise zu definieren, dargestellt in Abbildung 4.4. Ein Projekt bezeichnet einen Gesamtauftrag mit Auftragsnummer, beispielsweise die Fertigung eines Parkhauses, mit der Erstellung bis zu einem definierten Zeitpunkt zu einem vertraglich vereinbarten Preis. Ein solches Projekt wird firmenintern in Montageabschnitte unterteilt, die in wochenweiser Abfolge später von der Baustelle abgerufen werden. Ein Montageabschnitt beinhaltet Abschnittszeichnungen, die wiederum in Hauptpositionen unterteilt sind. **Die Anzahl der Hauptpositionen ist die Anzahl der Bauteile, die auf der Baustelle montiert werden**<sup>23</sup>. Innerhalb der Stahlbaufertigung im Werk sind einer Hauptposition in der Regel zwischen 1 und 30 Unterpositionen (Kopf-, Fuß-, Anschlußplatten) zugeordnet. Die Summe der Haupt- und Unterpositionen ergibt die gesamte Anzahl der Einzelteile eines Stahlbauprojektes.

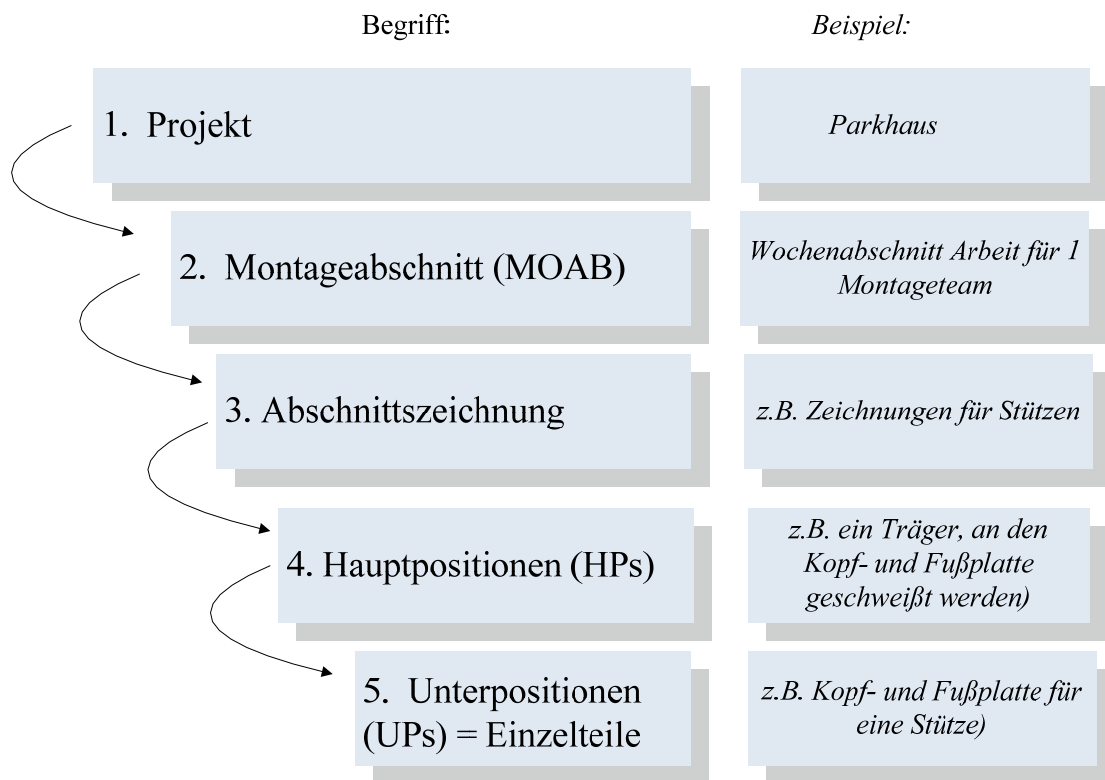


Abbildung 4.4. Begriffe: Projekt, MOAB, Haupt- und Unterpositionen

<sup>23</sup> Im leichten Stahlbau werden Hauptpositionen in der Regel über Schraubverbindungen montiert, im Kraftwerksbau sowohl durch Schweiß-, als auch durch Schraubverbindungen.

Eine Schwierigkeit bei der Produktionsflussanalyse im Stahlbau ist die variierende Anzahl der Einzelteile über den Produktionsprozess hinweg. Die verändernde Anzahl und Größe der Einzelteile vom Wareneingang bis zur Baustellenerrichtung durch das Zersägen und Aneinanderfügen von Einzelteilen ist in Abbildung 4.5 qualitativ dargestellt. Aufgrund dieser Basis wird in in der Praxis argumentiert, dass Kennzahlen oder auch Lean-Management-Methoden auf solche individuellen Prozesse nicht anwendbar seien. Um diese Prozesse abbilden zu können und Optimierungsvarianten zu berechnen, sind Vereinfachungen, feste Randbedingungen und klare Messpunkte für Materialfluss, Produktionszyklen und Produktivität zu definieren.

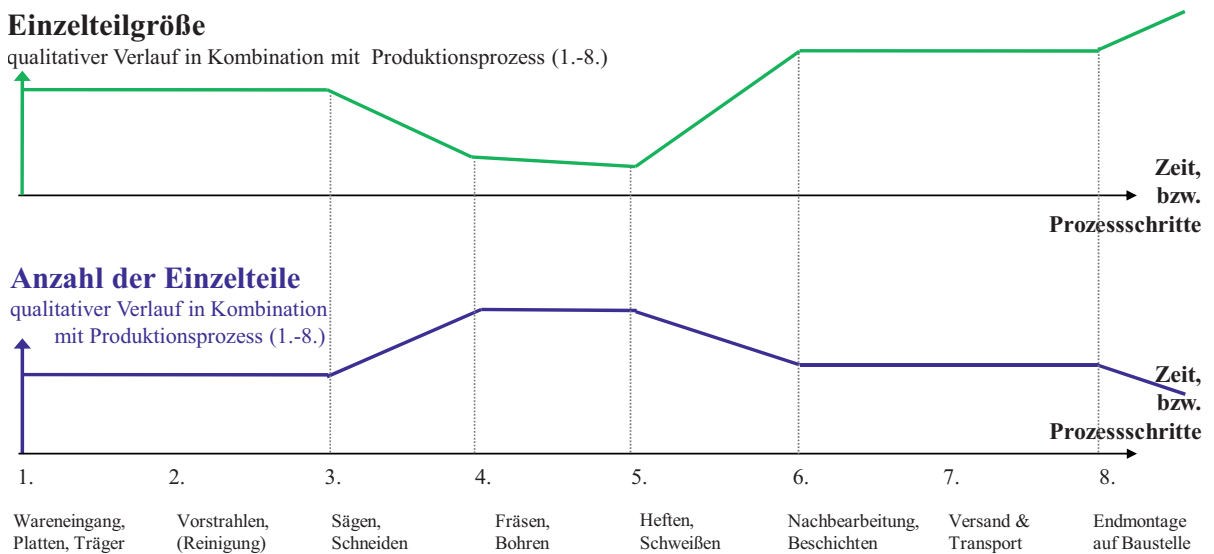
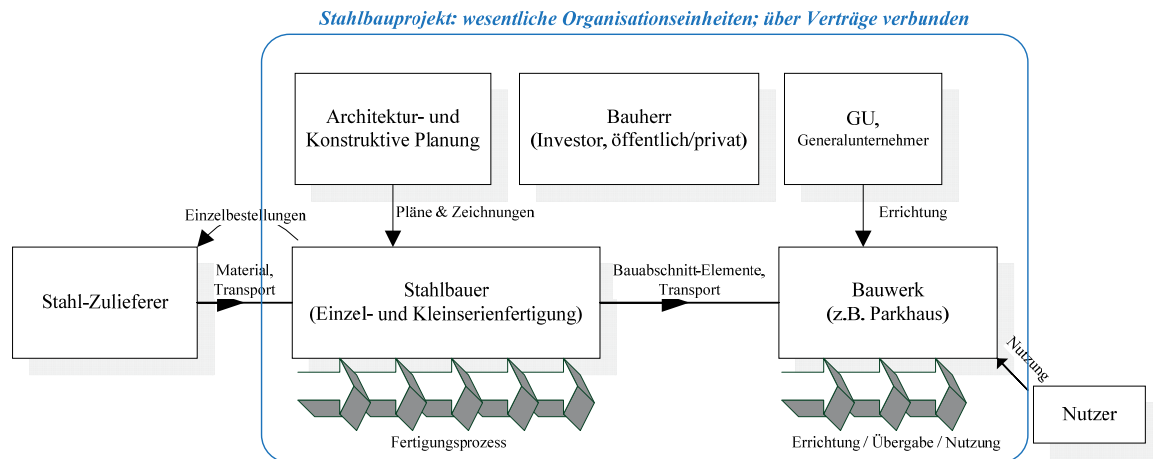


Abbildung 4.5. Einzelteilgröße und Teileanzahl über den Prozessverlauf

### 4.2.3 Verbesserungspotentiale im Stahlbau, in Abhängigkeit von der Vertragsform

Unterschiedliche, typisch auftretende Muster der Zusammenstellung verschiedener Organisationen innerhalb von Bauprojekten und deren Vertragsformen, haben ebenfalls einen Einfluss auf die Gestaltungsmöglichkeiten der Analyse und Verbesserung der Fertigungsprozesse im Stahlbau. Abbildung 4.6 zeigt ein einfaches Verzahnungsmodell von Einzelfertigung und Bauindustrie, in Abhängigkeit der Projektstruktur und der beteiligten Organisationen.



**Abbildung 4.6. Verzahnung von Organisationen, Fertigung und Bau**

Unter „*Stahlbauer*“ sind Fertigungsfirmen des Stahlbaus gemeint. „*Planer*“ erbringen die architektonische und konstruktive Planung. „*Generalunternehmer*“ (GU) sind für den Fundamentbau und die Montage, zuzüglich der Koordination weiterer Nachunternehmergewerke zuständig. Der „*Bauherr*“ ist der Besitzer, der Auftraggeber und/oder der Investor des entstehenden Bauwerks.

Daraus ergeben sich **vier** typisierte **Organisationskonstellationen**:

- Typ 1: Stahlbauer  $\neq$  Planer  $\neq$  GU (errichtende Firma)  $\neq$  Bauherr (öffentlich/privat)
- Typ 2: Stahlbauer = Planer  $\neq$  GU (errichtende Firma)  $\neq$  Bauherr
- Typ 3: Stahlbauer = Planer = GU (errichtende Firma)  $\neq$  Bauherr
- Typ 4: Stahlbauer = Planer = GU = Bauherr z.B. bei einem PPP-Projekt<sup>24</sup>.

Die Organisationskonstellation und Vertragsform beeinflusst nicht nur die Wertschöpfungstiefe jeder einzelnen Firma, sondern auch die Zugänglichkeit, um Prozesse übergreifend untersuchen und verbessern zu können. Diese vereinfachte Einteilung ist gültig für Bauprojekte wie beispielsweise den Parkhausbau, oder Stahlhallenkonstruktionen, mit einem Größenvolumen von hundert Tonnen Stahlverarbeitung pro Projekt. Für Großprojekte wie im Kraftwerksbau (zehntausende Tonnen Stahlverarbeitung) bestehen aufgrund der Projektgröße komplexere Organisationsformen (z.B. Formen von Arbeitsgesellschaften (ARGE) mit losweiser Vergabe zur Risikostreuung, oder aufgrund von Kapazitätsgrenzen oder Kompetenzen der einzelnen Unternehmen).

Zugehörige Vergabeformen für Stahlbauaufträge unterliegen bei Typ 1-3 (öffentlicher Bauherr) den Bedingungen der Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB/A), mit den vier Arten der

<sup>24</sup> PPP = Public Private Partnership

Vergabe [Rup-‘09] [§3VOB/A]<sup>25</sup>: Das *Offene Verfahren* ist das häufigste Verfahren, mit einer unbeschränkten Anzahl an Unternehmen, die Angebote abgeben können. Im *Nichtoffenen Verfahren* oder *Verhandlungsverfahren* ist die Anzahl der zur Angebotsabgabe aufgeforderten Firmen reduziert. Der *Wettbewerbliche Dialog* stellt eine Sonderform der Vergabe dar. Hieraus entspringen neuere Bauvertragsformen wie Public-Private-Partnerships, und andere öffentlich-private Betreibermodelle. Das Vergabeverfahren des Wettbewerblichen Dialogs darf jedoch nur angewendet werden, wenn der Auftraggeber objektiv nicht in der Lage ist, die technischen Mittel oder die rechtlichen und finanziellen Bedingungen anzugeben, mit denen seine Bedürfnisse und Ziele zu erfüllen sind [Rup-‘09]. **Bei der Vergabeentscheidung erhält das wirtschaftlichste Angebot den Zuschlag** [Rup-‘09][VOB/A]. In der Realität wird oftmals das wirtschaftlichste Angebot mit dem günstigsten Preis gleichgesetzt [Geh-‘09].

Den Ablauf des Vergabeverfahrens im öffentlichen Sektor definiert Ruppert [Rup-‘09] nach VOB/A in 11 Phasen: (1) Entscheidung über die Vergabeart, (2) Erstellung eines Leistungsverzeichnisses, (3) Bekanntmachung, (4) Anforderung und Versand der Unterlagen, (5) Angebotsbearbeitung und Abgabe der Angebote, (6) Eröffnungstermin, (7) Prüfung der Angebote, (8) Aufklärungsverhandlungen, (9) Wertung der Angebote, (10) Ankündigung der Entscheidung, (11) Zuschlag und Vertrag.

Die Länge eines solchen Verfahrens und der Aufwand bis zum Zustandekommen eines Auftrags verdeutlichen, dass die gesamte Agilität durch die vielen Vorgaben und die Konstellation der Projektorganisation sehr starr ist.

**Private Bauherren** haben im Vergleich zu öffentlichen Bauherren weniger Vorgaben und können im Vergabeverfahren direktere und einfachere Kriterien zur Auswahl der Auftragnehmer anwenden. Der Bauvertrag wird im Sinne des BGB §631 als Werkvertrag<sup>26</sup> geschlossen [Gos-‘98]. Die gängigste Vertragsform im Stahlbau ist der Festpreisvertrag. Danach werden Preis, Leistung und Abnahmetermine eines Projektes zu Beginn der Auftragserteilung vertraglich fixiert. **Festpreisverträge, insbesondere in Kombination mit offenem Ausschreibungsverfahren, führen zu einem starken Preiskampf innerhalb des Marktes, da zur Auftragserteilung von Seiten der Stahlbauer und Generalunternehmer möglichst wirtschaftliche Angebote abgegeben werden, bei teilweise schwer kalkulierbaren Kostenrisiken (z.B. der Stahlpreisentwicklung)** [Geh-‘09].

---

<sup>25</sup> Die Schwellenwerte zur Anwendung dieser 4 Verfahren betragen bei Bauaufträgen allgemein über 5.150.000 €, Lose ab 1 Mio. €, Lose unter 1 Mio. € ab 20% des Gesamtwertes [Rup-‘09][VOB/A].

<sup>26</sup> §631 BGB, (Wesen des Werkvertrags): (1) Durch den Werkvertrag wird der Unternehmer zur Herstellung des versprochenen Werkes, der Besteller zur Entrichtung der vereinbarten Vergütung verpflichtet.



Dies führt zu einem starken preislichen Wettbewerb innerhalb der Stahlbaufertigung, worauf die einzelnen Firmen mit unterschiedlichen Strategien reagieren. Eine typische Form hierzu ist, über Nachträge im Nachhinein den Preis zu erhöhen, oder Aufträge an noch billigere Subunternehmer weiterzugeben. Kooperative Gemeinschaftsverträge als Alternative dazu, wie beispielsweise die Alliancing-Verträge in Australien, oder die „Integrated-Form-of-Agreement (IFOA<sup>27</sup>) in USA, sind derzeit in Deutschland noch nicht umgesetzt. Innerhalb der nicht-öffentlichen großen Bauvorhaben wie beispielsweise im Kraftwerksbau, sehen Gehbauer und Kapellmeister (2010) die besten Potentiale, um neue kooperative Vertragsformen zu gestalten, die damit auch einen Durchbruch von Lean-Management im Bauwesen auf vertraglicher Ebene in Deutschland ermöglichen können.

Weitere Auswirkungen und Hindernisse zur Prozessverbesserung im Stahlbau aufgrund der Organisationskonstellation und Vertragsform sind für die Typen 1-4 (s.S. 63) im Folgenden abgeleitet:

Die Organisationskonstellation von Typ 1-3 fördert einen hohen preislichen Wettbewerb aufgrund des offenen Ausschreibungsverfahrens (der wirtschaftlichste Bieter erhält den Zuschlag). In wirtschaftlicher Rezession entstehen daraus häufig „Dumpingpreise“ [Geh-‘09]). Die gängige Vertragsform eines Festpreisvertrages überträgt das gesamte Risiko auf den Auftragnehmer (Stahlbauer), und dieser wiederum überträgt es oft weiter an Subunternehmer. Je mehr einzelne Firmen als separate Unternehmenseinheiten innerhalb eines Projektes vorhanden sind, umso begrenzter sind Verbesserungsmöglichkeiten aus Gesamtprojektperspektive für die Stahlbaufertigung oder Bauausführung, aufgrund fester Verträge und limitierter Kooperationsmöglichkeiten.

Das Kostenentwicklungsrisiko zu Beginn eines Projektes mit längerer Laufzeit ist ebenfalls schwer kalkulierbar, beispielsweise durch starke Schwankungen der Stahlpreise. Dadurch sehen Stahlbaufertiger und GUs oft wenig finanziellen Spielraum für Neuinvestitionen in den Produktionsprozess und in kontinuierliche Verbesserungsprogramme, sofern dies nicht als wesentliche Erfolgsstrategie des Unternehmens explizit verfolgt wird. Kürzere Durchlaufzeiten in der Fertigung bilden aber zugleich Wettbewerbsvorteile und verringern die Risiken der Folgen von Materialpreisschwankungen. Hemmnisse und Qualitätsmängel führen bei Typ 1-3 konventionell zu Vertragsstrafen und Nachträgen. Dies fördert eine weitere Unternehmenszerklüftung, indem billigere

---

<sup>27</sup> Heidemann [Hei-‘09] analysierte dazu zwei kooperative Bauvertragsmodelle aus den USA (Integrated Form of Agreement IFOA) und aus Australien (Alliancing). [Geh-et al-‘10] mit [Kap-et al-‘10] entwickeln das erste deutsche Vertragsmodell nach dem Allianz-Prinzip, ausgerichtet für ein gesamtes Bauprojekt nach Lean-Prinzipien.

Subunternehmer beauftragt werden, und damit weiter Risiken übertragen werden, was die Gesamtprozessverbesserung zusätzlich behindert.

Typ 4 als BOT-Projekte (Built-Operate-Transfer) und PPP-Projekte, sowie die neu entstehenden Bauvertragsformen nach Allianz-Prinzipien, enthalten das höchste Potential der Verbesserungsmöglichkeiten aus Sicht des Gesamtprojektes und der Stahlbaufertigung [Geh et al. '10]. In diesem Fall kann eine gemeinsame, direktere und schnellere Abstimmung zwischen Planung-Fertigung und Baustellenerrichtung bis hin zur Bewirtschaftung sowohl terminlich, als auch preislich stattfinden. Qualitätsmängel und Fehler treten hierbei ebenfalls auf, werden aber nicht durch Nachträge, sondern mittels direkter Absprache geregelt.

### **4.3 Industrie-Vorstudien**

Die im Rahmen dieser Arbeit gemachten Vorstudien wurden bei drei Stahlbauunternehmen in Deutschland durchgeführt, mit den durchschnittlichen Jahresproduktionsleistungen pro Unternehmen von (a) 35000 t/a, (b) 12000 t/a, (c) 35000 t/a. Diese Firmen produzieren sowohl schweren Stahlbau (Kesselbau für Kraftwerke, Brückenbauten), als auch leichten Stahlbau, wie zum Beispiel Stahlhallen oder Parkhäuser.

Ziel der Vorstudien war, tiefere Erkenntnisse über die Ist-Situation der Produktionssysteme von Stahlbauunternehmen in Deutschland zu erhalten, und die Forschungsfragen durch Anforderungen aus der Unternehmenspraxis zu präzisieren.

Die Zersplitterung der betrachteten Unternehmen in verschiedene Organisationseinheiten ist in Tabelle 4.1 dargestellt. Dies verdeutlicht verschiedene Strategien, hinsichtlich zergliederter Fremdvergabe einerseits, und des Insourcings mit dem Ziel der Organisationsvereinfachung andererseits. Unternehmen A ist in viele Abteilungen zergliedert und praktiziert zudem die Fremdvergabe von Planung und Produktion. Unternehmen C hat so viele Organisationsabteilungen wie möglich unter einem „Dach“ vereint. So sind hier auch die Abteilungen Arbeitsvorbereitung und Konstruktion mit der Planung vereint, und es findet keine Fremdvergabe innerhalb der Fertigung statt.

**Tabelle 4.1. Industrievorstudie in drei Stahlbauunternehmen**

<b>Firmeneigenschaften und vorliegende Organisationseinheiten (OE)</b>	<b>Unternehmen A</b>	<b>Unternehmen B</b>	<b>Unternehmen C</b>
Eckdaten: Jahreskapazität (basierend auf 2008)	35000t	12000t	35000t
Eckdaten: Gründung und Geschäftsführung	GmbH, internationale Gruppe, bestehend seit >50 Jahren	GmbH, Familienunternehmen bestehend seit >50 Jahren	GmbH, Familienunternehmen bestehend seit 40 Jahren
OE: Technisches Büro (inhouse-Planung)	X	X	X
OE: Technische Planung (teilweise) outsourced	X	X	
OE: Externe Architekten und Planer involviert	X	X	
OE: Arbeitsvorbereitung	X	X	
OE: Einkauf	X	X	X
OE: Eigene Produktion /Fertigung zu 100%	X	X	X
OE: Produktion teilweise mit Subunternehmern	X	X	
OE: Lagerhaltung als eigene Organisationseinheit	X	X	X
OE: Transporteinheit	X		
OE: Baustellenerrichtung (GU-Funktion)	X	X	X
Anzahl der Organisationseinheiten (OE):	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>5</b>

Jedes der Werke wurde ein bis drei Tage besichtigt, mit dem speziellen Fokus auf den Fertigungsabläufen, der Arbeitsvorbereitung, der Konstruktionsplanung, den Kommunikationsflüssen und den Logistikprozessen. Der Betrachter verbrachte dabei einen Großteil der Zeit direkt an den Fertigungsstationen. Zur Vergleichbarkeit wurde zusätzlich ein standardisierter Fragenkatalog mit geschlossenen Fragen zu sechs Kategorien erhoben: (1) Kundenorientierung, (2) Verschwendung, (3) Qualität, (4) Materialfluss, (5) Organisation und Planung, (6) Kontinuierliche Verbesserung. Jede der Kategorien bestand aus 4-7 Unterfragen, deren Antwort durch eine Punkteskala von null (nicht vorhanden) bis zur maximalen Punkteanzahl (sechs Punkte) bewertet ist. Diese Studie ist zur Zeit die einzige verfügbare Vergleichsstudie innerhalb der deutschen Stahlbaufertigung. Das Ergebnis dieser Vergleichsuntersuchung ist in Abbildung 4.7 dargestellt<sup>28</sup>.

<sup>28</sup> Abbildung 4.7 ist auch in Anhang 4B vergrößert dargestellt.

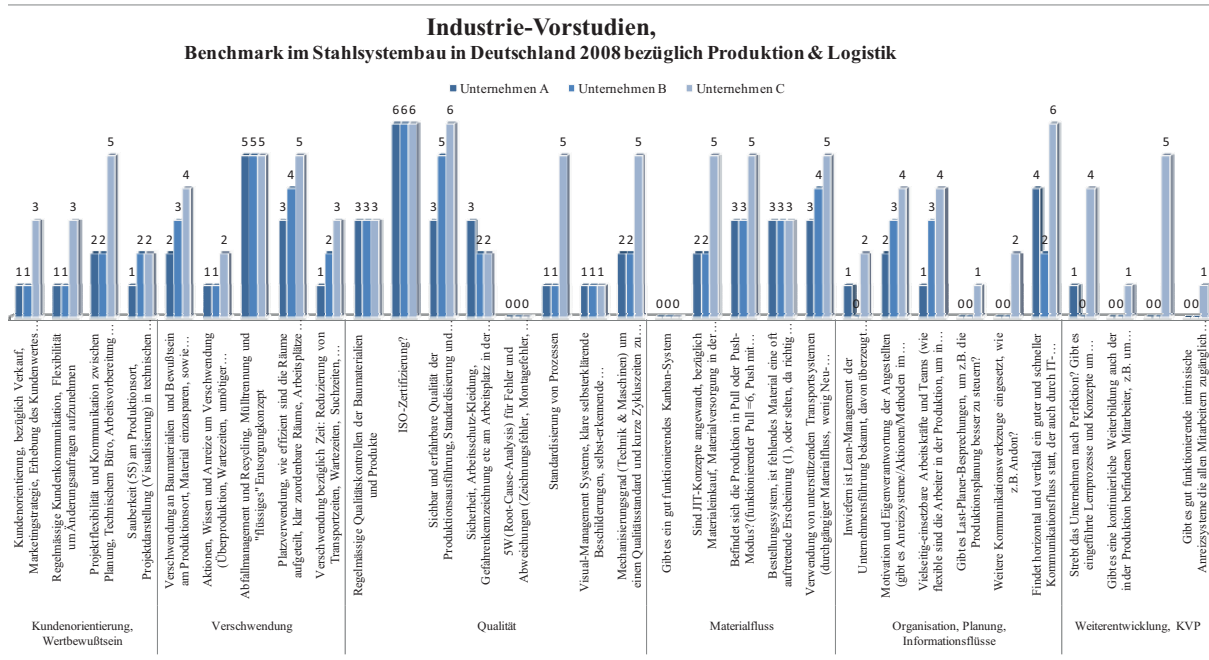


Abbildung 4.7. Industrie-Vorstudien: Benchmark im Stahlbau

Bei allen drei Unternehmen sind die sehr niedrig bewerteten Untersuchungspunkte entweder unbekannt, oder erhalten innerhalb der Firma keine Bedeutung.

Hierzu zählen Methoden der Wurzelfehleranalyse (5W), Visualisierung und Kommunikation, Produktionsplanung nach LPS, Prozesskennzahlen sowie kontinuierliche Verbesserungsprinzipien.

In keinem der betrachteten Werke existiert eine Systematik der Wurzelfehleranalyse (5W), um Störungen und Fehler in der Montage, bei Zeichnungen, oder andere Qualitätsfehler systematisch zurückzuverfolgen, deren Ursprünge zu erfassen und zu verbessern. Des Weiteren fehlt jeweils ein funktionierendes Anreizsystem zur Unternehmensverbesserung, und Weiterbildungsprogramme für Mitarbeiter aus der Fertigung sind sehr selten.

Ein für alle Werke kritisches Thema ist auch die **Visualisierung der Produktivität zur richtigen Steuerung der Materialbestände und des Materialflusses**. Als Voraussetzung dazu müssen Produktionskennzahlen vorliegen, die kontinuierlich,- oder zumindest punktuell, in den Fertigungsprozessen aufgenommen werden. Diese „Lücke“ ist durch eindrückliche Erfahrungsberichte aus den Vorstudien belegt:

**In Werk A** gibt es gemessene Aufwandswerte pro Aktivität, beispielsweise 75 Sekunden für eine Bohrung der Größe X an einem Träger Y, oder 10 Minuten als Aufwandswert für das Zersägen eines

HEA-X Profils. Der Werker erhält eine Stückliste, verbucht seine Zeit auf das Projekt mittels eines Kartensystems, und arbeitet die Teile mit einer vorgegebenen Zeit ab. Problematisch allerdings ist, dass die Zeitaufwandswerte auf Prozessmessungen von vor 20 Jahren beruhen, und heute immer noch dieselben wie damals sind. Als kontinuierlicher Verbesserungsprozess (KVP) versteht der Produktionsleiter, die Aufwandswerte um 10% zu reduzieren, ohne allerdings Weiterbildung oder zusätzliche Investitionen zu tätigen. Sein Ansatz erbringt jedoch nicht den angestrebten Effekt. Dies zeigt auch die Tatsache, dass in einer dritten Werkshalle polnische Subunternehmer beschäftigt sind. Diese arbeiten ohne Zeitaufwandsvorgaben auf Tonnageentlohnung. Ihre Aufträge haben einen höheren Komplexitätsgrad, dennoch ist ihre Produktivität deutlich höher als die der deutschen Stammarbeiter.

**In Werk B** ist die einzige gemessene Kenngröße die Tonnage an fertigen Versandpositionen, die das Werk pro Woche verlässt. Der gesamte Fertigungsablauf verläuft manuell gesteuert, durch Interaktion der Produktionsplanung mit den Mitarbeitern. Dass hier ebenfalls kein optimaler Produktionsfluss vorliegt, zeigte die eigene Erfahrung des Betrachters, der einen Tag an den Heft- und Schweißständen verbrachte. Nachdem eine Konstruktionszeichnung für die zu verschweißenden Haupt- und Unterpositionen am Heft-Arbeitsstand eintraf, suchte der Betrachter zusammen mit einer weiteren Person während 75 Minuten die benötigten Teile an den vier unterschiedlichen Zuschnittsarbeitsständen, wobei die Einzelteile systemlos auf dem Boden um die Zuschnittstände verteilt oder gestapelt lagen. Erst im Anschluss konnte die eigentliche Heftarbeit begonnen werden. Die 75 Minuten Suchzeit sind nirgends separat erfasst.

**In Werk C** ist die einzige Kennzahl zur Produktionssteuerung der „Stundenaufwand pro Tonne“, verbucht von jedem Mitarbeiter auf das jeweilige Kundenprojekt. Eine feinere Unterscheidung liegt in diesem Werk ebenfalls nicht vor. Dem Werksleiter erscheint vor allem die Produktivität während der Nachtschicht als sehr niedrig, wenn weder Produktionsleitung noch Meister im Werk sind. Gleichzeitig hat er ohne Kennzahlensystem keine Möglichkeit, dies zu verifizieren, und gegebenenfalls die Gründe für niedrigere Produktivität zu analysieren.

Ebenfalls wurde durch Befragung der drei Produktions- und Werksleitungen deutlich, dass in den Unternehmen noch keine klare Eigendefinition bezüglich der Fertigungsausrichtung (Einzelhandwerk / Serienfertigung) vorliegt, und auch die Thematik von standardisierten Prozessen bisher nicht systematisch bearbeitet ist.

Basierend auf den Industrievorstudien bestehen folgende Beobachtungen in der Fertigung des Stahlbaus:

- Material wird manuell über Stücklisten und Prägestempel gesteuert, kann aber nicht in Echtzeit verfolgt werden. Einzige automatisierte Schnittstelle ist die CNC-Steuerung im Materialzuschnitt.
- Alle betrachteten Betriebe scheinen sich in einer „gedrückten“ Produktionssteuerung (push-Modus) zu befinden, wonach die CNC-gesteuerten Zuschnittsmaschinen möglichst optimal ausgelastet und beschickt werden. Anschließend wird das Material ohne systematische Steuerung durch das Werk „geschoben“. Genaue Messdaten für diese Beobachtung liegen aber nicht vor.
- Zwischenbestände sind nicht systematisch erfasst.
- Viel Zeit wird innerhalb der Fertigung mit Suchen von Teilen verbracht. Diese Zeit ist aber derzeit in keinem der Werke quantitativ erfasst, und visualisiert.
- RFID-Codes sind aufgrund der Metalleigenschaften, Verarbeitung und Beschichtung momentan in keiner der Fertigungswerke zur Produktionssteuerung im Einsatz. Barcodes werden lediglich in zwei der drei betrachteten Werke zur Kommissionierung, zum Versand und bei der Montageerrichtung aktiv eingesetzt.
- Bezogen auf die Kernarbeitsbereiche der Wertschöpfung im Stahlbau (Heften- und Schweißen) sind keine oder nur wenig Produktivitätssteigerungs-, und Verbesserungsmaßnahmen innerhalb der Produktionssysteme erkennbar.
- Es findet eine zunehmende Vergabe an ausländische Subunternehmer als Lohnarbeiter mit Tonnagevergütung statt, teilweise sogar innerhalb der eigenen Produktionshallen.
- Innerhalb der letzten Jahre fand bei den Stahlbauern nur wenig signifikante Re-Investition in den Produktionsprozess (neue Maschinen, Technologie, Mitarbeiter) statt. Bei zwei von drei untersuchten Unternehmen lag die letzte Maschineninvestition mehr als zehn Jahre zurück. Auch in die Weiterbildung der Mitarbeiter wird wenig investiert.
- Wurzelfehleranalyseprogramme, Kanbansysteme und systematische kontinuierliche Verbesserungsmethoden sind derzeit in keinem der betrachteten Unternehmen vorhanden.

### **Fazit-Box 8: Vorstudien als Ausgangsbasis der Stahlbaufertigung**

Es besteht Handlungsbedarf im Stahlbau systematisch die Produktionsprozesse zu analysieren und zu verbessern. Im Gegensatz zu allen anderen produzierenden Gewerken erhöhte sich in den letzten Jahren die Produktivität weder im Stahl- und Metallbau, noch im Bauhauptgewerbe in Deutschland. Zwischen Fertigungsindustrie der Stahlwerke und Einzelerstellung der Baustelle befindet sich die Stahlbaufertigung mit den Prozessabschnitten: Strahlen-Zuschnitt-Heften-Schweißen-Beschichten-Transport und Baustellenmontage. Ein Projekt ist gegliedert in Montage- und Zeichnungsabschnitte, Haupt- und Unterpositionen. Detailliertere Prozessdaten sind in der Literatur nicht veröffentlicht.

Die Organisations- und Vertragskonstellation der zusammenwirkenden Firmen (Stahlbauer-Planer-Bauherr-Generalunternehmer) hat ebenfalls einen wesentlichen Einfluss auf die Gestaltungsmöglichkeiten der Prozessverbesserung hinsichtlich übergreifender Kooperation und einem gesteuerten Materialflussablauf von der Fertigung bis zur Baustellenerrichtung. Je nach vertraglicher Projektorganisation und deren Organisationszergliederung ist Prozessanalyse und Verbesserung nur auf einen Teilabschnitt (Bsp. Fertigungswerk) oder die gesamte Supply-Chain anwendbar.

Vom Betrachter durchgeführte Industrievorstudien in drei Stahlbaufirmen zeigen zudem, dass Kennzahlensysteme bisher nicht vorhanden oder ineffektiv eingesetzt, und Lean-Methoden in diesem Sektor größtenteils unbekannt sind. Ein tieferes Verständnis der Spezifika im Stahlbau und Aussagen aus einer detaillierten Prozessanalyse und der Organisationsbetrachtung sind notwendig, um Prozessverbesserung durch Lean-Management in diesen Einzelfertigungsbetrieben bewerten und einführen zu können.

## 5 Anforderungen des Ansatzes und methodisches Vorgehen

Die **Literaturrecherche** in Kapitel 2 und 3 basiert auf ca. 130 selektierten Büchern, Artikeln, Aufsätzen und wissenschaftlichen Papers zu den Themengebieten der Prozess**analyse** und Prozess**verbesserung**. Zudem fand bezüglich des Forschungsthemas ein Austausch mit führenden internationalen Wissenschaftlern auf dem Gebiet von Lean-Construction<sup>29</sup>, Logistik und Lean-Production<sup>30</sup> statt. **Vorstudien**, bestehend aus mehrtägigen Aufenthalten in drei verschiedenen Stahlbauunternehmen, dienten dem Kennenlernen der Produktionsrealität und der Unternehmensabläufe im Stahlbau. Dadurch erhielt der Betrachter ein realistisches Bild der Ausgangssituation der Prozesse solcher Unternehmen. Hieraus ergeben sich Anforderungen und Wissenslücken, wovon einige nochmals zusammenfassend erwähnt sind:

Zur Produktions**prozessanalyse** stehen verschiedene Werkzeuge zur Verfügung, wovon die wichtigsten Werkzeuge die Wertstromanalyse (WSA), Produktionskennzahlenkonzepte, Simulation und Organisationsanalysen sind.

- Die Wertstromanalyse ist jedoch zu grob, um Prozessvarianzen effektiv zu verdeutlichen, und damit die Stahlbauprozesse sinnvoll zu simulieren.
- Die bisher veröffentlichten Produktionsstudien im Stahlbau bewegen sich entweder auf einer zu allgemeinen Ebene, oder folgen dem REFA-Ansatz (so auch Diekmann et. al. 2004). Hierbei wird nicht der Prozess gemessen, sondern die Produktivität der einzelnen Mitarbeiter. Dies steht im Gegensatz zum Lean-Management-Ansatz nach Shingo [Shi-'96], wonach zuerst der Gesamtprozess zu betrachten ist, und dann die einzelnen Arbeitsstationen<sup>31</sup>.
- Detaildaten des Produktionsflusses im Stahlbau sind bisher nicht in der Literatur veröffentlicht.
- Diskrete Ereignisorientierte Simulation bietet eine Möglichkeit, um Produktionssysteme zu untersuchen. In der Einzel- und Kleinserienfertigung gibt es dazu bisher wenige Studien. Grund dafür ist einerseits die Individualität der Prozesse, aber auch die schwierige Datenerhebung.

---

<sup>29</sup> Vortrag und Diskussion des Themas auf der International Conference of Lean Construction IGLC, PhD-Summerschool Juli 2008 in Manchester, sowie Teilnahme an der European Conference of Lean Construction EGLC Mai Juni 2009 und der IGLC Haifa, Juli 2010; Austausch mit: Prof. G. Ballard (USA), Prof. L. Koskela (UK), Prof. I. Tommelein (USA), Prof. R. Sachs (Israel), Prof. C. Formoso (Brasilien), G. Howell (USA), Prof. L. Alarcon (Chile), Prof. Bertelsen (Dänemark), Prof. A. Santos (Brasilien).

<sup>30</sup> Innovationsforum Deutschland Brasilien 2008; Thematik der Produktion, Logistik & Mikrotechnologie; Austausch mit Prof. A. Kuhn (Uni Dortmund), Prof. B. Hellingrath (Uni Münster), H. Winckler, Fraunhofer Brasilien; Clusterforum Automotive und Logistik, Schlanker Materialfluss, Sept. 08 und Sept.09, München; Austausch mit F. Dickmann, C. Boppert, R.Kuttler

<sup>31</sup> Hintergrundaussage von Shingo's Ansatz ist: eine höhere Produktivität und Mehrarbeit eines einzelnen Arbeiters bedeutet nicht, dass die Gesamtproduktivität dadurch positiv beeinflusst wird.



Tommelein [Tom-‘06] fordert daher, mehr Prozessdaten zu erheben, und basierend auf solchen Daten, Simulationsstudien zu betreiben.

Bei der Prozess**verbesserung** gibt es ebenfalls einige Anforderungen und „Lücken“:

- Prozessverbesserung hängt nicht nur mit der Einführung neuer, technischer Werkzeuge und Methoden zusammen, sondern mit den Organisationsspezifika, und den weichen Organisationsfaktoren [Bec-‘06]. Ho et.al. bemerkt, dass Forschungsstudien zu wenig diese Zusammenhänge zwischen Organisationskontext und Produktionsleistung betrachten [HoD-‘08]. Im Stahlbau gibt es dazu bisher keine veröffentlichte Studie.
- Die „Theory of Constraints (TOC)“ beispielsweise liefert gute Ideen und Ansätze zur Prozessverbesserung, basiert aber nicht auf Realdaten. Goldratt, als der Erfinder von TOC, validiert seine Theorie, indem er lebensnahe Romane schreibt, die seine Ideen verdeutlichen und dem Leser glaubhaft machen. Eine wissenschaftliche, datenbasierte Validierung dieser Theorie fehlt aber.
- Das Transformation-Flow-Value-Konzept (TFV) von Koskela bleibt ebenfalls auf einer abstrakten Ebene. Hierin liegen gute Theorieansätze über Transformation, Materialfluss und Wertschöpfung in Produktionsprozessen. Die Integration der drei Bereiche, und die Übersetzung der Ansätze auf eine Produktionsrealität der Einzel- und Kleinserienfertigung im Stahlbau sind bisher aber nicht erbracht.

Auch die **Industrievorstudien** zeigen einige Unkenntnisse:

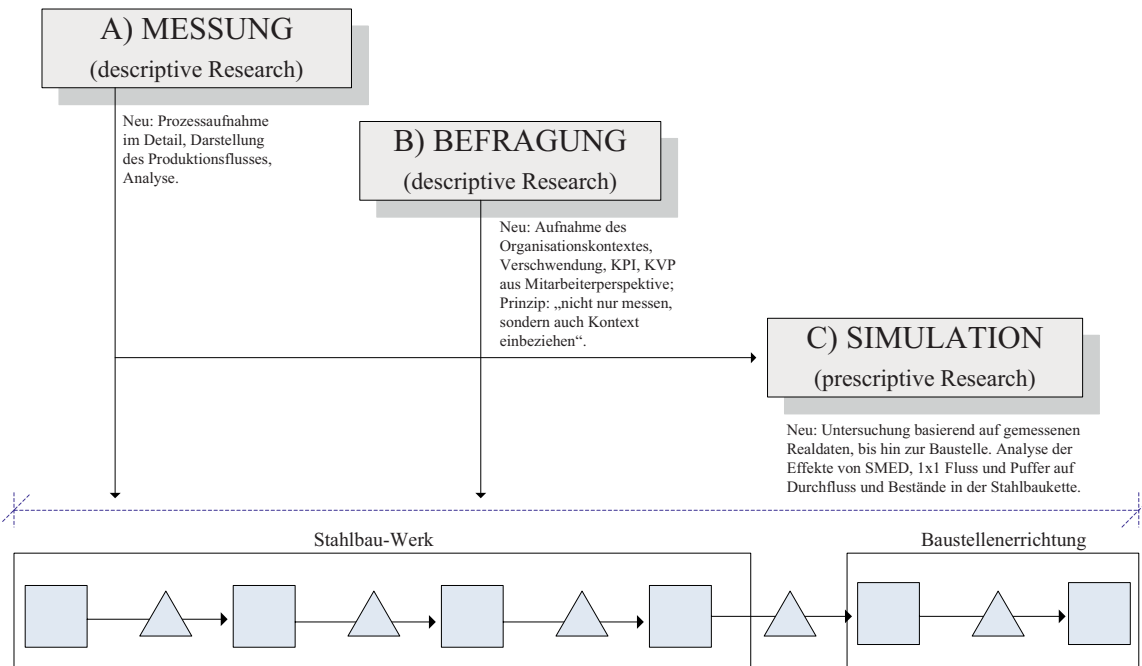
- Die meisten praktischen Verbesserungsmethoden aus Lean-Management im Bauwesen (LPS, Taktsteuerung, SFM) sind in der Einzelfertigung des Stahlbaus bisher nicht bekannt, oder werden nicht angewandt.
- Auch Prozessverbesserungsmethoden aus Lean-Production werden im Stahlbau bisher nicht verfolgt. Ein Argument der befragten Personen hierzu ist, dass die Produktionsprozesse in der Einzel- und Kleinserienfertigung zu speziell seien. Richtig an diesem Argument ist zumindest, dass die Prozesse in der Einzel- und Kleinserienfertigung des Stahlbaus bisher nicht systematisch visualisiert sind, und es kein veröffentlichtes Kennzahlensystem zur geeigneten Prozessanalyse, Visualisierung und Steuerung gibt. Daher können die Prozessbeteiligten allenfalls Erfahrungen oder ein „Gefühl“ für die Prozesse besitzen, aber keine datenbasierten Aussagen treffen.
- Die Vorstudien zeigen dem Betrachter zudem, dass Verschwendung in den Prozessen vorliegt. Dies kann jedoch aufgrund mangelnder Messwerte nicht quantifiziert werden. Ebenso ist beobachtet, dass die Stahlbauproduktionskette in den Unternehmen weitgehend in „gedrückter“ Produktion stattfindet, initiiert durch die CNC-gesteuerten, automatisierten Zuschnittsmaschinen. Diese und

weitere Produktionsmuster können aufgrund fehlender Prozessdetails und mangelnder Veröffentlichungen bisher nicht validiert werden.

Basierend auf diesen ausgearbeiteten Anforderungen und Wissenslücken wurde folgender dreigliedriger Lösungsansatz zur Produktionsflussanalyse als Voraussetzung zur Bewertung und Einführung von Lean-Management im Stahlbau gewählt:

- (1) Eine detaillierte Messung des gesamten Stahlbauprozesses, vom Wareneingang bis zur Baustellenerrichtung, basierend auf zwei Fallstudien. Die Prozessanalyseform der Wertstromanalyse ist um einige Details erweitert, wie z.B. die Varianzbestimmung der einzelnen Prozessstationen. Daraus abgeleitet wurde ein Kennzahlensystem zur Prozessvisualisierung und Steuerung der Stahlbauprozesse entwickelt.
- (2) Der Einbezug des Unternehmenskontextes findet parallel zu den Produktionsmessungen durch ein entwickeltes Organisationsbefragungsmodell statt.
- (3) Mittels eines entwickelten DES-Simulationsmodells, basierend auf den in (1) gemessenen Prozessdaten, wird anschließend untersucht, welche Lean-Methode in diesem Kontext (2) quantitativ zu welchem Effekt hinsichtlich der Verbesserung des Produktionsflusses und der Reduzierung von Zwischenbeständen (WIP) führt.

Die Validierung der Ergebnisse aus (1) und (2) findet im Anschluss an die detaillierte Prozessanalyse in den Unternehmen mittels eines Ergebnis-Feedbackworkshops mit den projektbeteiligten Experten statt. Die Validierung von (3) beruht auf dem Vergleich der Modelleigenschaften mit den Messwerten des realen Produktionssystems. Abbildung 5.1 zeigt das methodische Forschungsvorgehen des eigenen Ansatzes.



**Validierung und Auswertung mittels eines Ergebnisworkshops:**  
 Feedback und Auswertungsdiskussion der Ergebnisse mit den Projektbeteiligten Personen aus der Fertigung.  
 Präsentation der Prozessschwankungen, Auswertung der Organisationsbefragung, Diskussion zu Handlungsansätzen,  
 Vorstellung des entwickelten Kennzahlensystems zur pull-Steuerung.

**Abbildung 5.1. Forschungsmethodik des eigenen Ansatzes**

## 6 Produktionsflussanalyse: Messung, Kennzahlen, Befragung

Der beschreibende Teil (descriptive research) der Produktionsflussanalyse beruht auf detaillierten Messungen des gesamten Produktionsflusses, einem entwickelten Gesamtflusskennzahlensystem und einem Organisationsbefragungsmodell.

### 6.1 Prozessdetailmessungen

Die Prozessdetailmessungen sind stromaufwärts von der Baustelle beginnend, über den Warenausgang im Stahlbauwerk, bis hin zum Wareneingang durchgeführt. Pro Arbeitsstation werden durchschnittlich 10 Produktionszyklen gemessen. Bei den Zeitmessungen ist das Ziel, den Produktionsprozess genau zu analysieren, d.h. auch eine klare Unterscheidung zwischen der gemessenen Wertschöpfungszeit und den Setup-Zeiten festzuhalten (Transport, Warten, Suchen, Inspektion; vergleiche Tabelle 6.1). Bei den Messungen wird im Gegensatz zu REFA-Studien<sup>32</sup> nicht die produktive Arbeitszeit eines Mitarbeiters gemessen, sondern der Produktionsprozess aus der Materialflussperspektive. Der Betrachter versetzt sich sozusagen in die Perspektive eines Stahlträgers, der eine Messuhr in sich trägt, die angibt, wann und wie viel Zeit am Träger an der einzelnen Arbeitsstation gearbeitet wird, wie lange er wartet und kontrolliert wird, oder bis wann er zur nächsten Station weitertransportiert wird.

Zusätzlich zu den Zeitmessungen ist die Anzahl der Einzelteile erfasst (oft werden beispielsweise mehrere Teile gleichzeitig an einer Arbeitsstation bearbeitet), das jeweilige Gewicht der Einzelteile, und die Vorbestände an der Arbeitsstation. Die Ergebnisse dieser systematischen Produktionsflussmessungen vom Wareneingang bis zur Baustellenmontage sind in zwei Fallstudien erklärt (Kapitel 7).

Tabelle 6.1. Datenerhebung, Beispiel des Zusammenbaus

	Nr.	Prozesszeit [s], (Heften; wertschöpfend)	Setup-Zeit [s] (Transport, Rüsten, Suchen; nicht wertschöpfend)	Haupt- positionen	Unter- positionen	Anzahl Verbind- ungen	Gewicht (Tonnen)	Kommentar
1. Zyklus	15		242	1			0,302	Zeichnung lesen, Träger auf Arbeitsplatz
	16	80				3	0,0073	Schweißen von 3 Unterpositionen (UP) an die Hauptposition (Träger)
	17	57				1	0,007	Schweißen von UP 4
	18		261					nachmessen
	19	81			1	1	0,001	Schweißen von UP 5
	20		143					Träger drehen und nachmessen
	21	174			3	3	0,003	Schweißen von UP 6-8
	22		539					Transport der 2 fertigen Träger zur Schweißablage
2. Zyklus	23		120	2			0,604	Antransport, 2 neue Träger

<sup>32</sup> REFA = Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung.

Aus den Erfahrungen und Erkenntnissen dieser Detailprozessmessungen wird im Folgenden ein für die Einzel- und Kleinserienfertigung des Stahlbaus passendes Gesamtkennzahlensystem entwickelt, zur Prozessanalyse, -visualisierung und -steuerung.

## **6.2 Kennzahlensystematik zur Produktionssteuerung im Stahlbau**

*„Before we can eliminate waste, we must be able to see it. If we can identify waste, we can target it for elimination. If we can't see it, it will remain [Dug-'02].“*

Die Visualisierung des realen Arbeitsaufwandes anhand eines Kennzahlensystems hat zum Ziel, den Produktionsfluss genauer zu erfassen, und damit die Voraussetzungen für eine Systemverbesserung zu schaffen. Das entwickelte Konzept soll ein über die Wertschöpfungskette gegliedertes Kennzahlensystem zur Produktionssteuerung mit „Zieh-Methoden“ (pull) bilden, das leicht verständlich und kostengünstig umsetzbar ist. Erst in der Detailbetrachtung wird Verbesserung durch Reduzierung von nicht-wertschöpfenden Prozessvarianzen und dadurch Verstetigung ermöglicht. Das entwickelte Kennzahlenkonzept trotz der in der Firmenpraxis gängigen Meinung, die Stahlprodukte seien zu individuell, als dass ein Kennzahlensystem gewinnbringend einsetzbar wäre. Anders formuliert, ohne Sichtbarmachen der Prozessdetails sind die Effekte von Veränderung nicht erfassbar, und dadurch ist langfristig keine Verbesserung möglich!

Es geht darum, eine Systematik zu entwickeln und zu implementieren (d.h. ein theoretisch durchdachtes und praktisch umsetzbares Konzept), mit Hilfe dessen, passend für die Fertigungsrealität des Unternehmens, Prozesszeiten und Qualitätsabweichungen systematisch im Detail sichtbar werden. Die Umsetzung eines solches Konzept ist an das Management und an technische Unterstützungswerkzeuge (z.B. standardisierte Datenerfassung) gekoppelt. Hier ist gegebenenfalls auch der Einsatz von Barcodes, RFID-Tags oder Shop-Floor-Management-Systemen sinnvoll.

### 6.2.1 Entwicklungskriterien des Kennzahlensystems mit „pull“-Prinzip

Die Kriterien zur Erstellung des Kennzahlensystems basieren auf den Faktoren „Einfachheit (Simplicity)“ und „Wertschöpfung“. Interviews mit verschiedenen Produktionsmanagern im Stahlbau zeigen, dass eine der wichtigsten Charakteristiken für die Akzeptanz einer Kennzahl das Kriterium der „Simplicity“ ist. Eine Kennzahl (KPI) soll demnach ausschließlich wertschöpfende Informationen auf einfache Weise erfassen und direkt verständlich sein. Die Anforderung an das entwickelte Kennzahlensystem nach Lean-Prinzipien ist, nur die für die Produktionssteuerung wertschöpfenden Daten in der richtigen Quantität und Betrachtungsfrequenz zu erheben, das heißt:

*Potentieller Gewinn durch KPI  $\geq$  Kostenaufwand (KPI Entwicklung + Erhebung + Auswertung)*

Neu ist innerhalb des entwickelten Konzeptes die Prozessverknüpfung, und die dadurch ermöglichte Produktionssteuerung nach Lean-Prinzipien. Drei Ebenen legen die Rangfolge und die Zielgrößen der einzelnen Kennzahlen fest, dargestellt in Abbildung 6.1.

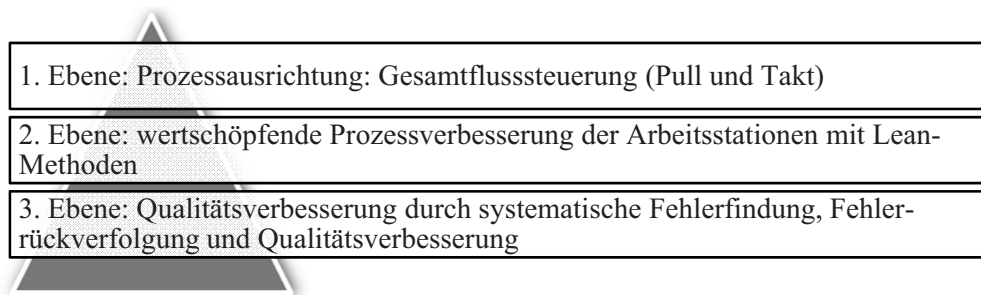


Abbildung 6.1. Drei Indikatorebenen und deren Zielsetzung

Die **höchste Priorität** haben diejenigen Kennzahlen, die den **Gesamtprozess** weit möglichst nach Flussprinzipien (pull) steuern und den Produktionsfluss kontrollieren. Diese Ebene basiert auf der Frage, wie Organisationsfunktionen und Fertigungseinheiten als Gesamtprozess bestmöglich ausgerichtet werden können?

Auf der **zweiten Ebene** stehen Kennzahlen, die zur **Visualisierung der Produktivität** am jeweiligen Arbeitsstand dienen. Ziel ist die Förderung der Wertschöpfungszeiten als Produktumwandlungszeiten, sowie die Visualisierung von Varianzen des Prozesses und von Rüst-, Transport-, Warte- und Inspektionszeiten.

Die **dritte Indikatorebene** bilden **Fehlerfindungs-** und **Verbesserungskennzahlen**. Ein Fehler ist beispielsweise eine falsch angeschweißte Verbindung, fehlende Hauptpositionen innerhalb einer LKW-Lieferung auf der Baustelle oder ein Fehler in einer Konstruktionszeichnung, zum Beispiel ein falsches Bohrloch innerhalb eines Trägers. Nur durch eine systematische Erfassung und Fehlerrückverfolgung über alle Arbeitsabschnitte hinweg, können Fehler an der Wurzel erkannt und

eliminiert werden. Dadurch entstehen insgesamt eine nachhaltig verbesserte Qualität und Kostenersparnisse innerhalb der Produkte und der Produktionsprozesse.

### **6.2.2 Beispielentwicklung einer Kennzahl für Heft- und Schweißstände (2. Ebene)**

Die Entwicklung der richtigen Leistungskennzahlen für Heft- und Schweißstände innerhalb der 2. Indikatorebene stellt exemplarisch das Vorgehen zur Entwicklung von Kennzahlen für alle anderen Arbeitsstationen im Fertigungsprozess dar. Dazu sind die Heft- und Schweißstände gewählt, die durch ihre manuelle handwerkliche Arbeitsweise charakterisiert sind. Die einzigen Hilfsmaschinen sind Transportwerkzeuge (Kran oder Rollbahnen) und manuell geführte Schweißgeräte. Laut Umfragen in fünf verschiedenen Unternehmen veränderte sich innerhalb der letzten 25 Jahre an diesen Arbeitsstationen verfahrenstechnisch nichts. Verglichen mit einem herkömmlichen Schlossereibetrieb besteht der Unterschied im Stahlbau in der Bauteilgröße und Arbeitszergliederung zwischen dem Zusammenbau (Heftstände) und den nachgelagerten Schweißständen. Auch hier ist die einzig bestehende Produktionskennzahl [Tonnage / Stunde]. In manchen der untersuchten Betriebe buchen die Mitarbeiter ihre Bruttoarbeitszeit auf den bearbeiteten Auftrag (Projekt). Dadurch sind nach Projektabschluss Bruttogesamtaufwandswerte eines Projektes kalkulierbar, aber es ist keine Aufgliederung in wertschöpfende Prozessdauer, Transport-, Warte- und Inspektionszeiten pro Hauptposition vorhanden, die dem Mitarbeiter als Hilfestellung zur Verbesserung des Produktionsflusses dienen könnte.

Der Zusammenbau vieler kleiner Einzelteile mit kurzen Schweißnähten beispielsweise verursacht einen hohen, manuellen Fertigungsaufwand und niedrige Durchsatzproduktivität. Hingegen ergibt ein großer Träger mit wenigen Anbaupositionen und geringer Schweißnahtfläche nach der Leistungskennzahl [t/h] eine hohe Arbeitsproduktivität. Ist das richtig?

Ein Arbeitszyklus des Heftens (Zusammenbaus) gliedert sich in fünf Schritte:

1. Transport des Materials (1 Hauptposition) vom Vorlager auf den Heftstand (Hilfsmittel Kran).
2. Zeichnungsplan lesen und verstehen, Kleinteile (Unterpositionen) an die richtige Heftstellen positionieren, gegebenenfalls anritzen (wenn dies nicht schon durch Sägebohranlagen erbracht ist).
3. Punktueller Anschweißen der Unterpositionen an die Hauptposition.
4. Kontrolle.
5. Weitertransport der fertigen Hauptposition vor den nachgelagerten Schweißstand.

Wiederholung des Zyklus.

Abbildung 6.2 stellt die Zyklusschritte des Heftens dar.

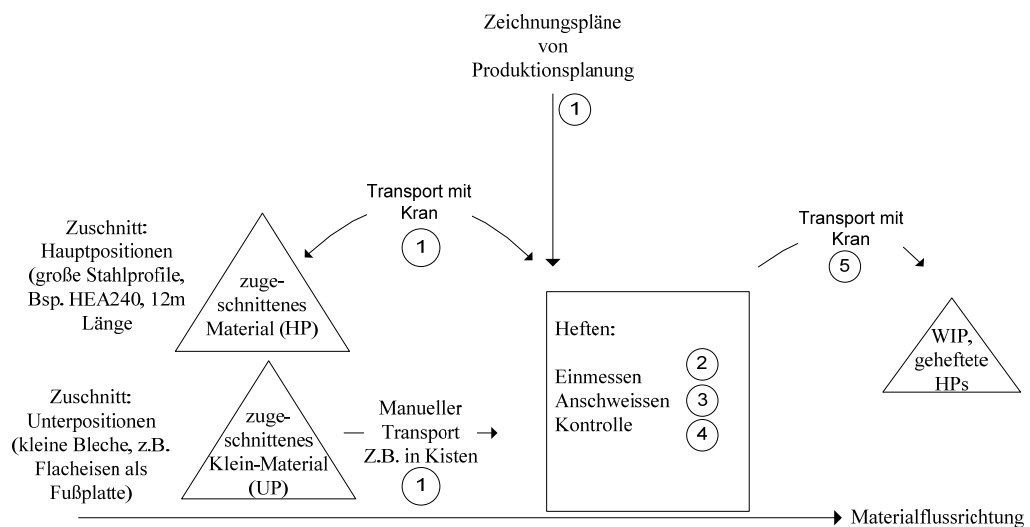


Abbildung 6.2. Ablauf und Zyklus eines Heftvorgangs

Der Arbeitszyklus des Schweißens gliedert sich ebenfalls in fünf Schritte:

1. Transport des zu schweißenden Trägers auf die Arbeitsstation.
2. Schweißen und Drehen des Trägers (je nach geforderter Schweißnahtdicke z.B. 1, 3 oder 5-lagig (für  $a = 4-5 \text{ mm}, 6 \text{ mm}, 10 \text{ mm}$ )).
3. Kontrolle und Säubern der Schweißnähte (wichtig für Beschichtung).
4. Stempeln (Gütesiegel und Qualitätskontrolle des Schweißers).
5. Weitertransport (Freistellen des Arbeitsplatzes).

Wiederholung des Zyklus.

Die Wertschöpfung beim Zusammenbau besteht im richtigen Anheften von Unterpositionen an eine Hauptposition. Ziel ist es, das Positionieren und punktuelle Anschweißen von Unterpositionen an die



planmäßig geforderte Stelle der Hauptposition in der geringstmöglichen Zeit durchzuführen. Am Schweißstand ist die Wertschöpfungszielsetzung als die geringstmögliche Zeit definiert, um alle geforderten Schweißnähte in der geforderten Dicke, Güte, und Qualität, inklusive Qualitätsstempeln, zu erbringen. Jegliche andere Tätigkeiten sind nicht wertschöpfend (vgl., TFV-Modell [Kos-‘00]). Die gemessenen Prozesswerte in Abbildung 6.3 sind den Messungen der zweiten Fallstudie entnommen. In den jeweiligen Diagrammen ist die Leistung als [Tonnen / h], [Hauptpositionen / h] und [Anzahl der Verbindungen / h] aufgezeichnet.

Die **erste Grafik** beschreibt die Anzahl von Hauptpositionen pro Stunde, im Verhältnis zur Anzahl der Verbindungen je Arbeitszyklus. Dabei ist bei einer häufigen Verbindungsanzahl von 6-12 Unterpositionen je Zyklus ein hoher Streuungswert des Durchsatzes an Hauptpositionen pro Stunde sichtbar (zwischen durchschnittlich 0,8 bis 8,4 [HP/h]).

**Grafik 2** stellt das Verhältnis von Tonnendurchsatz pro Stunde zur Anzahl der Verbindungen pro Hauptposition dar. Auch in dieser Darstellung sind die Streuungswerte des Tonnendurchsatzes sehr hoch (Spannbreite von 0,6 bis 4,7 [t/h], das heißt die Streuungsbreite beträgt 1100%, gemessen am geringsten Durchsatz). Sowohl die Zykluszeit als auch der Tonnendurchsatz variieren mit der Anzahl an Verbindungen. Demnach ist bei gleicher Gewichtsgrößenordnung der Hauptpositionen (hier 0,43 bis 0,47 t/HP) die Streuung des Tonnendurchsatzes durch die variierende Anzahl an Verbindungen begründet. **Diagramm 3** beschreibt die geheftete Masse pro Stunde [t/h], im Verhältnis zur benötigten Zeit pro Zyklus. Eine Zykluszeit beträgt hier von minimalen 18 Minuten bis zu maximalen 100 Minuten. Im **vierten Teil** von Abbildung 6.3 sind die beiden Durchflusseinheiten „Tonnen/Stunde“ und „Anzahl der Verbindungen/Stunde“ direkt verglichen. Daraus ist ersichtlich, dass die Streuung der Leistungswerte an [Verbindung / Stunde] geringer ausfällt als die Streuung der Kennzahl [Tonne / Stunde].

Die Erklärung des einzelnen stark abweichenden Messpunktes liegt darin, dass sich diese Hauptposition von den anderen in der Anzahl der Anbaupositionen stark unterscheidet. Dies ist eine bereits erwähnte Charakteristik der Arbeitsprozesse an Heftstationen, wobei die Anzahl der Anbaupositionen typischerweise zwischen 1 und 30 Teilen liegt.

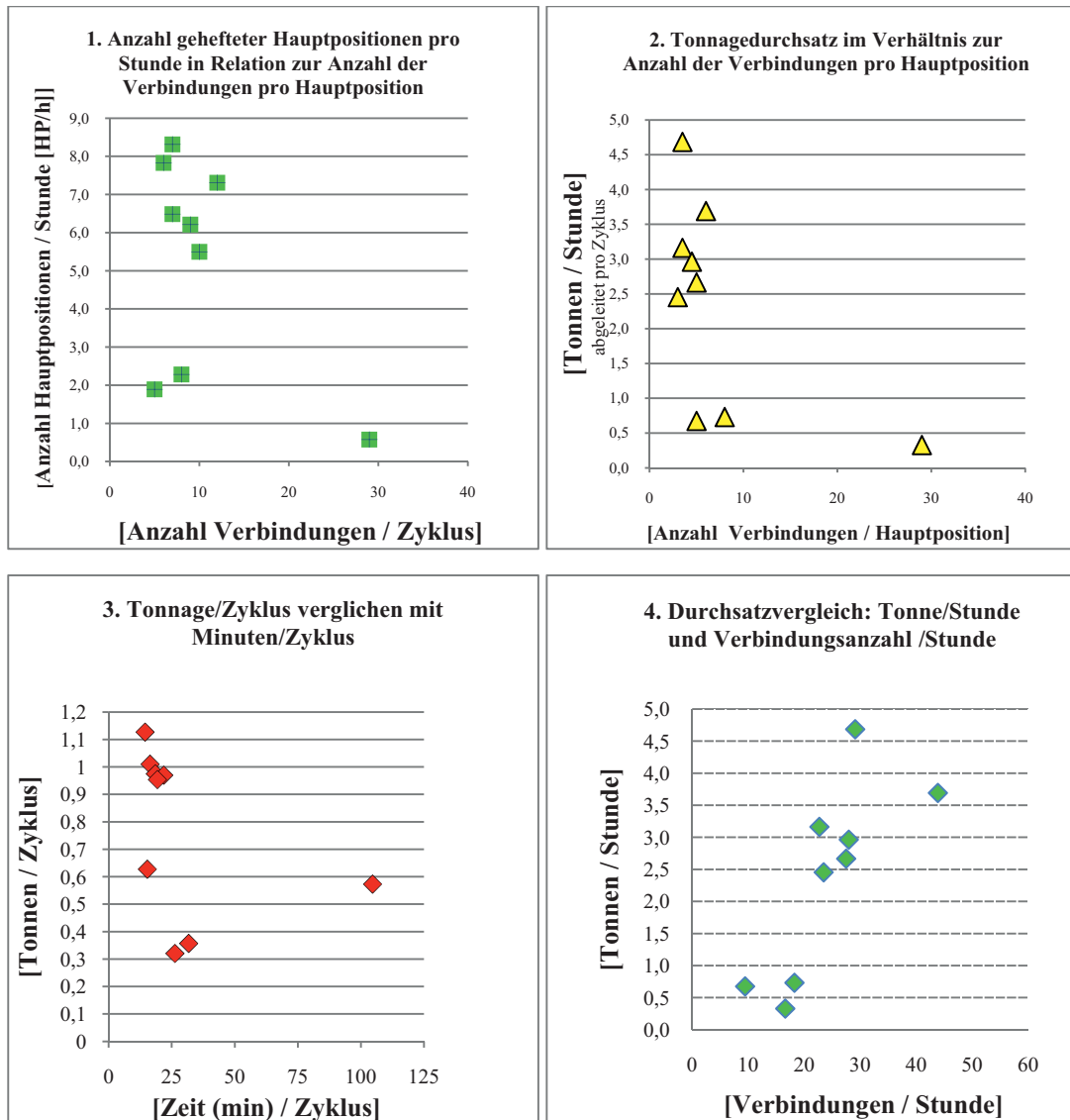


Abbildung 6.3. Kennzahlenentwicklung für Heftstationen

Durch die schwierigen Bedingungen der Datenerhebung an manuellen Arbeitsstationen konnten nicht mehr Messzyklen durchgeführt werden<sup>33</sup>.

Aus den erörterten Detailbetrachtungen von Abbildung 6.3 beschreibt daher die Kennzahl [Anzahl an Verbindungen pro Stunde] besser die erbrachte Leistung an den Heftständen, als die herkömmliche Kennzahl [Tonnage pro Stunde]. Praktisch formuliert: will ein Produktionsleiter die

<sup>33</sup> Innerhalb der deutschen Unternehmen ist Leistungsmessung von Mitarbeitern für externe Datenerhebung schwierig durchsetzbar. Innerhalb der Fallstudien ist es nur unter Einbezug der Gewerkschaft möglich, und die Datenerhebung konnte nur innerhalb einer Arbeitsschicht durchgeführt werden.

Leistung dieser Zusammenbaustände visualisieren, so ist die Leistung am realitätsnächsten durch die Kennzahl [Anzahl richtiger Verbindungen pro Stunde] zu bestimmen.

Die Wertschöpfung an den Schweißständen besteht jedoch in der geforderten Güte und Abmessung beim Erbringen der Schweißnaht. Mit der Kennzahl [t/h] wird demnach weder bei Heftständen noch Schweißvorgängen die wirkliche Wertschöpfung wiedergegeben. Prozessverbesserung mit der Kennzahl [t / h] würde dann bedeuten, entweder die Mitarbeiter aufzufordern, ggf. „schneller zu arbeiten“, oder eine zusätzliche Arbeitsschicht einzusetzen, in der Annahme, dass dadurch mehr Tonnen abgearbeitet werden können. Dies ist nach Ansicht des Verfassers ein wenig zielführender Steuerungsansatz.

Als Ergebnis der Prozessmessungen und Detailanalyse ergibt sich daraus die Kennzahl zur wertschöpfenden Prozessverbesserung für die

→ Heftstände (Zusammenbau):

**[Heftleistung = Summe der Verbindungen pro Stunde]** mit [Verbindung = Anzahl (HP+ dazugehörige Summe UPs -1)]

→ Schweißstände:

**[Schweißleistung = Schweißnahtfläche pro Stunde]** mit [Schweißnahtfläche = Länge x Tiefe]

Damit liegen zwei bessere Leistungsvergleichswerte vor, die zur produktionsinternen Steuerung und Zeitabschätzung der Produktionsdauer dienlich sind<sup>34</sup>. Der Tonnageindikator [h/t] kann weiterhin bestehen bleiben, um eine durchgängige Makro-Kennzahl pro Projekt zu erhalten, die zur wirtschaftlichen Gesamtevaluation des Projektes, aber nicht zur Produktionssteuerung dienlich ist. Die Bauteilgröße spielt vereinfacht dargestellt in diesem Stahlsystembauprozess eine untergeordnete Rolle, da alle Hauptpositionen in der Regel schwerer als 100kg sind und somit mit dem Kran transportiert werden müssen. Unterpositionen im leichten Stahlsystembau sind in der Regel kleiner als 20kg und können daher von Hand an die richtige Stelle positioniert werden.

---

<sup>34</sup> Die zu produzierenden Datenwerte (Anzahl der zu heftenden Verbindungen, oder Schweißnahtlänge x Dicke) können in der Regel direkt aus den CAD-Konstruktionsplänen elektronisch gefiltert werden, d.h. der Aufwand zur Bestimmung der erbrachten Leistung ist hinsichtlich der Schweißnahtfläche verhältnismäßig gering.

### 6.2.3 Gesamtkennzahlenkonzept für Stahlbauprozesse

Im Folgenden sind die Kennzahlen der ersten Ebene, sowie zusammengefasst die Kennzahlen der zweiten und dritten Ebene erklärt.

#### 6.2.3.1 Erste Kennzahlenebene: Gesamtflusssteuerung

Die erste und höchste Kennzahlenebene umfasst die Gesamtflusssteuerung, mit einer Prozessausrichtung der Organisationsstrukturen und der Produktion. Herkömmliche Organisationen sind typischerweise als entkoppelte Linienorganisationen strukturiert. Bereits innerhalb eines Fertigungswerkes besteht in den wenigsten Fällen eine abgestimmte Durchgängigkeit zwischen Einkauf, Produktion, Versand und technischer Planung. Noch stärker ausgeprägt ist die Trennung zwischen den Organisationseinheiten des Werkes und der Baustelle (Tiefbau, Montage, technischer Gebäudeausbau). Hintergrundziel der ersten Kennzahlenebene ist es, die einzelnen Organisationsfunktionen mittels Kennzahlen zu verzahnen, und dem Produktionsprozess folgend horizontal auszurichten. Dieses Prinzip ist in Abbildung 6.4 veranschaulicht, mit einer hierarchischen, vertikalen Projektorganisation auf der linken Bildhälfte, und dem Zielzustand einer Prozessausrichtung der Organisationseinheiten und des Materialflusses auf der rechten Bildhälfte.

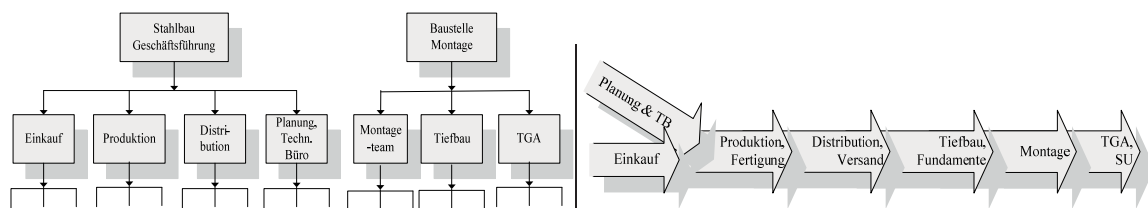


Abbildung 6.4. Ziel der 1.KPI-Ebene: Organisationseinheiten als Prozess

Die Prozessausrichtung in dieser Form kann nur stattfinden, indem die Produktion bedarfsgerecht gesteuert wird, d.h. eine regelmäßige kundengesteuerte Taktung erfährt. Die richtige Taktgröße für die Fertigung ist durch den Termin des jeweiligen Montageabschnitts (MOAB) definiert. Vorgegeben durch die Bauplanung und abgerufen vom Montageteam, liefert der MOAB die richtige bedarfsgerechte Zeitgröße, um Aufträge in einem zeitlich definierten Vorlauf in der Stahlbaufertigung an den Zuschnittsstationen zu initiieren. Eine konsequent durchgeführte und funktionierende MOAB-Steuerung ist der Systemschlüssel der ersten Ebene, einer Gesamtflusssteuerung der Wertschöpfungskette im Stahlbau. Dabei beziehen sich die wichtigsten Kennzahlen als kritische Erfolgsfaktoren auf die organisatorische Schnittstelle zwischen der Baustelle und dem Fertigungswerk:

a) Die Zuverlässigkeit der rechtzeitigen, richtigen und vollständigen Materiallieferungen von Seiten der Stahlbaufertigung.

(1) Kennzahl: terminliche Lieferzuverlässigkeit des Werkes [**LiZu**]

(2) Kennzahl: in der geforderten Vollständigkeit und Qualität [**VQ**]

b) Die Abrufzuverlässigkeit der richtigen Abnahmetermine. Das heißt, der Fertigungsversand misst die terminliche Abrufzuverlässigkeit der angeforderten Produkte von Seiten des Montageteams. (Im Fall von Terminverschiebungen müsste das Montageteam die Abruffermine zeitnah aktualisieren (zeitnah bedeutet  $\geq$  Durchlaufzeit, zum Beispiel eine Woche vor dem ursprünglichen Abruffermin).

(3) Kennzahl: Abnahmezuverlässigkeit der Baustellenmontage [**AbZu**].

Auf Tagesbasis finden dann die tatsächlichen Abrufe der Produkte von den Baustellenmontageteams statt. Dies kann in Form von übergeordneten LPS-Sitzungen, beispielsweise als Telefonkonferenz stattfinden, oder über Emailabsprache, oder mit einem elektronischen Kanbansystem. Entscheidend ist, dass vom Versand die [AbZu]-Kennzahl, und von den Baustellenmontageteams die Kennzahlen [LiZu] und [VQ] systematisch und täglich gemessen werden. Bei Abweichungen vom Sollzustand ist wie in den LPS-Besprechungen nach den Gründen zu fragen (5W-Prinzip, vgl. Tabelle 3.1), um die Ursachen zu verstehen und damit Lernen und Verbesserung zu ermöglichen. Eine quartalsmäßige Akkumulation und Verfolgung dieser Kennzahlen ermöglicht den Werks- und Baubereichsleitern, den Gesamtwertschöpfungsprozess von der Stahlverarbeitung bis zur Bauwerkserstellung zu harmonisieren, und Bestände auf eine gewünschte Zielgröße abzubauen.

Das Schema der Gesamtprozesssteuerung durch die Kennzahlenebene 1 ist in Abbildung 6.5 dargestellt. Zur Managementumsetzung dieser „pull“-Steuerung sind drei zeitlich unterschiedliche Abspracheplanungsfenster enthalten. Die größte Zeitebene von 1-3 Monaten bildet der Phasenterminplan der Baustellenplanung, wonach die Grobeinteilung der Montageabschnitte mit der Fertigungskapazitätsplanung abgestimmt wird. Dieses Vorgehen ist auch bisher schon üblich. Neu ist die kennzahlenbasierte, systematische Verfolgung der angeforderten und festgelegten Abnahmetermine in einer wöchentlichen Vorplanung, und die Festlegung und Überprüfung der MOAB-Termine zwischen Werk und Baustelle. Die dafür richtige Zeitgröße der Abstimmungsfrequenz errechnet sich aus folgender Formel (6.1):

$$\text{Abstimmungsfrequenz [AT]} = \text{Durchlaufzeit [AT]} + \left( \frac{\text{Zielgröße des Versandlagers [t]}}{\text{Abnahmemenge pro Tag } \left[ \frac{t}{\text{AT}} \right]} \right)$$

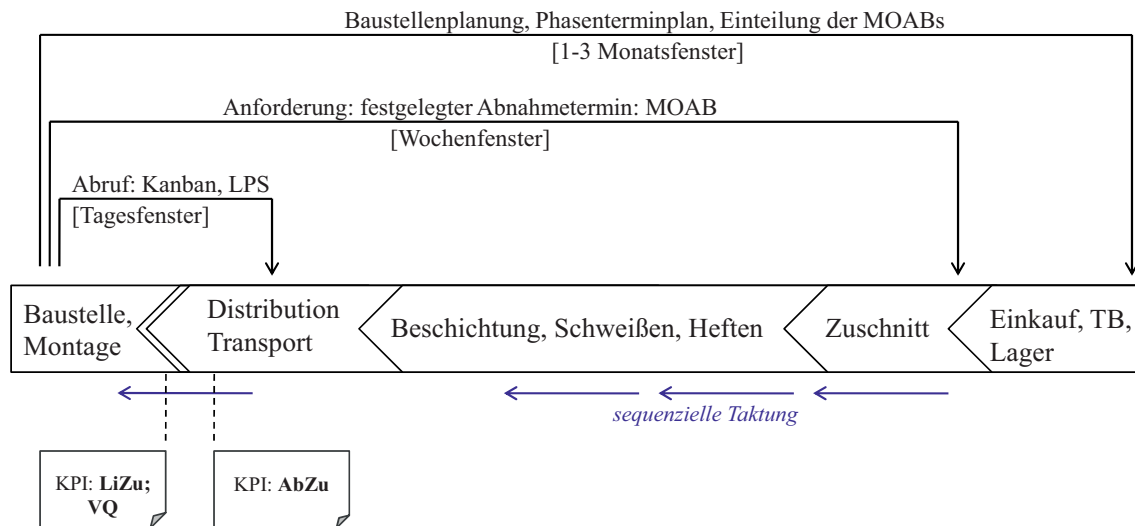


Abbildung 6.5. Erste KPI-Ebene eines Gesamtsteuerungssystems im Stahlbau

Wie wichtig diese Abstimmung zwischen Baustelle und Fertigungswerk hinsichtlich der Produktionsflusssteuerung ist, zeigen Bestandsaufnahmen des Versandlagers, basierend auf der 2. Fallstudie. Bei über 40% aller sich im Lager befindlichen Aufträge war der von der Baustelle geforderte Abruftermin schon über eine Woche abgelaufen, und die Produkte verblieben im Lager ohne weitere Zusatzerklärung, wann sie tatsächlich abgerufen werden sollten. Das heißt, wenn die Baustellenmontage die Produkte zum erforderlichen Termin abrufen, und das Werk zum Zeitpunkt des geforderten Abrufs die Produkte fertigstellen würde, dann könnte das Lager um 40% verringert werden. Nicht quantifiziert, aber leicht vorstellbar, sind die negativen Auswirkungen von niedrigen Abrufzuverlässigkeitswerten auf die gesamte Produktionsplanung im Werk.

Im Unterschied zu herkömmlicher Produktionssteuerung impliziert die Gesamtflusssteuerung nach Abbildung 6.6, dass die Kapazität dieser Stationen entsprechend gedrosselt werden muss, solange nach der aktuellen MOAB-Taktung keine volle Auslastung der Säge-Bohranlagen im Zuschnitt gefordert ist. Andernfalls entsteht Überproduktion, mit Folgen der Taktänderung, Bestandserhöhung, Suchen und sonstiger Verschwendung (vergleiche: 7 Arten der Verschwendung [Wom-'04]). Ziel sollte in diesem Fall sein, die frei werdende Kapazität für systemverbessernde Maßnahmen zu nutzen (zum Beispiel Maßnahmen von KVP, Ausbildung multifunktionaler Mitarbeiter, Weiterbildungsprogramme, 5S-Workshops usw.).

Tabelle 6.2 enthält die wesentlichen Charakteristika der drei Kennzahlen der Gesamtsteuerungsebene, und die Systematik der Umsetzung, Erhebung und Kostenschätzung (weitere Details und Hintergrundannahmen sind dazu in Anhang 6A erklärt).

Tabelle 6.2: Detailerklärungen der Kennzahlen LiZu, AbZu und VQ

<b>Ebene 1: Gesamtprozessausrichtung</b>	
<b>Kennzahlen</b>	<b>Taktzeit und Pull mittels Montageabschnitt: Kennzahlen [AbZu], [LiZu], [VQ]</b>
Beschreibung	Ziel: Taktung des Gesamtprozesses mit den eingebundenen Organisationseinheiten
Mess-Einheit	MOAB-Termin [Tag / Abruf des Montageabschnitts] mit entsprechend geforderten Einzelteilen (Hauptpositionen) und deren Volumengewichten.
Erhebung der Kennzahlen [AbZu, LiZu, VQ] durch... Steuerung und Kontrolle der Kennzahlen durch...	<p>a) Der Versand misst die Abrufzuverlässigkeit durch die Baustelle. b) Die Baustelle misst die Lieferzuverlässigkeit, Qualität und Vollständigkeit der Produkte des Werkes.</p> <p>Die geforderten MOABs werden eine Woche vor Abrufdatum in eine Produktionsreihenfolge getaktet und an die Zuschnittstationen und den Feinteilbau übermittelt (sodass 2 Tage später das Material gleichzeitig fertig in der Kommissionierung ankommt). Für Zuschnitt, Zusammenbau und Schweißen ändert sich die Produktionssequenz bis zur Beschichtung und Kommissionierung dann nicht mehr. Kontrolle: Monatliche Akkumulierung der AbZu und LiZu-Kennzahlen an die Werksleitung und Bauleitung. Die Taktung wird über Shop-Floor-Managementsysteme direkt und selbststeuernd durchgeführt. Die Produktionssteuerung im Werk misst monatlich die Abweichungen und erfasst systematisch die Gründe dafür.</p>
Umsetzung (notwendige Entscheidungen)	<p>Die Entscheidung auf Geschäftsführungsebene zur konsequenten Umsetzung dieser Lösung ist notwendig.</p> <p>Die Unternehmensleitung muss Verbesserung und Prozessvisualisierung mittels Kennzahlen wollen, und sollte auch ein passendes zusätzliches Anreizsystem dazu schaffen.</p>
Kritischer Erfolgsfaktor	Die Koordination der Schnittstelle zwischen Baustelle und produzierendem Werk bildet den kritischen Erfolgsfaktor für ein Gesamtsteuerungskonzept. Nur durch konsequente und disziplinierte Erhebung der Lieferzuverlässigkeit des Werkes, und der termingerechten bzw. aktualisierten Abnahmezuverlässigkeit der Baustellenmontage kann dies erreicht werden.
Kosten und Gewinnschätzung	Die detaillierte Aufstellung der Kostenschätzung befindet sich im Anhang 6A. Der durch diese Kennzahlensteuerung entstehende Gewinn durch reduzierbare Bestände, reduzierte Suchzeiten, Nacharbeit und Nachträgen wird auf mindestens das Zehnfache geschätzt.

### 6.2.3.2 Kennzahlen der 2. Ebene (Produktivität) und 3. Ebene (Qualitätsverbesserung)

Die zweite und dritte Kennzahlenebene erhebt als Basis für die spätere Optimierung und Wertschöpfungsausrichtung der Einzelprozessstationen Messdaten. Für jede Arbeitsstation, vom Wareneingang in der Fertigung bis zur Montage auf der Baustelle, sind neben der herkömmlichen Tonnagekennzahl ein bis zwei weitere Schlüsselkennzahlen definiert. Die jeweilige Entwicklung der Kennzahl basiert auf dem in Kapitel 6.2.1 vorgestellten Entwicklungsvorgehen, und der Definition des Wertschöpfungsaspektes des jeweiligen Prozessabschnittes. Tabelle 6.3 beschreibt dazu die Zielsetzung, die Erhebungsmethode, den Kosten-Nutzenaufwand und die Umsetzungserfolgsfaktoren der jeweiligen Kennzahl. Das Gesamtbild pro Prozessstation entsteht typischerweise aus einer Leistungskennzahl (1), einer Bestandskennzahl (2) und einer Qualitäts-Verbesserungskennzahl (3).

Dadurch sind die „Lücken“ des Gesamtsystems zu einem sich verbessernden Produktionsfluss geschlossen. Zwei in der Stahlbaufertigung verbleibende, aber größendefinierte Bestandspuffer sind im Kennzahlenkonzept für den Stahlbauprozess zielgerichtet beibehalten. Der erste Bestandspuffer befindet sich vor der Beschichtungsanlage (aufgrund hoher Maschinenrüstzeiten bei Farbwechsel<sup>35</sup>). Der zweite Bestandspuffer dient als Entkopplung der Schnittstelle zwischen dem Werksversand und der Baustellenmontage. Dieser ist größenabhängig von den Kennzahlen [LiZu], [AbZu] und [VQ]. Das entwickelte Produktionsflusskennzahlenkonzept kann über die Shop-Floor-Management-Systematik mit Visualisierungstafeln an den Arbeitstationen umgesetzt werden. Die geplanten Produktionsflussdaten werden direkt dem Produktionssystem entnommen (z.B. die erforderliche Schweißnahtfläche, die Anzahl der Verbindungen pro HP oder die Massenermittlung). In jeder Schicht findet ein Abgleich der geplanten Vorgabewerte mit der Produktionsrealität statt. Zunächst kann die gesamte Kontrolle dieser Produktionssteuerung durch Mitarbeiter an der Basis (= den Arbeitsständen) vollzogen werden. Monatlich akkumulierte Resultate leitet der Teamleiter standardisiert an die Produktionsleitung weiter, um die Kennzahlenentwicklung nachverfolgen zu können. Jede Arbeitsstation wird nach diesem Konzept jeweils drei speziell der Zielsetzung folgende, messbare Kennzahlen erhalten. Die folgende Tabelle 6.3 ist im Anhang 6B nochmals vergrößert dargestellt.

Mit dieser Kennzahlensystematik ist eine Grundlage geschaffen, um den Gesamtproduktionsprozess im Stahlbau zu erfassen und zielgerichtet zu verbessern. Die Unterteilung der Prozesszeiten in Transport-, Rüst- und Wartezeiten ist mit der vorgestellten Kennzahlensystematik nicht möglich. Das heißt, auch in Zukunft sind Detailprozessmessungen in zeitlich definierten Abständen notwendig (z.B. 1x/Jahr), um das Produktionssystem als Ganzes zu hinterfragen und Detailschwankungen der Produktivität zu erfassen. Dennoch wird nach Ansicht des Verfassers und der innerhalb der Fallstudien befragten Experten das vorgestellte Konzept signifikante, selbstregulierende Verbesserungen des gesamten Produktionsflusses bewirken.

Die bestehende Leistungskennzahl [t / h] ist zwar nicht zur Produktionssteuerung, aber zur Finanzkontrolle und finanziellen Vergleichbarkeit von Projekten weiterhin nützlich, sofern sie über den gesamten Prozess gemessen wird.

---

<sup>35</sup> Die Größenberechnung dieses Puffers steht in Abhängigkeit der Häufigkeit der Farbwechsel, der Produktvarianz und der Höhe der Rüstzeiten der Beschichtungsanlage.



Tabelle 6.3 Kennzahlen der 2. und 3. Ebene: Produktionsflussoptimierung

Ebene 2: Produktionsoptimierung und Verkettung der Einzelstationen; Ebene 3: Qualitäts und Verbesserungskennzahlen							
	Technisches Büro (TB), Planung und Design	Baustelle (Montage)	Versand, Kommissionieren Lagern	Beschichtung	Schweißen	Heften	Zuschnitt
<b>Wertschöpfung (wertschöpfende Leistung) der Arbeitsstationen</b>	Projektbezogen: Materialoptimierung [m <sup>2</sup> /t] ->max oder Produktionsoptimierung [min Anzahl Einzelteilen St/t]; TB Arbeit optimierend: Anzahl der fertig- und richtig geplanten & gezeichneten Projekte pro Zeit [P/h] bei gleicher MA-Anzahl	Anzahl montierter Bauteile pro Zeit [HPs/h] oder Anzahl errichteter Tonne pro Zeit [t/h] bei gleicher MA-Anzahl	Fertig (ganz fertig!) gepackter Colli (LKW-Ladereinheit = eine Versandsliste) pro Stunde bei gleicher MA-Anzahl [Col/h]	Beschichtungs-tonnage pro Stunde [t/h] oder beschichtete Stück pro Stunde [St/h] bei gleicher MA-Anzahl; allerdings ist der Prozess vollautomatisch, einzige manuelle Prod.-steuerung ist die Zeit zur Teileaufhängung und der Aufhängevorgang selbst.	Erstellung der richtigen Schweißnaht in der geforderten Güte, Länge und Dicke in schnellstmöglicher Zeit. [Schweißnahtfläche(SA) = LängexDicke pro Stunde[SA/h]]; Zusatzregel: Die MOAB-Produktionssequenz darf nicht geändert werden! zusätzliche Kennzahl ohne Steuerungseffekt: [t/h]	Punktuelles Anschweißen einer Unterposition an die richtige Stelle einer Hauptposition in kürzest möglicher Zeit. [Anzahl Verbindungen VB/h]; Zusatzregel: Die MOAB-Produktionssequenz darf nicht geändert werden! zusätzlicher KPI ohne Steuerungseffekt: [t/h]	1. Taktzeitanforderung: MOAB-Sequenz einhaltung mit Materialzielvorgabe für Heftschrift; Ist die ConWIP-Tonnage für den Heftstand erreicht, wird die Restzeit anderweitig genutzt. 2. Richtig zugeschnittene Teile in kürzest möglicher Zeit in der richtigen Sequenz [St/h]; 3. geringstmöglicher Materialausschuss. (Tonnageoutput / Tonnageinput) in [%];
<b>Leistungs-kennzahl [ ] Ebene 2</b>	[m <sup>2</sup> /t], [St/t pro Projekt], [P/h] pro Mitarbeiter [Design (h) / Projekt]	[HPs/h] pro Mitarbeiter, [t/h] pro Projekt	[Col/h] pro Mitarbeiter/Team [t/h] pro Projekt	[St/h]; [t/h] / pro Projekt	[SA/h]; [t/h] pro Mitarbeiter	[VB/h]; [t/h] pro Mitarbeiter	[Anzahl der vorgegebenen HPs und Ups für nächste Heftschrift]. [St/h] pro SB-Anlage; [t/h] pro Projekt & Ausschuss [%]
<b>Zwischenbestände (vor Arbeitsstation / Prozess)</b>	-	[1 Tag Vor-Material für Montage]	max. 1 Woche Monateistung pro Projekt	max 2 Tage Material bis Farbwechsel	- da Sequenzfluss	max Material für 1 Arbeitsschicht	mindestMaterial: 15min Arbeit; Maximalbestand nachgelagert: 4 h.
<b>Qualitäts-Verbesserungs-kennzahl [ ] Ebene 3</b>	(Fehleranzahl / Projekt)[-] Zielwert <10; (Fehleranzahl/ Einzelteil) [%] Zielwert <0,1%	Anzahl der Fehlteile; falsche Moab-Bestellung	1. PEA: (vollständig richtige Lieferung / Anzahl der Gesamtlieferungen) [%]; 2. Fehlteile pro LKW-Ladung [-];	Anzahl und Typ der Qualitätsfehler aus Beschichtung / Monat	[Anzahl falscher Schweißnähte, Güten / MA und Monat]. Rückverfolgung der Gründe.	[Anzahl falsch gehefteter Teile / MA und Monat]; Rückverfolgung der Gründe	[Anzahl der falsch zugeschnittenen Teile / MA und Monat] an jeder Zuschnittsstation. Rückverfolgung von Gründen.
<b>Ziel und Wirkung</b>	Optimierung nach den jeweiligen Projektzielkriterien	Schnellerer und besserer Montageeinbau bei gleicher MA-Anzahl	Ladungen werden ganz fertig zusammengestellt; Verringerung der Zykluszeit von Kommissionierung und Beladung	gleichbleibend, kein Steuerungseffekt	Leistungsrückmeldung an Mitarbeiter; Motivation durch Leistungsanerkennung. Bessere Abschätzungsmöglichkeit für die geplante Dauer eines MOABs	Leistungsrückmeldung an Mitarbeiter; Motivation durch Leistungsanerkennung. Bessere Abschätzungsmöglichkeit für die zu planende Dauer eines MOABs	bedarfsgerechte Produktionstaktung und zeitliche Kapazitätsoptimierung; bestmögliche Materialausnutzung; klare Zielvorgaben für Mitarbeiter, dadurch motivierend.
<b>Erhebung mittels... und durch...</b>	durch Mitarbeiter in Standard-excelformular	händisch ermittelt, täglich vom Montageleiter im Zusammenhang mit Bautagebuch in Stand.excelformular	durch Mitarbeiter selbst; visualisiert über SFM; Eingabe täglich Teamleiter in Stand.excelformular	händisch, direkt durch Mitarbeiter, Verbuchung ins PPS-System	Information SA/Teil aus PPS-System. Zeitaufnahme durch MA über SFM-System. Teamleiter verbucht zum Schichtende die Werte in Stand.excelformular	Information VA/Teil aus PPS-System. Zeitaufnahme durch MA über SFM-System. Teamleiter verbucht zum Schichtende die Werte in Stand.excelformular	Information der Leistungsvorgabe und Sequenz durch Prod.-Leitung an Schicht. [ET/h] und [t] direkt im System erfasst. Der Zuschnitt nimmt auch die Belieferungszeit [St/min] der Strahlanlage auf
<b>Umsetzung und Erfolgsfaktor</b>	Disziplin und Konsequenz der Umsetzung; Belohnungsreiz des besten Projektteams des Monats	Stichpunktartige Zeitmessungen; Disziplin & Konsequente Umsetzung; Zahlen werden konsequent von Geschäftsleitung gefordert	direkte Umsetzung durch SFM-Tafel; nötig dazu ist Disziplin und konsequente Umsetzung; Zahlen werden konsequent von Werksleitung verfolgt	Regelmäßige SMED-Workshops zur Aufhängungs-optimierung und Lagerhaltungsordnung bringen Verbesserung	TB gibt Daten vor; Einführung eines Shop-Floor-Mgt.(SFM)-Systems, Konsequente Zahlenverfolgung durch Produktionsleitung	TB gibt Daten vor; Einführung eines Shop-Floor-Mgt.-Systems, Konsequente Zahlenverfolgung durch Produktionsleitung	Werksleitung verfolgt die monatliche Einhaltung der MOAB-Steuerung [LiZu, AbZu, VQ]; direkte Umsetzung über SFM-System durch Produktionsleitung
<b>Nutzenschätzung (z.B. 6 Monate nach Einführung)</b>	5% Einsparpotential	10% schnellerer Montageprozess, weniger Nachlieferungen; kleinere Planungspufferzeiten aufgrund höherer Zuverlässigkeit; geringeres Versandlager	50% Zeitreduzierung durch weniger Suchen & Umlagern. Lagerreduzierung aufgrund höherer Abnahmezuverlässigkeit	5% schnellerer Prozess	> 20% Leistungssteigerung durch Motivation; deutliche Planungsverbesserung durch Voraussicht der Produktionsdauer; 15% weniger Transportzeiten durch geringere ZW-Lager wegen Sequenztaktung	> 20% Leistungssteigerung durch Motivation; deutliche Planungsverbesserung durch Voraussicht der Produktionsdauer; 15% weniger Transportzeiten durch geringere ZW-Lager wegen Sequenztaktung	10 % Überkapazität nutzbar für Systemverbesserungen. Zwischenzeiten für Wartungs-Reparaturarbeiten nutzbar (TPM), dadurch 20% Reduzierung der Ausfälle

#### 6.2.4 Validierung

Das Kennzahlenkonzept basiert auf den manuellen Messungen der Stahlbauprozesse und den Beständen aus den Fallstudien, die in Kapitel 7 ausführlich erklärt sind. Aussagen, angetroffene Schwierigkeiten und Kommentare von Mitarbeitern in Stahlbauunternehmen sind in den Lösungsansatz eingebaut. Ein solches Gesamtkennzahlensystem für Einzelfertiger am Beispiel des Stahlbaus existiert bisher nicht in der Literatur. Sowohl die Vorstudien als auch zwei detaillierte Fallstudien zeigen, dass momentan keinerlei Produktionssteuerungskennzahlen vorliegen. Beide Unternehmen der Fallstudien zeigten großes Interesse an dieser Art von Prozessanalyse und Produktionssteuerungsmethodik über Kennzahlen. Die in Tabelle 6.2 und 6.3. dargestellte Kennzahlensystematik ist mit der Delphi-Methode validiert. Delphi bezeichnet eine Validierungsmethode durch Informationsrückkopplung der Ergebnisse. Diese Rückkopplung zur Ergebnisverfeinerung fand mit Unternehmensmitarbeitern innerhalb der Fallstudien jeweils in einem Ergebnisworkshops statt und einer Präsentationsdiskussion der Ergebnisse auf der Internationalen Konferenz für Lean-Construction (IGLC, Haifa, 2010). Die endgültige Validierung wird im Anschluss an die Forschungsarbeit beginnen, wenn die erste Stahlbaufirma das Kennzahlensystem umsetzt. Das Unternehmen kommt damit einem wesentlichen Lean-Gedanken nach: „Prozesse messbar zu machen, neu sehen zu lernen und kontinuierlich zu verbessern.“

#### Fazit-Box 9: Detailmessungen und entwickeltes Kennzahlenkonzept

Als Voraussetzung zum Verständnis der Produktionsprozesse sind detaillierte Messungen des gesamten Produktionsablaufs über mehrere Zyklen notwendig. Durch die Ermittlung des Durchsatzes (Stückzahl und Massen pro Zeit), mit Zusatzerklärungen zur Zeitverwendungsart (Transport, Rüsten, Warten, Suchen, Verarbeiten) und den Bestandsaufnahmen (Stückzahl und Masse), sind Unstetigkeit, Varianzen und hohe Bestandszeiten sichtbar. Zur Visualisierung und Steuerung der Produktionskette im Stahlbau wurde ein Kennzahlensystem mit den Anforderungskriterien von „Simplicity“ und „Wertschöpfung“ entwickelt. Das heißt, der potentielle Gewinn durch das Kennzahlenkonzept muss höher sein als der Kostenaufwand für Entwicklung, Erhebung und Auswertung.

Die einzige bisher bestehende Leistungskennzahl in der Einzel- und Kleinserienfertigung des Stahlbaus ist [Tonne / Stunde]. Gemessene Prozessdaten zeigen beispielhaft für Heft- und Schweißstände, dass diese Globalkennzahl den wirklichen Arbeitsaufwand aufgrund der unterschiedlichen Bauteilgrößen nicht richtig wiedergibt. Die Vorgehensweise zur Entwicklung eines realitätsnahen Leistungsindikators für Heft- und Schweißstände wird exemplarisch aufgezeigt. Für die Heftstände besteht die Kennzahl in der [Anzahl an Verbindungen / Stunde]

und für die Schweißstände in der Kennzahl der [Schweißnahtfläche / Stunde].

Das entwickelte Gesamtproduktionskennzahlensystem enthält dreierlei Prioritätsebenen an Indikatoren mit folgender Zielsetzung:

**(1. Ebene) Prozessausrichtung:** Gesamtflusssteuerung mit „pull-Prinzip“ über MOAB und LPS-Systematik.

**(2. Ebene) Wertschöpfungsoptimierung** der Arbeitsstationen.

**(3. Ebene) Qualitätsverbesserung** durch systematische Fehlerfindung.

Neu daran ist unter anderem die Organisations- und Abteilungsausrichtung auf den Gesamtprozess. Das Gesamtkennzahlensystem basiert auf Realdaten aus den Fallstudien, und wurde mittels eines Expertenworkshops (Delphi-Methode) validiert.

## 6.3 Organisationsbefragungsmodell

*„Weswegen funktioniert eine Organisation heute so, wie sie funktioniert?“*

Die Einführung von Lean-Management-Methoden zur Prozessverbesserung ist nicht losgelöst von der Unternehmensorganisation umsetzbar [Geh-‘06a][Rot-‘09]. Nachhaltige Prozessverbesserung erfordert ein Verständnis der Organisationshintergründe, der Unternehmensperspektive und Wertevorstellungen der Mitarbeiter [Geh-‘06a]. Rother (2009) definiert den „Zielzustand“ oder die „Vision“ eines Unternehmens als den entscheidenden Erfolgsfaktor zur Produktionsverbesserung. Bei Toyota ist der Zielzustand des Unternehmens als „One-Piece-Flow“ für die gesamte Produktion beschrieben [Rot-‘09]. Ob ein solcher Zielzustand im Unternehmen bereits definiert ist, und von den Mitarbeitern verstanden und verfolgt wird, ist ein wesentlicher Beweggrund für die Entwicklung und Durchführung des Befragungsmodells.

Das Analysemodell basiert inhaltlich auf Erhebungsfragen bezüglich der Kundenperspektive, dem Verständnis von Verschwendung, Verbesserungsvorschlägen und der Untersuchung von Zusammenhängen zwischen Organisationsfunktionen, Produktionsprozessen und Produktivität. Daraus ergeben sich direkte Antworten und drei abgeleitete Organisationskennzahlen, die wiederum mit quantitativen Prozessmessungen innerhalb der Fallstudien verknüpft werden. Im Folgenden sind das Vorgehenskonzept, die Zielsetzung und der Inhalt mit den wichtigsten Fragenbestandteilen vorgestellt. Anschließend werden die Nutzung und die Validierung des Konzeptes diskutiert.

### 6.3.1 Zielsetzung

Das Befragungsmodell zielt darauf ab, qualitativ die Kongruenz zwischen Unternehmenskultur, Strategie, Organisationsschnittstellen und Produktivität zu betrachten. Dabei dient der standardisierte Fragebogen als Kern, mittels dessen sowohl „weiche Lean-Faktoren“ wie die Unternehmenskultur und die Kontexthomogenität untersucht werden, als auch das Mitarbeiterwissen um Produktivitätskennzahlen, sowie deren Verständnis von Verschwendung, Wertschöpfung und Verbesserung. Folgende Punkte sind damit im Wesentlichen behandelt:

1. Weswegen besteht die vorliegende Unternehmenssituation so, wie sie heute ist, und was wissen die Mitarbeiter über Unternehmensentwicklung hinsichtlich Umsatz und Kostenentwicklung innerhalb der letzten zwei Jahre? Aus den Befragungsergebnissen abgeleitet werden zwei Organisationskennzahlen entwickelt: die organisatorische Handlungsnotwendigkeit der Veränderung, und die zu erwartende organisatorische Resistenz für Veränderung.

2. Wie sind die Selbstwahrnehmung des Unternehmens und die Kongruenz der Sichtweisen innerhalb der Führungs- und Mitarbeiterenebene? Besteht Einstimmigkeit hinsichtlich der Unternehmensstrategie und einem Zielzustand? Dafür wird aus verschiedenen geschlossenen Fragen vom Befragungsergebnis die Organisationskennzahl zwischen 0 und 1,0 abgeleitet, als die Heterogenität (0) oder Homogenität (1,0) der Mitarbeiterperspetiven.
3. Wie ist die vorliegende Kundenperspektive bei den Mitarbeitern im Unternehmen verinnerlicht? Die Aussage darüber ist eingebettet in die Frage, ob innerhalb der Befragung eindeutig sagen können welche Kriterien für den Kunden am wichtigsten sind (beispielsweise Kosten, Qualität, Service oder Lieferzeit).
4. Über welche Kennzahlen oder welche Systematik findet derzeit Leistungsmessung und Fehlerfindung in den verschiedenen Abteilungen wie beispielsweise „Arbeitsvorbereitung“, „Einkauf“, „technisches Büro“ und „Produktion“ statt? [Die Produktion beinhaltet hier Lagerhaltung, Materialzuschnitt, Heften und Schweißen, Beschichten, Disponieren, Versand und Baustellenerrichtung].
5. Worin sehen die Mitarbeiter die höchst Wahrscheinlichkeite eins vorliegenden Engpasses und wo besteht ihrer Meinung nach derzeitig die meiste Verschwendung im Produktionssystem?
6. Worin würden die Mitarbeiter unternehmensstrategisch in der Zukunft investieren, und wie ist ihr eigenes Verständnis von kontinuierlicher Verbesserung?

Die Notwendigkeit und Relevanz einer standardisierten Untersuchung des Hintergrundes, der Wert- und Kontextanalyse im Zusammenhang mit Produktionsuntersuchungen in Unternehmen ist begründet auf den Forderungen von [McA-'01][HoD-'02], wonach derzeitig in der Forschung von Lean- und Supply-Chain-Management (SCM) zu wenig auf dieses Zusammenhangsverständnis fokussiert wird. In der Literatur veröffentlichte Produktionsbetrachtungsansätze untersuchen die Ausführungspraktiken im Zusammenhang mit Leistung. Bei bisherigen Untersuchungen wird meist zu kurzfristig nach den Aktionsfragen gehandelt, d.h. den Fragen nach dem Handlungsprinzip „Was-muss-getan-werden“, aber nicht nach dem „Warum- und „Wie-Prinzip“ (Kontext und Hintergrund) [McA-'01][HoD-'02][Geh-'08].

### **6.3.2 Modellarchitektur**

Die Modellarchitektur der standardisierten Organisationsbefragung ist als Onlinemodell umgesetzt, und besteht aus einer Internetschnittstelle, anhand derer ein Mitarbeiter sich über eine Webseite ([www.stahlbauanalyse.de](http://www.stahlbauanalyse.de)) unter seinem Namen und einer Gruppenzugehörigkeit (Firma) anmeldet und 12 Untersuchungspunkte beantwortet. Diese bestehen aus offenen, geschlossenen und Auswahlfragen. Auf einer Datenbank sind die Fragen so gespeichert, dass die Einzelantwort im

Verhältnis zur Gruppenantwort direkt abrufbar ist. Aus Gründen der Anwenderfreundlichkeit ist das Befragungsmodell so konzipiert, dass die Durchführung schnell machbar ist, und die Auswertung dem Benutzer automatisiert, direkt am Ende des Befragungsmodells erscheint. Als Ergebnis erhält der Nutzer ein standardisiertes Ergebnisdokument, das seine eigenen Antworten enthält, sowie die direkten Antworten aller Gruppenteilnehmer. Eine Mindestteilnehmerzahl von 5 Personen pro Gruppe ist erforderlich, um das Vergleichsergebnis als Benchmark zu erhalten. Abbildung 6.6 stellt die Modellarchitektur des Vorgehens dar. Nach Durchführung der Evaluation, erhält der Befragte per Email einen html-Link zum Ergebnisdokument, der auch zu einem späteren Zeitpunkt aufrufbar ist und die Ergebnisse jeweils aktualisiert liefert. Davon abgeleitete Organisationskennzahlen und die Verknüpfung mit Messdaten geschehen im Anschluß innerhalb der Fallstudien.

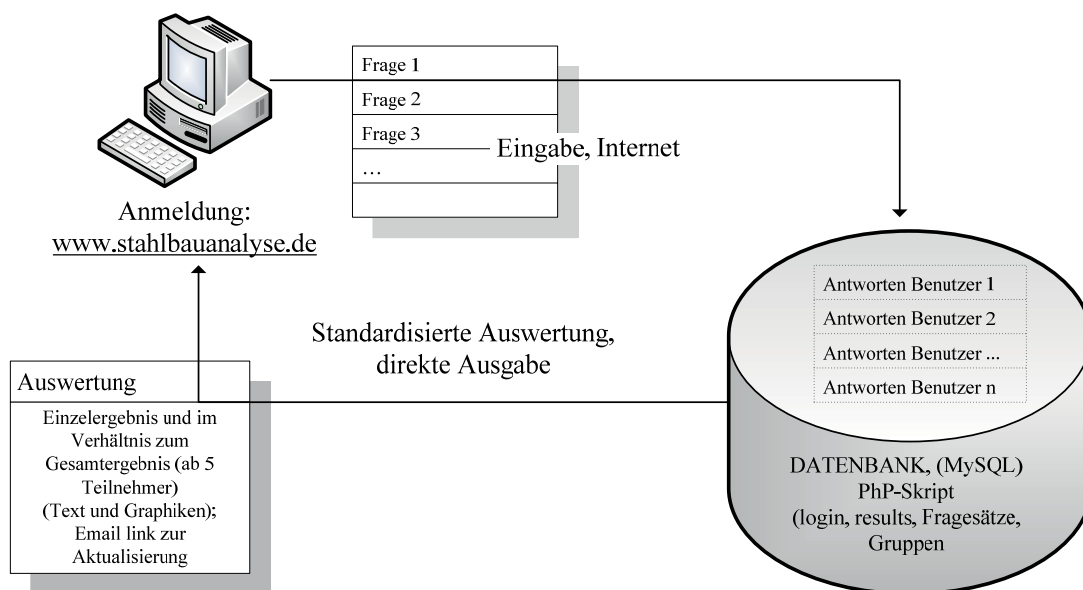


Abbildung 6.6. Modellarchitektur des Organisationsbefragungsmodells

### 6.3.3 Entwicklung

Die Vorgehensweise zur Erstellung des Organisationsbefragungsmodells ist in Anlehnung an [Tit.et.al.-'08] in Abbildung 6.7 dargestellt. Das Konzept gliedert sich in zwei Bereiche, wobei die rechte Hälfte die Erhebungsarbeit beschreibt, und die linke Hälfte die theoretische Arbeit kennzeichnet. Die Abbildung ist von oben nach unten zu lesen, beginnend mit den Analysefragen und der Zielsetzung, und endend mit der Aktion bzw. der Weiterführung von Umsetzungsvorschlägen oder einer weiteren quantitativen Analyse. Die inhaltliche Theorie basiert auf einem Literaturstudium hinsichtlich Organisationsanalyse, Strategie, Marketing, Organisationsmanagement, Produktionssteuerung und Leistungskennzahlen.

Die Entwicklung fand iterativ über die Vorstudien und die beiden Hauptfallstudien in der Praxis statt. Die eigentliche Erhebung besteht aus 12 Untersuchungspunkten. Innerhalb der Fallstudien wurde die Befragung manuell und individuell mit den jeweiligen Mitarbeitern durchgeführt. Die Fragebögen wurden ausgewertet und anschließend die Ergebnisse innerhalb eines Ergebnisworkshops präsentiert. Iterativ verfeinert, von ursprünglich 30 auf 12 Fragen gekürzt und vereinfacht, ist das Befragungsmodell mittlerweile standardisiert als Online-Fragebogen unter [www.stahlbauanalyse.de](http://www.stahlbauanalyse.de) innerhalb von 15 Minuten von Mitarbeitern selbstständig durchführbar. Die Bereitstellung des Analysemodells als Internetplattform ermöglicht eine direkte Datenbankhinterlegung der Ergebnisse, mit automatischer Auswertung der eigenen Perspektive jedes Teilnehmers, und einem Vergleich mit dem Benchmarkergebnis der restlich befragten Teilnehmer.

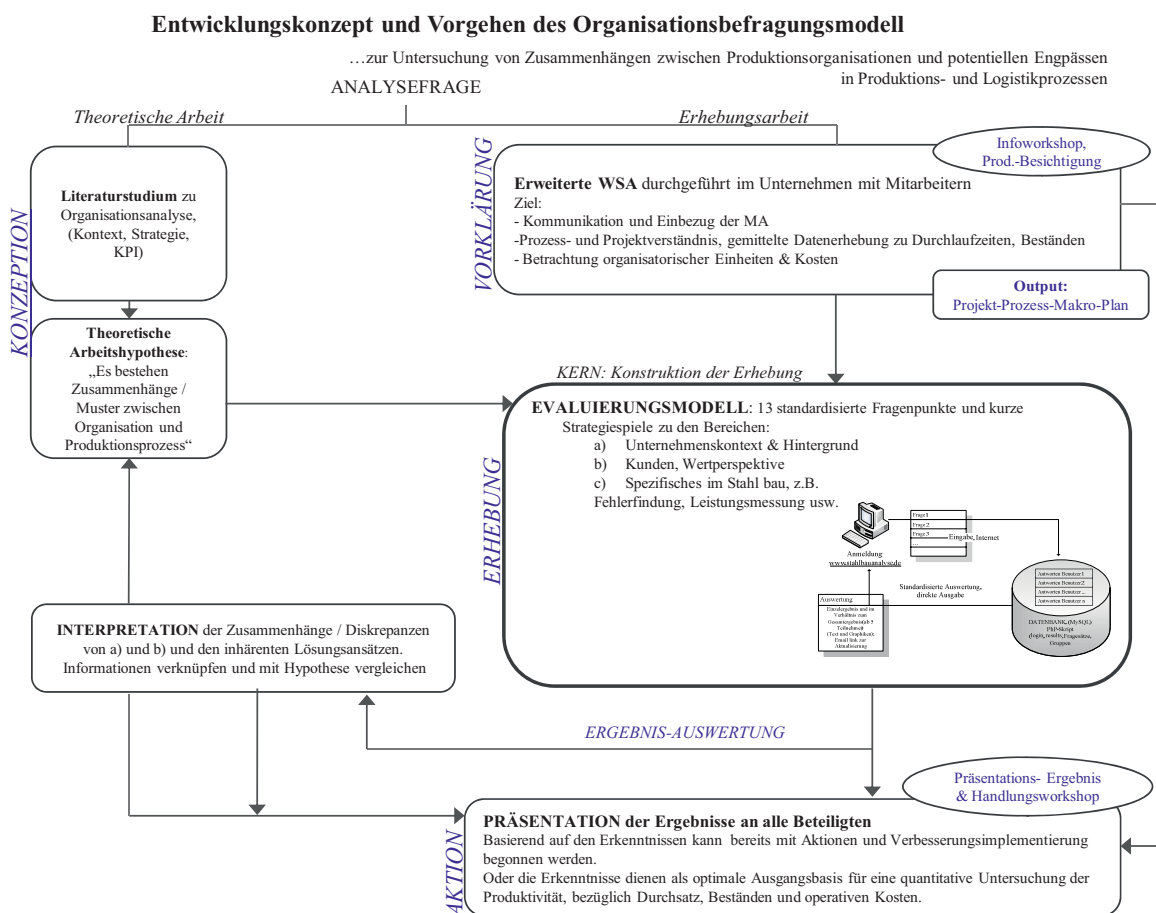


Abbildung 6.7. Vorgehenskonzept zur Entwicklung des Modells

Die daraus erhaltene Perspektive des Unternehmenskontextes und der Organisations- und Produktionszusammenhänge bildet eine Ausgangsbasis für die Verknüpfung mit erhobenen Messdaten und Kennzahlen der Produktionsprozesse. Anschließend können organisatorische und technische Verbesserungsmaßnahmen selektiert und in die Realität umgesetzt werden. Zusätzlich

kann die Evaluierung der ausgewählten Verbesserungsmaßnahmen teilweise über Simulation stattfinden.

#### **6.3.4 Wesentliche inhaltliche Bestandteile**

Das Befragungsmodell ist inhaltlich nicht stahlbauspezifisch konzipiert, sondern bewusst so gehalten, dass es auch für andere Firmenbranchen der Fertigungsindustrie anwendbar ist. Die Validierung und Konzeptentwicklung beruht auf Firmenfallstudien im Stahlbau. Inhaltlich sind die Untersuchungspunkte in vier Bereiche gegliedert:

- **Unternehmenskontext, Strategie**
- **Organisation, Struktur, Unternehmenskultur**
- **Kundenperspektive, Zulieferer, Service**
- **Spezifika im Produktionsprozess** (Leistungsermittlung, Fehlerfindung, Kontinuierliche Verbesserung)

Jede der 12 Fragen und Strategiespiele wurde mit einem gezielten Hintergrundgedanken entwickelt. Mit zunehmenden Fragen engt sich der Betrachtungsfokus von Kontext und Strategie auf die Details der Produktionsprozesse ein. Die Details und die Auswertung des gesamten Evaluationsmodells sind in Anhang 7A und 7B beigefügt, wobei die wichtigsten Bestandteile im Folgenden erklärt sind.

#### **6.3.5 Einige Befragungspunkte im Detail**

##### **Unternehmenspräsentation und Mitarbeitersichtweise (F1 bis F3):**

Ziel der ersten drei Fragen zum Thema Strategie und Unternehmenskontext ist, von einer breiten Betrachtungsperspektive auszugehen, und zunächst den Zusammenhang und die Rahmenbedingungen des Unternehmens zu verstehen. Nahezu alle Stahlbauunternehmen in Deutschland sind als GmbH-Organisationsformen beispielsweise keiner Veröffentlichungspflicht der Rentabilität unterworfen. Daher sind die Umsatz- und Kostenkennzahlen für die Öffentlichkeit nicht zugänglich, und auch meist den eigenen Mitarbeitern nicht bekannt. Mittels der beiden Zahlen „Umsatz“ und „Kostenentwicklung“ ist ein qualitativer Trend sichtbar, der Aussagen über die Unternehmensentwicklung zulässt. Der Zusammenhang der Kosten- und Umsatzkurve spiegelt neben der Rentabilität auch die Dynamik und die Handlungsnotwendigkeit zur Unternehmensverbesserung wieder. Die erste Frage ist speziell entwickelt, um zu erkennen, wie die Entwicklung des Umsatzes und der Kosten den Meinungen der Mitarbeiter nach innerhalb der letzten Jahre qualitativ verlief. Der Evaluierende wählt das aus seiner Sicht richtige Diagramm von 12 Möglichkeiten aus. Aus den gemittelten Antworten werden später zwei Organisationskennzahlen



abgeleitet: die organisatorische Handlungsnotwendigkeit der Veränderung, und die zu erwartende Resistenz gegen Veränderung. Die Frage beruht auf der Hypothese, je besser die Unternehmenssituation hinsichtlich Umsatz- und Kostenentwicklung ist, umso geringer die Notwendigkeit der Veränderung und zugleich umso schwieriger wird es die Mitarbeiter zu überzeugen, nach weiterer Verbesserung zu streben. Das heißt die zu erwartende organisatorische Resistenz gegen Veränderung ist dann hoch. Die genaue Bewertungsskala und detaillierte Intention jeder Frage sowie die Berechnungsmethodik dieser Kennzahlen befindet sich in Anhang 7D.

Die Folgefragen 2-3 zielen auf eine weitere Kontextuntersuchung bezüglich interner und externer Marktverhältnisse und der gelebten Unternehmensstrategie ab. Kennen die Mitarbeiter die Unternehmens- und Marktbedingungen überhaupt, die die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen des Unternehmens bilden?

**Strategiespiel, Zukunftsinvestition (F4; F5-8):**

Unabhängig davon dass Sie Mitarbeiter aus der Produktion, der Personalabteilung, des Einkaufs oder der Führungsebene sind, - wenn Sie über die Zukunftsinvestitionen des Unternehmens entscheiden könnten, wo würden Sie investieren? Als Aufgabe erhält der Befragte 10 Münzen (Ressourcen), um damit in die Zukunftsstrategie der nächsten 5-10 Jahre des Unternehmens zu investieren. Die verschiedenen wählbaren Bereiche sind vordefiniert. Eine Investition hat aber nur Einfluss in der Zukunft, wenn mindestens drei Ressourcen investiert sind. Abbildung 6.8 zeigt die verschiedenen möglichen Strategiebereiche.

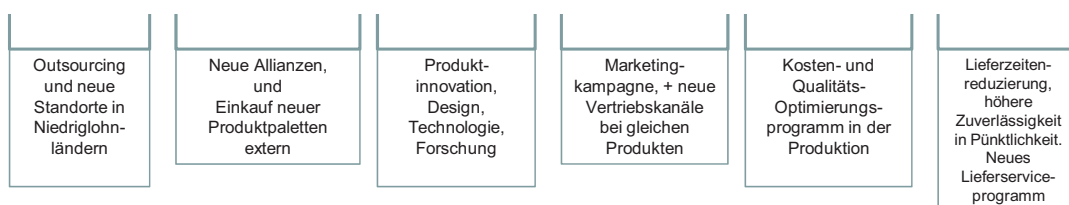


Abbildung 6.8. Zehn-Münzen-Strategiespiel

Das 10-Münzen-Spiel dient zur Eigenidentifikation der Beteiligten mit dem Thema Zukunftsperspektive des Unternehmens, bei gleichzeitiger Ressourcenknappheit. Zudem reflektieren die Antworten, ob im Unternehmen bereits eine klare Richtung der Zukunftsinvestition (Zielzustand) vorgegeben und kommuniziert ist, oder nicht.

Die weiteren Fragen 5 bis 7 untersuchen die Themen der Produkt-, Prozess- oder verkaufsorientierten **Unternehmensausrichtung**, des hierarchischen oder kooperativen Entscheidungs- und **Führungsstils**, und der von den Mitarbeitern erkannten **Unternehmenswerte**. Frage 8 betrachtet die aktuell vorliegenden **Kundenkenntnisse**. Inwiefern liegt ein Wissen über den Endkunden und seine gewünschten Produkte und Servicevorstellungen in den einzelnen Abteilungen vor?

**Leistungsmessung abteilungsmäßig gesplittet (F9):**

Wie wird derzeit in den jeweiligen Unternehmensabteilungen die Leistung gemessen? Dieser Punkt (9) beinhaltet bereits die Frage, ob Leistung mittels Kennzahlen in einer gewissen Regelmäßigkeit gemessen wird, oder ob Abteilungen ausschließlich nach qualitativen Zielvereinbarungen geführt sind. Gleichzeitig verdeutlicht eine abteilungsmäßige Erfassung der Kennwerte und Zielgrößen, ob in Abteilungen entgegengesetzte Zielvereinbarungen vorhanden sind. Indem die Mitarbeiter selbst beantworten, welche Leistungsindikatoren gemessen sind, wird ihnen idealerweise bei der Evaluierungsdurchführung bereits bewusst, dass Leistung detailliert gemessen werden soll, und dass dies in einer abgestimmten Form in allen Abteilungen stattfinden kann.

**Fehlerermittlung, Verschwendung und Kontinuierliche Verbesserung (F10-13):**

Nach demselben Vorgehen wie die Frage nach der Leistungsermittlung, wurde die Frage (10) hinsichtlich der systematischen Fehlerermittlung entwickelt. Es geht darum, wie derzeit Fehler (z.B. Fehlteile, Qualitätsmängel oder sonstige aufgetretene Fehler) gefunden werden, und ob/wie sie zu deren Ursachen rückverfolgt und gegebenenfalls statistisch erfasst werden. Diese Frage ist bewusst an jede Abteilung gestellt, um zu verstehen ob alle Abteilungen in eine systematische Fehler- und Verbesserungserfassung integriert sind.

Frage (11) fragt die Mitarbeiter, wo sie die höchste Wahrscheinlichkeit bezüglich eines vorliegenden Engpasses im Produktionsprozess vermuten. Dazu stehen fünf verschiedene Antwortmöglichkeiten zur Auswahl (an IT-Schnittstellen, Organisationsschnittstellen, Mensch-Maschine-Schnittstelle, aufgrund von Maschinendefekten oder direkt an einer Arbeitsstation (z.B. aufgrund von Platzmangel)). Anschließend ist der Befragte aufgefordert, für diese Einschätzung eine Begründung zu formulieren.

Frage (12) ist als offene Frage gestellt und erfragt von Mitarbeitern die im System vorliegende, vermutete Verschwendung, ebenfalls mit einer Begründung für die gegebene Antwort.

Das Befragungsmodell endet mit der aus Mitarbeitersicht erklärten Definition und Eigenrolle zum Thema der kontinuierlichen Verbesserung (KVP). Gesondert wird im Anhang 6C noch das „Doppelrichtungsverfahren“ erklärt, als eine vom Verfasser entwickelte Methodik zur Untersuchung der Prozessagilität und Fehlerrückverfolgung<sup>36</sup>. Das Doppelrichtungsverfahren dient als einfache praktische Methode, um Fehlerrückverfolgung in Organisationsstrukturen und Produktionsflüssen zu gestalten. Im Doppelrichtungsverfahren baut die Analyseperson imaginäre Störstellen (Fehler/Probleme) in den Produktionsprozess (WSA-Diagramm) ein, und verfolgt die notwendigen Informations- und Prozessschritte rückwärts, bis das Problem behoben ist. Die Länge und Komplexität der Rückwärtskette gibt Aufschluss über die Prozessagilität. Je zahlreicher die notwendigen Rückwärtsschritte, umso störanfälliger ist das Produktionssystem hinsichtlich Zeit, Qualität und Kosten. Ziel ist es, möglichst kurze und einfache Rückwärtswege zur Beseitigung von Fehlern innerhalb von Produktionsprozessen zu erreichen.

### 6.3.6 Interpretationsschema und Ergebnispräsentation

Für die Forschungshypothese besonders von Interesse ist die Frage, ob verallgemeinerbare Muster ersichtlich sind, zum Beispiel, ob Zusammenhänge zwischen organisatorischen Schnittstellen, der Unternehmensstrategie und Produktionsengpässen vorliegen. Einige offene Fragen wie z.B. nach dem Wertverlust nach Ansichten der Mitarbeiter, dienen als Motivator zur Einführung und Bewertung von Lean-Management in der Einzel- und Kleinserienfertigung: der quantitativen Prozessuntersuchung und anschließenden schrittweisen Verbesserungsimplementierung. Die Auswertung findet direkt auf der Gesamtsichtebene statt, d.h. die Antworten der Befragten sind zusammengefasst und den Einzelantworten des Teilnehmers gegenübergestellt. Sechs Kernpunkte werden daraus abgeleitet, die innerhalb der Fallstudien mit der Prozessbetrachtung verknüpft sind<sup>37</sup>:

1. Berechnung der **Handlungsnotwendigkeit für Veränderung** (Organisationskennzahl, zwischen 1,0 als gering und 5,0 als hoch)
2. Berechnung der **zu erwartenden organisatorischen Resistenz** (Organisationskennzahl, zwischen 1,0 als gering und 5,0 als hoch)

---

<sup>36</sup> Diese entwickelte Methode sollte ursprünglich im Befragungsmodell enthalten sein, ist über die Onlineplattform aus technischen Gründen aber nicht direkt umsetzbar, und deshalb nur im Anhang erklärt.

<sup>37</sup> Anhang 7E enthält die Auswertungen und Berechnungsmethodik des Befragungsmodells

3. Berechnung der **Heterogenität (0) und Homogenität (1,0) der Mitarbeiterperspektive**, basierend auf den Antworten der Befragten zu fünf verschiedenen Fragen.
4. Akkumulation der Antworten zu der Frage, durch welche Investition die Mitarbeiter in Zukunft investieren würden, um das Unternehmen auch langfristig erfolgreich zu machen.
5. Akkumulierte Antworten, worin die Mitarbeiter die höchste Wahrscheinlichkeit für einen vorliegenden Engpass sehen, und wo sie am meisten Verschwendung im Produktionssystem vermuten.
6. Klarstellung, welche Kennzahlen bezüglich Leistung und Fehlerrückverfolgung in den einzelnen Abteilungen bereits systematisch erfasst werden.

Anhand dieser sechs Bereiche können bereits interessante Interpretationen und Handlungsansätze der Verbesserung getroffen werden. Im Fall starker Antwortheterogenität der Perspektiven stellt sich beispielsweise die Forderung an das Management, einen klareren Zielzustand des Unternehmens an die Mitarbeiter zu kommunizieren, der die Unternehmensausrichtung und den gewünschten Unternehmenskontext als Vision widerspiegelt. Interessanter ist jedoch die Befragung in Verbindung mit quantifizierten Prozessdaten zu betrachten. Dies findet innerhalb der Fallstudien anhand der Verknüpfungsmatrix von Organisationsbefragung, Kennzahlen und Prozessmessung statt. Daraus entstehen dann mögliche Handlungsableitungen.

Als Hintergrundzielsetzung des Organisationsbefragungsmodells sei nochmals erwähnt, dass es dabei um Verbesserung geht, d.h. Schritte auf einen gesetzten Zielzustand hin zu tätigen, und Engpässe bezüglich Durchsatz, Operativen Kosten und Lagerhaltung zu finden. Die Ergebnisse sind als Ergebnisbericht direkt online abrufbar. Zusätzlich kann eine Präsentation und Ergebnisdiskussion des Evaluierungsmodells innerhalb eines Workshops als Ausgangsbasis für quantitative Leistungsmessung, Simulationsstudien oder Verbesserungsmaßnahmen dienen.

### **6.3.7 Validierung des Befragungsmodells**

Inhaltlich basieren die standardisierten Fragen der Organisationsanalyse auf Literatur zur Organisationsanalyse, Financial-Marketing und Kennzahlen zur Leistungsermittlung. Das Befragungsmodell wurde innerhalb einer iterativen Konzepterarbeitung in Rücksprache mit betroffenen Personen aus der Unternehmenspraxis des Stahlbaus entwickelt. Zur **Validierung** wurde das Befragungskonzept innerhalb der Fallstudien auf Machbarkeit und Nützlichkeit in der Industrie getestet.

Das Organisationsbefragungsmodell ist als Referenzmodell so entwickelt, dass einerseits **Übertragbarkeit** auf andere Fertigungsunternehmen gewährleistet ist, andererseits aber auch

spezifische Informationen hinsichtlich Kontext, Strategie, Leistungsmessung und Verbesserung mit dem Modell innerhalb einer kurzen Durchführungszeit standardisiert erfassbar sind. Das Modell ist kostenlos erhältlich unter [www.stahlbauanalyse.de](http://www.stahlbauanalyse.de). Die praktische Umsetzung in Verbindung mit der detaillierten quantitativen Produktionsprozessanalyse wird in den beiden Fallstudien in Kapitel 7 entfaltet.

#### **Fazit-Box 10: Das Organisationsbefragungsmodell**

Gerade für Einzel- und Kleinserienfertigungsbetriebe als klein- und mittelständige Unternehmen ist eine Organisationsanalyse wirtschaftlich nur sinnvoll durchführbar, wenn damit nur geringe Kosten entstehen, und schnelle Einsichten und praktische Ergebnisse erzielt werden können. Aus diesem Grund wurde eine Onlineform ([www.stahlbauanalyse.de](http://www.stahlbauanalyse.de)) des Befragungsmodells mit direkter Ergebnisausgabe und einem Gruppenbenchmark entwickelt, und die Befragung auf ein Minimum von 12 Untersuchungspunkten reduziert. Die Fragen wurden als offene und geschlossene Fragen entwickelt, und dienen der empirischen Untersuchung von Kontext, Strategie und der detaillierten Unternehmensrealität. Daraus abgeleitet berechnen sich drei Organisationskennzahlen (Handlungsnotwendigkeit der Veränderung, zu erwartende organisatorische Resistenz und Heterogenität/Homogenität der Mitarbeiterperspektive). Diese, zusammen mit den akkumulierten Antworten dreier weiterer Fragen (Zukunftsstrategie, Verschwendung, kontinuierliche Verbesserung) bilden die Basis für die spätere Verknüpfung von Organisationsbefragung und quantitativer Prozessanalyse des Produktionssystems. Ziel ist es, dadurch systemeinschränkende Faktoren zu identifizieren und fundierte Handlungsansätze für organisatorische und technische Verbesserungsmaßnahmen zu erlangen.

Durchführung kann entweder von einer externen Analyseperson oder in anonymisierter Form als Selbstanalyse durch Mitarbeiter stattfinden. Diese Art von Organisationsanalyse ist praxisorientiert, innerhalb sehr kurzer Zeit durchführbar und zugleich theoriefundiert. Das Modell ist nicht stahlbauspezifisch konzipiert und kann auch auf andere Unternehmen angewandt werden. Iterativ verfeinert und validiert wurde das Organisationsbefragungsmodell über Fallstudien und Praxisworkshops.

## 7 Fallstudien

### 7.1 Stahlsystembau eines Kleinserienfertigers

Die erste Fallstudie stellt das Produktionssystem eines Stahlbauunternehmens vor. Dieses ist auf den Bau von Strom- und Telegraphenmasten spezialisiert. Die Organisationskonstellation der Bauprojekte dieses Unternehmens zählt zum Typ 2 [vgl. Kapitel 4.2.3; Stahlbauer = Planer  $\neq$  GU  $\neq$  Bauherr]. Daher umfassen die gemessenen Daten ausschließlich die Fertigungsproduktion des Stahlbaus. Die Produkte (Telegraphenmaste) werden als Einzelmaste, oder in Kleinserie von bis zu 100 Stück gebaut, jeweils mit einem Test-Turm zu Beginn einer Kleinserienproduktion. Das jährliche Produktionsvolumen umfasst die Stahlverarbeitung von 12000 Tonnen, womit die Firma in ihrem Segment zu den Markführern zählt. Bei der Herstellung von Telegraphenmasten sind außer den Fußplattenkonsolen alle Verbindungen als Schraubverbindungen ausgeführt. Dadurch gibt es in der Fertigung weder Heft- noch Schweißstände. Das zu verarbeitende Material besteht zu 95% aus Winkelprofilen verschiedener Dimensionen. Die Winkelprofile werden der Maßlänge nach mit CNC-gesteuerten Maschinen geschert, gestanzt und gebohrt, anschließend manuell gebogen, oder schräg abgeschert, nachbehandelt und entgratet. Als Schutz gegen Korrosion werden alle Stahlteile inklusive Schrauben verzinkt. Das geschieht in einer nahegelegenen Verzinkungsanlage, bevor die Module schließlich mit LKWs zur Baustellenmontage transportiert werden.

#### 7.1.1 Organisationskontext und Hintergrundverständnis der Produktion

Die Anwendung des Organisationsbefragungsmodells beruht auf der Befragung von 6 Personen aus Logistik, Produktionsplanung, Konstruktionsabteilung, Werksleitung, Zuschnitt und Arbeitsvorbereitung. Die Ergebnisse der wesentlichen sechs Untersuchungspunkte des Befragungsmodells (vgl. Kapitel 6.3.1) sind folgende:

##### **1) *Entwicklungstrend des Unternehmens:***

Die heutige Unternehmenssituation beruht auf einer langsam gewachsenen Struktur dieses Familienunternehmens, mit jährlichen Wachstumsraten von ca. 5%. Laut Werksleitung hat die Produktion jetzt ihre Kapazitätsgrenzen erreicht, d.h. eine weitere Leistungssteigerung würde größere Umbaumaßnahmen und Maschineninvestitionen erfordern. Ob die Produktion weiter ausgebaut werden soll, wurde von der Geschäftsleitung noch nicht kommuniziert. Hinsichtlich der eigenen Einschätzung bezüglich Marktposition, Unternehmensausrichtung und Wachstumsperspektive, herrscht unter den Befragten ein einheitliches Meinungsbild. Aus dem positiven Entwicklungstrend von Umsatz und Kosten wird aus der Befragung als Kennzahl eine niedrige Handlungsnotwendigkeit der Veränderung abgeleitet (mit 2,17 von 5,0) und zugleich ist die zu erwartende organisatorische Resistenz gegen Veränderung hoch (mit 4,0 von 5,0).

## 2) *Kongruenz der Sichtweisen der Führungs- und Mitarbeiterebene:*

Die Antworten der Befragten deuten auf einen mäßig hierarchischen Führungsstil hin, wobei die Entscheidungen in der Regel vom Vorgesetzten getroffen werden. Die Sichtweisen bezüglich der Zukunftsstrategie fokussieren darauf, Wettbewerbsvorteile in der Zukunft mittels Investitionen in Produktionsoptimierungsprogramme zu tätigen, gefolgt von Investitionen in verbesserte Lieferzuverlässigkeit und Produktinnovation. Die aus dem Befragungsmodell abgeleitete Kennzahl der Mitarbeiterperspektive auf einer Skala von 0 (heterogen) bis 1,0 (homogen) mit 0,75 tendentiell homogen.

## 3) *Wertekodex und Kundenperspektive der Mitarbeiter:*

Als Werte definieren die befragten Mitarbeiter unterschiedliche Charakteristika des Unternehmens. Der Begriff „Qualitätsunternehmen“ wird häufig genannt, wie auch Mitarbeiterloyalität, Stärke und Innovation. Die Frage nach der Kundenperspektive und nach den Prioritäten der Kernkunden (Zeit, Kosten, Service oder Qualität), ist aus den Antworten nicht eindeutig erkennbar, wobei Zeit und Kosten wesentlicher erachtet werden als Service.

## 4) *Derzeitige Systematik der Produktionsflusssteuerung und Leistungsmessung:*

Im Produktionsprozess liegen keine direkten Kennzahlen zur Steuerung vor, wodurch die bestehenden Prozesszeiten, Warte- und Transportzeiten nicht direkt sichtbar sind. Einzige Produktionskennzahl, neben der Anzahl der Mitarbeiter, ist die Menge (Kilogramm) an produzierten Einzelteilen pro Stunde, die den automatisierten Schermaschinen entnommen wird, dargestellt in Abbildung 7.1.

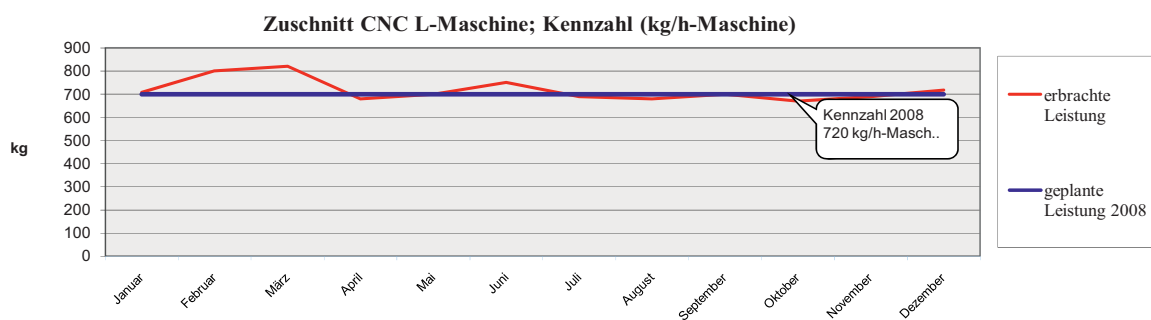


Abbildung 7.1. Vorhandene Produktionskennzahl kg/h pro CNC-Maschine

Diese Daten sind an jeder der Zuschnittsmaschinen über das PPS-System und die CAD-Pläne anhand der Maschinenbeschickung abrufbar.

### 5) *Vermutete Verschwendung und Engpässe im Produktionssystem:*

Mit 71% vermuten die meisten Befragungspersonen das Bestehen eines Engpasses an organisatorischen Schnittstellen (Abbildung 7.2). Damit sind Bereiche gemeint, in denen mehrere Abteilungen gleichzeitig am Produktionsfluss beteiligt sind, und mangelnde Kommunikation zu Reibungen in den Abläufen führt. Verschwendung wird vor allem im Zuschnitt, und den internen Transporten vermutet, begründet durch hohe Materialbestände. Der Produktionsmanager entgegnet auf die Frage, wo ein Produktionsengpass im System vermutet wird, er erachte die CNC-Zuschnittsmaschinen als den kritischen Engpass, da diese im Dreischichtbetrieb bereits voll ausgelastet sind.

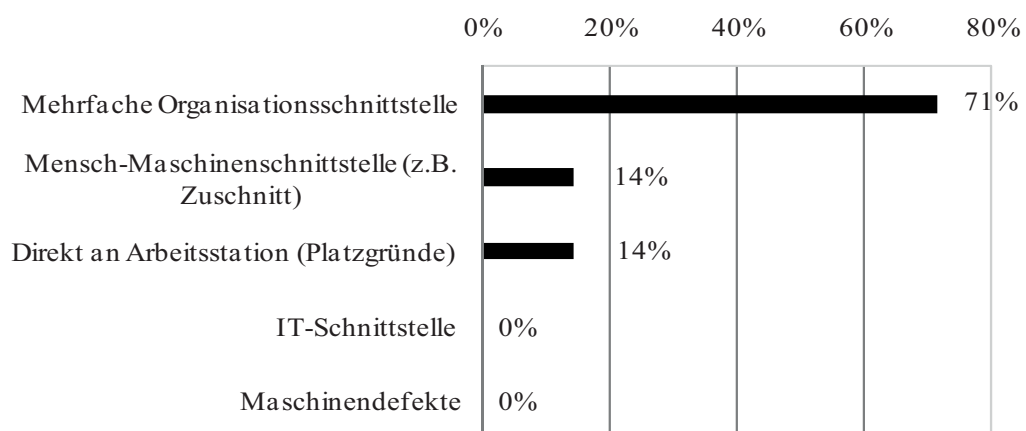


Abbildung 7.2. Mitarbeiterbefragung, vermutete Engpasswahrscheinlichkeit

### 6) *Derzeitige Fehlerfindungssystematik und Kontinuierliche Verbesserungsprinzipien:*

Es gibt keine systematische Fehlerrückverfolgung oder Kennzahl zur Auffindung und Verringerung von Fehlern in diesem Produktionssystem. Gleichzeitig bezeichnet aber die Mehrzahl der befragten Personen das Thema „Verbesserung“ als notwendigen Teil der täglichen Arbeit.

Bei der Firmenbesichtigung und den anschließenden Produktionsflussmessungen fiel dem Betrachter eine positive Stimmung innerhalb der Fertigung auf, freundliche und motivierte Mitarbeiter, und eine sehr junge Belegschaft. Die Arbeiter scheinen stolz zu sein, in dieser Firma zu arbeiten. Dies sind gute Voraussetzungen für eine offene Haltung gegenüber einer detaillierten Prozessanalyse des gesamten Produktionssystems, und der Einführung von neuen Methoden zur Prozessverbesserung. Organisatorisch ist das Familienunternehmen als Linienorganisation geführt, wobei Planungs- und Fertigungsabteilung voneinander entkoppelt sind. Die Kommunikation zwischen diesen Abteilungen findet im Wesentlichen digital über die Weiterleitung von Konstruktionsplänen statt. Lean-



Management ist innerhalb der Firma nicht direkt bekannt, wobei ein Abteilungsleiter bereits in Japan war, und davon inspiriert die 5S-Methode<sup>38</sup> innerhalb der Produktion einführte, wodurch die Sauberkeit innerhalb dieser Fertigung auffallend hoch ist.

### 7.1.2 Produktionsdetailmessungen und Engpassuntersuchung

Die Datenerhebung der Fallstudie bezieht sich auf einen Zeitraum von zwei Wochen. An jeder der Arbeitsstationen (Lagerhaltung, mehrere Scher-Stanzanlagen, Bohren, Biegen, Entgraten) wird der Produktionsprozess während zwei bis sieben Stunden als [Zeit pro bearbeitete Stückzahl] gemessen. Die Zeitmessungen sind personenanonym durchgeführt, und ausschließlich auf den Produktionsfluss bezogen. Die Messdaten sind unterteilt in Wertschöpfungszeit (Value-Adding VA) als reine Bearbeitungszeit des Materials und in Nicht-Wertschöpfungszeit (Non-Value-Adding, NVA<sup>39</sup>) bestehend aus Transportzeit, Warten, Beschickung, Säubern und Suchen.

An jeder Arbeitsstation entsteht ein Zeitdiagramm mit gemessenen Prozesszeiten (Wertschöpfung) und Verschwendung (Nicht-Wertschöpfung NVA), wie in Abbildung 7.3 beschrieben. Auf der x-Achse ist die Zeit in [Sekunden] pro fertiggestelltes Winkelprofil dargestellt, aufgeteilt in wertschöpfende Prozesszeit und Verschwendung. Die y-Achse beschreibt die einzelnen Messschritte. Bei dieser Erhebung wurden demnach 112 Einzelteile fertiggestellt. Bei den Datenaufnahmen ist zu jeder NVA-Zeit ein Kommentar als Zusatzklärung hinterlegt (Suchen, Transport, Warten...), um später nachvollziehen zu können, welche Art von NVA-Zeit maßgebend im Produktionsfluss ist.

Ein kleiner Prozesszyklus besteht zum Beispiel darin, dass ein Winkelprofil auf die Scher-Stanzanlage gelegt wird (NVA-Zeit), das Profil an der Schermaschine bearbeitet wird (Prozesszeit, VA), anschließend das Material zum Zwischenlager weitertransportiert und die Anlage neu beladen wird (NVA). Ein großer Zyklus entsteht, wenn kein Vormaterial mehr an der Arbeitsstation vorhanden ist, und der Mitarbeiter neues Material aus dem Warenlager antransportieren muss, oder wenn das gesamte fertige Material hinter der Arbeitsstation (1) gebündelt zur nächsten Arbeitsstation (2) weitertransportiert werden muss, und währenddessen an der Arbeitsstation (1) nichts produziert wird. Sowohl kleine Zyklen (Bsp. Messung 5-10), als auch große Zyklen (z.B. 10 bis 109) sind in Diagramm 7.2 sichtbar.

---

<sup>38</sup> 5S Methode: Fünf Ansätze, um durch Ordnung und Sauberkeit, Fehler zu vermeiden und Effizienz zu steigern.

<sup>39</sup> Innerhalb dieser Arbeit wird der Begriff Setup-Zeit nicht nur im Sinne der Rüstzeiten verwendet, sondern beinhaltet in einem erweiterten Sinn alle nicht-wertschöpfenden Zeiten (Transport, Warten, Beschickung, Säubern und Suchen). Die eigentliche Rüstzeit konnte innerhalb der Fallstudien aufgrund des beschränkten Meßzeitraums nicht berücksichtigt werden.

## Zeitanalyse: Scher- und Stanzanlage M2

[gemessene Einheiten: Sekunden pro fertiges Winkelprofil]

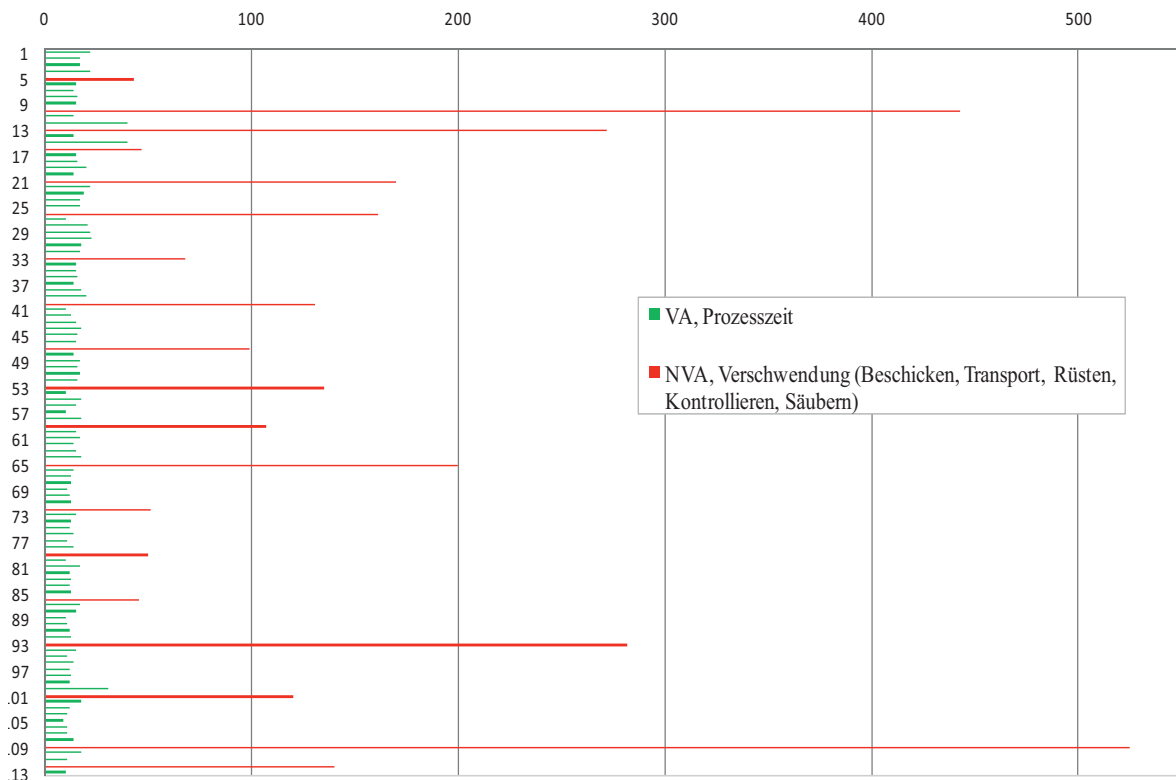


Abbildung 7.3. Beispiel einer Prozessdetailmessung an einer Arbeitsstation

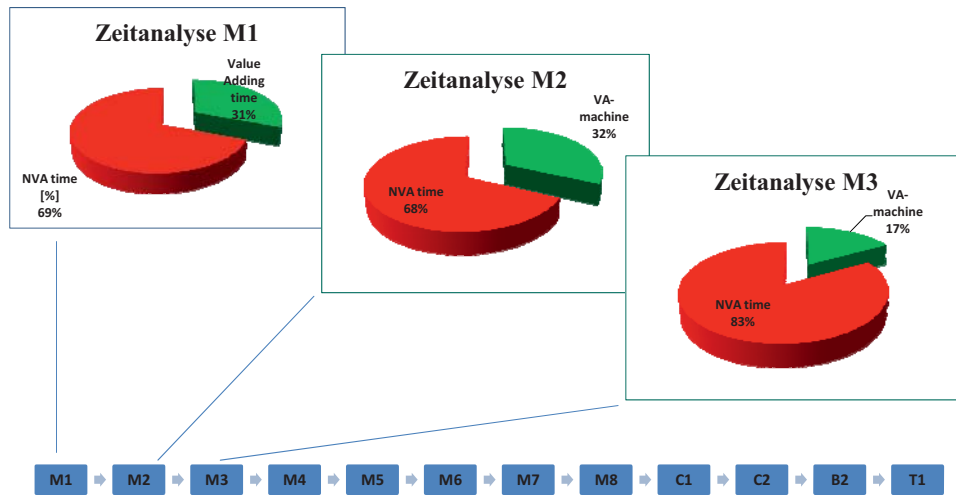
Eine wesentliche Beobachtung dieser Messungen sind die hohen **Schwankungen** der nicht wertschöpfenden NVA-Zeiten zwischen den kleinen und großen Zyklen. Abbildung 7.3 verdeutlicht, dass an dieser Maschine momentan im Prozess die minimal erreichbare Setup-Zeit bei 45-50 Sekunden liegt, während die maximal beobachtete Setup-Zeit um das Zehnfache höher ist. **Dieses Muster der hohen Setup-Schwankungen geht aus bisherigen Produktionsflussbetrachtungen mittels einer Wertstromanalyse nicht hervor**, und ist in allen Arbeitsstationen in diesem Produktionssystem vorhanden. Häufigste Ursache dafür sind lange Zeiten für An- und Abtransport größerer Materiallosgrößen. Die Diagramme der Messungen der weiteren Arbeitsstationen sind in Anhang 7B beigefügt.

Der Betrachter ist an dieser Stelle der Produktionsflussanalyse versucht, sofort nach Verbesserungsansätzen zu suchen. Nach Lean-Prinzipien ist jedoch zuerst der Gesamtprozess zu betrachten, bevor einzelne Arbeitsstationen zu verbessern sind [Ohn-‘93][San-‘99][Wom-‘03][Geh-‘06a][Rot-‘09].

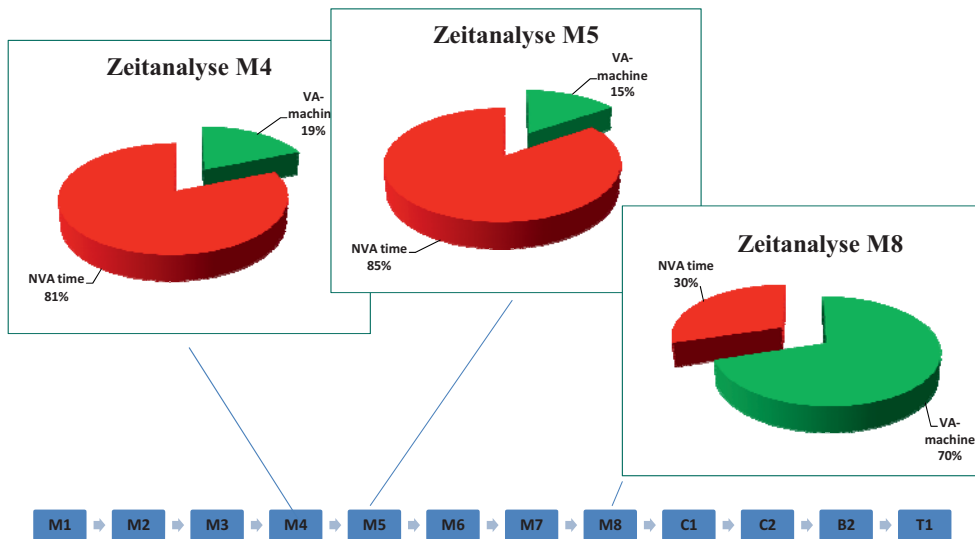
Die Ergebnisdaten der Aufsummierung von wertschöpfenden- und nicht wertschöpfenden Zeiten pro Arbeitsstation sind in Abbildung 7.4 aufgeführt. Bei den Arbeitsstationen M1 bis M5 und M8

handelt es sich um Zuschnittsmaschinen von Winkelprofilen, M6 und M7 sind Scherstationen von kleinen Flacheisen, und die Stationen C1, C2, sowie B2 und T1 sind manuelle Arbeitsstationen (Schrägschnitt, Biegen und Entgraten). Die Reihenfolge der genannten Arbeitsstationen folgt dem Produktionsfluss.

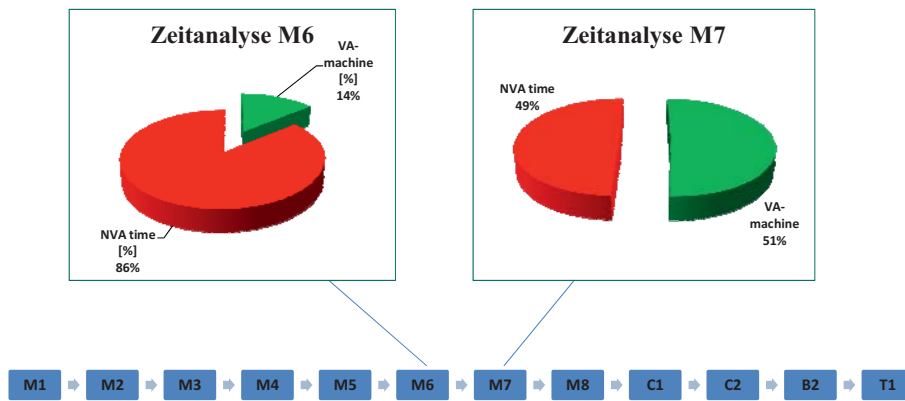
Prozesszeitanalyse: Winkelprofilzuschnitt (CNC-Maschinen: M1-M3)



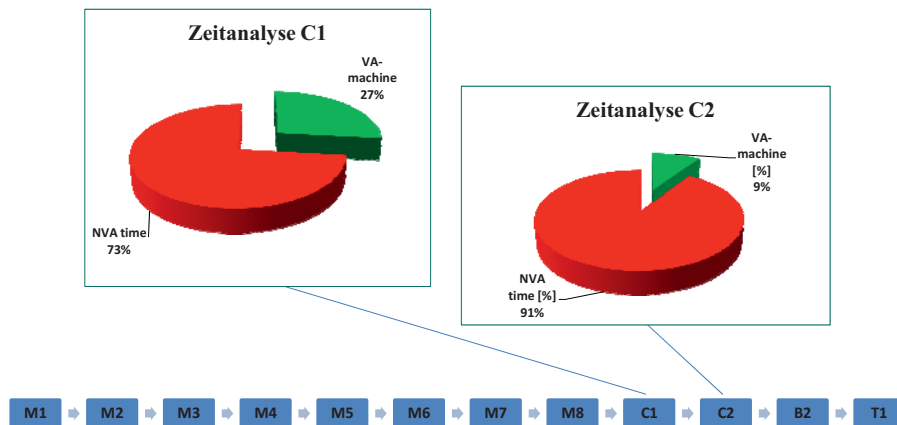
Prozesszeitanalyse: Winkelzuschnitt (CNC-Maschinen: M4-M5; M8 Großträger)



Prozesszeitanalyse: Flacheisenzuschnitt (Maschinen: M6-M7)



Prozesszeitanalyse: Manueller Schrägschnitt (Station C1 und C2)



Prozesszeitanalyse: Manuelles Biegen (B2) und Entgraden (T1)

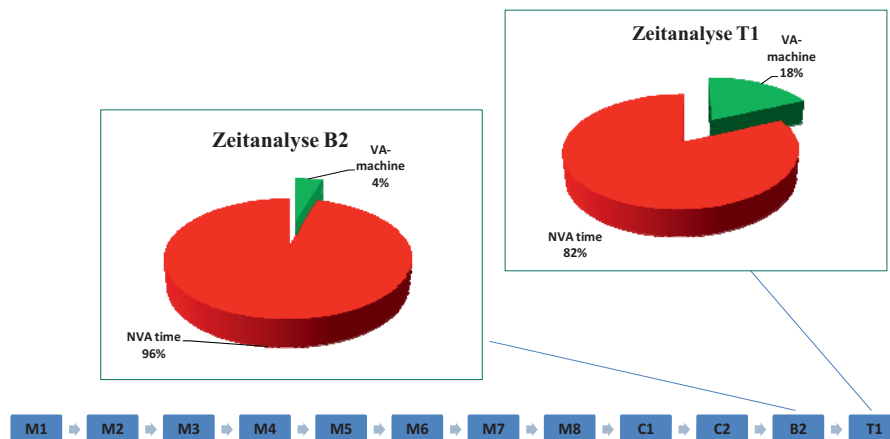


Abbildung 7.4. Prozesszeitanalyse (VA, NVA) der Arbeitstationen 1-12

An fast allen Arbeitsstationen findet zu über 50% der Zeit keine Wertschöpfung statt, das heißt **der Produktionsfluss steht über die Hälfte der Zeit still, obwohl alle Arbeiter beschäftigt sind**. Die Summe aller gemessenen Zeiten ergibt eine über alle Stationen gemittelte Verteilung von 27% Wertschöpfungszeit, zu 73% nicht wertschöpfender Zeit. Diese Erkenntnis geht aus den in der Firma bisher erhobenen Kennzahlen nicht hervor. Eine Summation der Wertschöpfungs- und Bereitstellungszeiten macht nur in Bezug auf eine Produktionsprozessbetrachtung<sup>40</sup> Sinn (nicht Mitarbeiter). Des Weiteren sollten diese Zeitwerte auf detaillierten und erklärten Prozessmessungen basieren, um damit auch mögliche Ursachen für die hohen NVA-Zeiten herleiten zu können. **Die Analyse der Engpässe kann jedoch erst unter Zunahme der Zwischenbestände erkannt werden, durch die Ermittlung der Wartezeiten vor den einzelnen Stationen.**

In der Logistik wird ein Engpass auch als Flaschenhals bezeichnet, womit eine kritische Stelle in der Supply-Chain gemeint ist, die die gesamte Transportkette verlangsamt. Die Forschungsarbeit versteht unter einem Engpass den limitierenden Faktor eines Produktionssystems für einen möglichen, höheren Produktionsdurchsatz. Ein solcher Engpass kann durch mangelnde Koordination und Kommunikation zwischen Abteilungen begründet sein, durch falsche Produktionsplanung, durch technische Einschränkungen oder andere Gründe. In dieser Produktionsflussanalyse wird der Ansatz verfolgt, dass sich **der Engpass im Produktionsfluss an derjenigen Arbeitsstation befindet, wo die höchste Bestandsvorlaufzeit besteht** (ausgenommen Wareneingangslager, Warenausgangslager und Beschichtungspuffer). Dazu ist folgende Berechnungsformel der Vorbestandswartezeit definiert:

(Formel 7.1):

$$\text{direkte Vorbestandswartezeit} = \frac{\text{WIP (Vorbestand [t])}}{\text{gemittelter Durchsatz } \left[\frac{t}{h}\right]} [h]$$

(Formel 7.2):

$$\text{indirekte Vorbestandswartezeit} = \frac{\text{WIP [t]}}{Q \left[\frac{t}{h}\right]} * \text{Schwankungsfaktor}$$

(Formel 7.3):

$$\begin{aligned} \text{Schwankungsfaktor} &= 1 + (\text{Standardabweichung der gem. Zykluszeiten [h]}) \\ &= 1 + \sqrt{\frac{d \sum (x-x^-)^2}{n}} [s] * \frac{1}{3600} \left[\frac{h}{s}\right] \end{aligned}$$

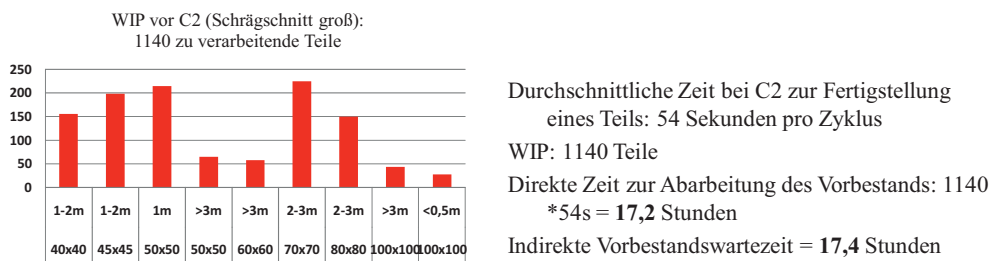
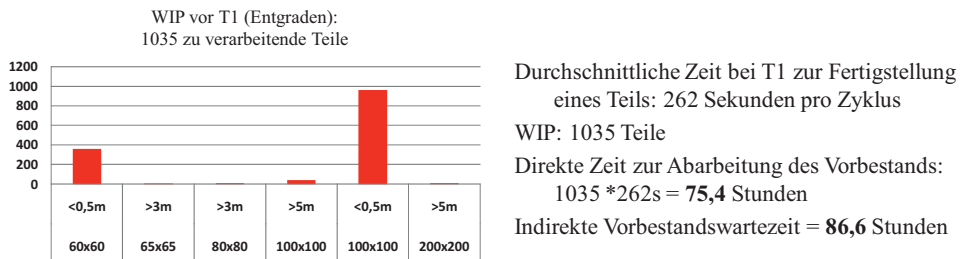
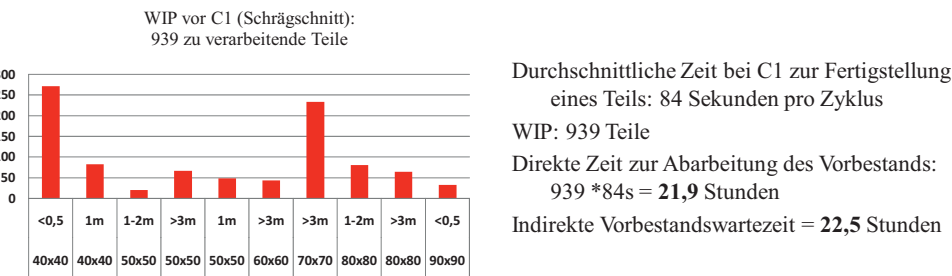
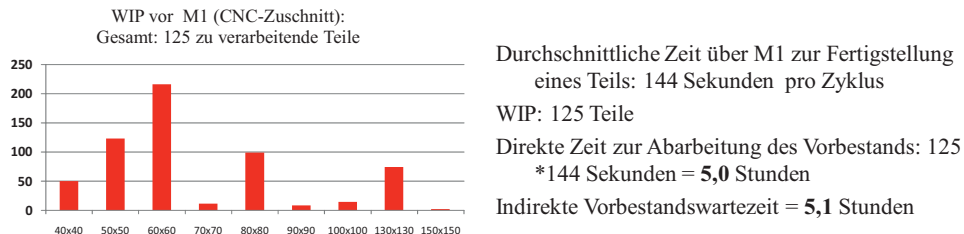
Abbildung 7.5 zeigt die Vorbestände (WIP), unterteilt in verschiedene Produkte, im Zusammenhang mit der durchschnittlichen Bearbeitungszykluszeit (= gemittelte Prozesszeit VA plus

---

<sup>40</sup> Wichtige Unterscheidung: Die Produktionsprozessbetrachtung ist nicht dasselbe, wie die Betrachtung der Wertschöpfungszeit der Mitarbeiter. Es geht in der Produktionsflussanalyse darum, den Prozess, (nicht die Mitarbeiter) zu messen.

Nichtwertschöpfungszeit (NVA) pro fertiggestelltem Einzelteil). Hiernach betragen die Bestandsvorlaufzeiten vor der Zuschnittmaschine M1 im Durchschnitt 5,0 Stunden, während die Bestandsvorlaufzeit an den Schrägschnittstationen 21,9 Stunden, und an der Entgratungsstation sogar 75,4 Stunden beträgt.

### Engpassermittlung



**Abbildung 7.5. Engpassermittlung über Bestandsvorlaufzeit**

Nach der Engpassdefinition über die berechnete Vorbestandswartezeit (Formel 7.1 und 7.2) und den Ergebnissen aus Abbildung 7.5 befindet sich der wirkliche Engpass folglich nicht im Zuschnitt

sondern nachgelagert am manuellen Entgratungsstand (T1). Hier lagert das Material bis zur Weiterverarbeitung zwischen zwei und sieben Werktagen.

Die Zusammenführung der Ergebnisse aus Organisationsbefragungsmodell und Prozessdetailmessungen findet in der Verknüpfungsmatrix in Abbildung 7.6 statt (Großdarstellung in Anhang 7E).

Verknüpfungsmatrix, CASE I: Organisation, Kennzahlen, Prozessmessung		Lagerhaltung	Zuschnitt M1	Zuschnitt M2	man. Schrägschnitt C1	man. Schrägschnitt C2	Biegen T1
Organisations- einheiten, zentral:  Einkauf	Produktions-steuerung	X	X	X	X	X	X
	Technisches Büro		X	X	X	X	X
		X					
Organisations- einheiten des Produktionsprozess, Messdaten:  [X] ist die organisatorische Abhängigkeit, z.B. beeinflußt Lagerhaltung direkt den Zuschnitt, d.h. der Zuschnitt ist von der Lagerhaltung abhängig.	Lagerhaltung	Bestand[t] ~ 1500 Q [St/h] = 25 Schwankungsfaktor = 1,03 Vorbestandswartzeit [h] = 5,1 VA = 31% NVA = 69%	X	X		X	X
	Zuschnitt M1						
	Zuschnitt M2						
	Schrägschn. C1			Q [St/h] = 14 Schwankungsfaktor = 1,04 Vorbestandswartzeit[h] = 8,8 VA = 32% NVA = 68%	X		
	Schrägschn. C2				Q [St/h] = 43 Schwankungsfaktor = 1,02 Vorbestandswartzeit[h] = 22,5 VA = 27% NVA = 73%	X	
	Biegen T1					Q [St/h] = 14 Schwankungsfaktor = 1,15 VA = 9% NVA = 91%	X Q [St/h] = 66 Schwankungsfaktor = 1,01 Vorbestandswartzeit [h]= 17,4 VA = 18% NVA = 82%
<b>Organisationsschnittstellen Einflußsumme:</b>		2	3	3	3	4	4
<i>Hinweis aus Organisations- befragung</i>	vermuteter Engpass: bestehende Kennzahlen: Orga-Kennzahl A: Orga-Kennzahl B: Orga-Kennzahl C: Orga-Kennzahl D:	71% vermuten Engpässe an mehrfachen organisatorischen Schnittstellen, 14% vermuten Sie an Orga-Schnittstelle mit Maschineneinsatz. 14% direkt an Maschinen Bestehende Kennzahlen: keine Verbesserungskennzahlen, keine Fehlerkennzahlen, keine Leistungskennzahlen vorhanden - außer maschinell bei M1 und M2 t/h Organisatorische Handlungsnotwendigkeit der Veränderung: 2,17 (von max 5,0), zu erwartende organisatorische Resistenz 4,0 (von max. 5,0) Heterogenität (0) / Homogenität (1,0) der Mitarbeiterperspektive: 0,75 Zukunftsinvestition: Mitarbeiter würden als strategische Ausrichtung des Unternehmens vor allem in Kosten- und Qualitätsoptimierungsprogramme investieren Hinweise von MA auf bestehende Verschwendung (muda) im System: Verschwendung im Zuschnitt, zu viele interne Transporte, internes Transportsystem suboptimal, schlechte Abstimmung zwischen Planung und Fertigung, viel Suchzeit im Lager					
<b>Zusammenfassung, Handlungsvorschlag:</b>	Ein Hauptaugenmerk sollte auf die Arbeitsstationen C1 und C2 gelegt werden. Zum ist hier eine hohe organisatorische Schnittstelle aufgewiesen und zugleich ist die Vorbestandswartzeit im Vergleich zu allen übrigen Stationen sehr hoch. Dies deutet auf einen Engpass des Produktionssystems hin. Aus der Mitarbeiterbefragung kommen weitere Hinweise auf bestehende Verschwendung durch hohe Suchzeiten. Diese sind innerhalb der gemessenen niedrigen Anteile der Wertschöpfungszeiten sichtbar. Die Mitarbeiterperspektive der Befragten ist mit 0,75 von 1,0 homogen zu betrachten und die Mitarbeiter würden strategisch in eine verbesserte Produktionssystematik investieren. Dies sollte auch KPIs beinhalten, um Wertschöpfung und Prozessschwankungen besser zu visualisieren.						

Abbildung 7.6 Verknüpfungsmatrix, Fallstudie 1

Die Ergebnisverknüpfungsmatrix enthält die betrachteten Arbeitsstationen des Produktionsprozess in Matrixform, wobei zuerst die Höhe der organisatorischen Schnittstellen betrachtet wird. Als organisatorische Schnittstelle zählt, wenn die Station auf der y-Achse eine Abhängigkeit (oder einen hohen Einfluss) auf die Station in der x-Achse hat. Demnach ist innerhalb der ersten Fallstudie die höchste organisatorische Schnittstellendichte an der Arbeitsstation T1 und C2 vorhanden.

Innerhalb der Prozessboxen sind die aus den Produktionsmessungen erhobenen wichtigsten Kennzahlen enthalten, wie Durchfluß, Wertschöpfungsanteil, Schwankungsfaktor und Vorbestand. Die auf das gesamte Produktionssystem gültigen Erkenntnisse aus der Organisationsbefragung und

deren abgeleitete Kennzahlen sind anschließend in die Matrix integriert. Mit dieser Analyseform und Ergebnisdarstellung sind qualitative Organisationserkenntnisse und quantitative Prozesskenntnisse zugleich ersichtlich und Handlungsanweisungen der Verbesserung ableitbar. Es wird sofort deutlich, an welchen Stationen die höchsten Vorbestandswartezeiten sind und welche Muster innerhalb dieses Produktionssystems bestehen.

### 7.1.3 Muster und Erkenntnisse

(1) **Die hohen Schwankungen der nicht-wertschöpfenden Zeiten:** Der Produktionsfluss wird an allen Arbeitsstationen in dieser Stahlbaufertigung durch Bereitstellungszeiten (NVA) unterbrochen, die in ihrer Zeitdauer stark variieren. Die eigentliche Herausforderung für die Produktionssteuerung und -Verbesserung liegt in diesen hohen Schwankungen, die erst über Detailmessungen mehrerer Zyklen (große und kleine) sichtbar wird.

Die Ergebnisse des Organisationsbefragungsmodells und eines Ergebnispräsentations-Workshop verdeutlichen, dass den Mitarbeitern die hohen Schwankungen in den Produktionszykluszeiten nicht bewusst sind. In den meisten Fällen liegt der Grund für die langen NVA-Zeiten im Materialtransport.

(2) **Der Produktionsfluss steht über 70% der Zeit still, beziehungsweise ist zu 70% „unproduktiv“.** Dieses Ergebnis basiert auf den aufsummierten, gemessenen Prozess- und Bereitstellungszeiten über alle Arbeitsstationen dieser Stahlbaufertigung hinweg. Ohne Detailmessungen sind die Standzeiten des Produktionsflusses nicht sichtbar. Es ist möglich, dass alle Mitarbeiter beschäftigt arbeiten, aber der Produktionsfluss stillsteht.

Die vorhandenen Systemkennzahlen sind unzureichend, da sie weder detaillierte Prozesszeiten, noch Zyklusschwankungen, noch Fehlerrückverfolgung aufzeigen. Dadurch sind keine systematische Produktionssteuerung und keine Qualitätsverbesserung möglich.

(3) **Der Engpass des Produktionsflusses befindet sich an einer anderen Stelle als** von der Produktionsleitung **vermutet.** Der Produktionsengpass befindet sich nicht an den Zuschnittsmaschinen, sondern an den nachgestellten manuellen Arbeitsstationen (Entgraten und Schrägschnitt). Durch die Erhebung der Zykluszeiten (Prozess & Bereitstellung) und dem Einbezug der vorgelagerten Bestände ist der jeweilige Durchfluss und die direkte gemittelte Bestandsvorlaufzeit<sup>41</sup> erchenbar. Je höher diese Zeit ausfällt, umso wahrscheinlicher besteht ein Engpass. Dieses Phänomen ähnelt einem Aufstau an einem flussbaulichen Kontrollbauwerk. Aus dieser Produktionsflussanalyse wird deutlich, dass die den CNC-Maschinen nachgelagerten Bestände

---

<sup>41</sup> Die Bestandsvorlaufzeit ist die durchschnittliche Wartezeit der Bestände vor der jeweiligen Arbeitsstation, d.h. diejenige Zeitdauer, die durchschnittlich ein Einzelteil im Vorbestand wartet, bis es verarbeitet wird. Wird die Schwankung der Zykluszeiten über den Streuungsfaktor (= Standardabweichung der Zykluszeiten / Anzahl der Zykluszeiten) einbezogen, so erhöht sich hier die berechnete Vorbestandswartezeit um den Faktor 4-10, siehe Anhang 7C.



teilweise 20-fach höher sind als die vorgelagerten. Die ins Produktionssystem gedrückte Materialbeschickung an den CNC-gesteuerten Zuschnittsständen verursacht die nachfolgenden Engpässe im Produktionsfluss.

Woran liegt es, dass erfahrene Mitarbeiter aus der Produktionsleitung Engpässe falsch einschätzen? Und worin liegen die Gründe und Ursachen für die „gedrückte“ Produktionssteuerung (push)?

a) **Mangelnde Transparenz:**

Ohne quantitative Detailmessungen sind die hohen Schwankungen in den nicht wertschöpfenden Zeiten nicht sichtbar. Ohne Variabilitäts- und Durchflussmessungen besteht die Tendenz, Engpässe dort zu vermuten, wo am meisten Material vorhanden ist, oder auf jene Maschine zu achten, die bereits an ihren Bruttokapazitätsgrenzen ist. In Wirklichkeit ist *nicht die Größe des Vorbestandes (gemessen in Stück oder Masse) der Indikator für einen Produktionsengpass, sondern die Vorbestandswartezeit*, als Zusammenspiel von Durchfluss, Schwankung und abzuarbeitendem Materialbestand. Die Vorbestandswartezeiten sind ohne detaillierte Prozessmessungen an den manuellen Arbeitsstationen aber nicht ersichtlich.

b) **Falsche Blickrichtung auf Maschinen und einseitige Kennzahlen:**

Manche Mitarbeiter und Führungskräfte tendieren dazu, die automatisierten und kapitalintensiven Arbeitsstationen mehr zu beachten, als die manuellen Arbeitsstationen. Hierbei besteht die Konfliktsituation zwischen Amortisation der Kapitalinvestitionen einerseits, und der Produktivität des Gesamtsystems andererseits. Andererseits wurde von den Befragungspersonen eindeutig vermutet, dass Engpässe mit organisatorischen Schnittstellen zusammenhängen.

Des Weiteren ist in der Fertigung die einzig gemessene Produktionssteuerungskennzahl die [Anzahl der bearbeiteten Tonnen pro Zeiteinheit] an den CNC-Zuschnittsstationen. Dadurch findet die Produktionsbeschickung entkoppelt von der darauffolgenden Abnahmekapazität der manuellen Folgestationen statt. Die Fertigungssteuerung hat im nachfolgenden Produktionsprozess keine Einsicht, welche Einzelteile sich an welcher Stelle im Produktionssystem befinden, da die Materialien erst wieder beim Warenausgang der Fertigung manuell erfasst werden. Dadurch findet die Produktionssteuerung in diesem System nur statt, indem die CNC-Maschinen mit der vom Management vorgegebenen Zielkapazität beschickt werden, und anschließend die Materialien manuell durch das Produktionssystem in kürzest möglicher Zeit „geschoben“ werden. Eine echte Produktionssteuerung ist in einem solchen Produktionssystem nicht möglich.

Das heißt, *diese Stahlbaufertigung befindet sich in einer „push“-Produktion und verursacht den Zuschnittsmaschinen nachgestellte Produktionsengpässe, die den Mitarbeitern aufgrund fehlender Transparenz der Prozesszeiten, hoher Schwankungen der Bereitstellungszeiten, sowie*

*ungenügender Kennzahlen nicht direkt bewusst sind. Oft scheint der Zusammenhang zwischen Produktionsprozess, Engpass und organisatorischen Schnittstellen unklar.*

Diese Phänomene wurden bereits in den Vorstudien bei anderen Stahlbauunternehmen vermutet, konnten aber erst innerhalb dieser Fallstudie anhand der Organisationsbefragung und der Prozessdetailmessungen quantifiziert und dargestellt werden.

Eine Handlungsmöglichkeit zur Systemverbesserung wäre, sich auf die kritischen organisatorischen Schnittstellen und deren Kommunikationsfluß und Zuverlässigkeit zuerst zu konzentrieren, indem Last-Planner-Treffen eingeführt werden. Es könnte auch quantitativ in den Prozessfluß eingegriffen werden, indem die Kapazität an den Engpassstationen erhöht wird und gleichzeitig die Vorbestände auf Maximalgrößen von beispielsweise einer Schicht beschränkt werden (ConWIP-Prinzip). Um die großen Schwankungen der Bereitstellungszeiten zu reduzieren, sind SMED-Workshops hilfreich, wobei gemeinsam mit den Mitarbeitern vor Ort praktisch überlegt wird, wie die nicht wertschöpfenden Bereitstellungszeiten (inklusive Be- und Entladung) signifikant reduziert werden können, um einen stetigeren Produktionsfluß zu erreichen.

Eine längerfristige Verbesserung der gesamten Fertigungssteuerung kann durch ein umfassendes Kennzahlensystem entstehen. Dies hat zum Ziel, den Gesamtprozess zu visualisieren und über Anreize so zu steuern, dass ein bestmöglicher Produktionsfluß entsteht. Ohne eine systematische, kennzahlenbasierte Visualisierung des Produktionsflusses und der Zwischenbestände sind Veränderungen im Produktionssystem nicht ersichtlich, zum Beispiel ob und an welchen Stellen Verbesserung oder Verschlechterung des Produktionsflusses entsteht. Das in Kapitel 6 vorgestellte Drei-Ebenen-Kennzahlenkonzept, umsetzbar mittels eines Shop-Floor-Management-Ansatzes, stellt eine mögliche Lösung dar. Die Umsetzung des entwickelten Kennzahlenmodells konnte aus Zeitgründen innerhalb dieser Forschungsstudie noch nicht durchgeführt werden.

Nach der ersten Fallstudie bleibt die Frage bestehen, wie der Produktionsfluß von der Fertigung bis zur Baustellenerrichtung besser visualisiert werden kann, um auch hier den Prozess detailliert zu erfassen und eine Grundlage zur verbesserten Steuerung zu schaffen.

## 7.2 Stahlsystembau eines Einzelfertigers

Die zweite Fallstudie behandelt die Produktionsflussanalyse eines Unternehmens, das sich vor allem auf Einzelfertigungsprojekte im leichten Stahlbau spezialisiert hat. Das Organisationsbefragungsmodell wurde durchgeführt, und detaillierte Prozessdaten wurden vom Wareneingang der Stahlbaufertigung bis zur Montage auf zweierlei Baustellen gemessen. Die Produkte dieses Unternehmens sind vorwiegend Hallenkonstruktionen, Bürogebäude und Parkhäuser. Das Fertigungsvolumen innerhalb des betrachteten Werkes betrug 14000 Tonnen Stahl im Jahr 2008. Im Gegensatz zur vorherigen Fallstudie (Stahltürme mit Schraubverbindungen) liegen hier die Kernbereiche der Produktion in den manuellen Heft- und Schweißständen.

Die in Kapitel 8 durchgeführten Simulationsuntersuchungen basieren auf Messdaten dieser Fallstudie.

### 7.2.1 Organisationskontext und Hintergrundverständnis der Produktion

Das Unternehmen ist als Familienunternehmen geführt und zählt zum Organisationkonstellationstyp 3 und 4 (vgl. Kapitel 4.2.3, Typ 3: Stahlbauer = Planer = GU  $\neq$  Bauherr; Typ 4: Stahlbauer = Planer = GU = Bauherr). Laut Geschäftsführung ist der wesentliche Wertschöpfungsanteil nicht der Baustelle (GU, Bauwerkserrichtung) zuzuordnen, sondern der Stahlbaufertigung und der eigenen Konstruktionsplanung. Die Unternehmensorganisation wird als Firmenholding geführt, wobei Stahlbauwerk und Baustellenmontage zweierlei Profitcentern zugehören.

Die Anwendung des Organisationsbefragungsmodells beruht auf 9 befragten Personen (Abteilungsleiter oder Meister) aus den Abteilungen: Einkauf, Logistik, Produktionssteuerung, Werksleitung, Qualitätssicherung, Arbeitsvorbereitung, Fertigung und Baustellenmontage. Die Gesamtergebnisse des Befragungsmodells befinden sich in Anhang 7C. Zusammengefasst sind die wesentlichen Charakteristika dieser Organisation:

#### **(1) *Entwicklungstrend des Unternehmens:***

Das Familienunternehmen entwickelte sich aus einem Schlossereibetrieb und erfuhr in den letzten Jahrzehnten stetiges Wachstum, begünstigt durch häufige Re-Investition in Maschinen und durch die Verknüpfung von Planung, Fertigung und Baustellenerrichtung innerhalb einer Firma. Der Führungsstil im Unternehmen wird von den befragten Mitarbeitern als ausgeglichen bewertet. Die aus der Befragung abgeleitete Kennzahl der Handlungsnotwendigkeit beträgt 2,11 von 5,0 und liegt damit noch unterhalb der Werte von Fallstudie 1. Die zu erwartende organisatorische Resistenz gegen Veränderung ist mit 4,22 (von 5,0) sehr hoch, da ein hohes Selbstwertbewußtsein der Mitarbeiter hinsichtlich der guten Unternehmenssituation vorliegt.

**(2) Kongruenz der Sichtweisen der Führungs- und Mitarbeiterebene:**

Hinsichtlich der Firmenausrichtung und Strategie liegen auffallend homogene Aussagen vor. Die Mitarbeiter (Meister, Vorarbeiter, Abteilungsleiter) haben eine klare Vorstellung vom Selbstbild der Firma, vom Kontext, den Unternehmenswerten und der Wachstumsperspektive. Das Unternehmen ist nicht auf Kostenführerschaft oder Produktionsorientierung ausgerichtet, sondern darauf, das beste Produkt zu schaffen. Die Einstimmigkeit der voneinander unabhängig gegebenen Antworten deutet auf eine gute Unternehmenskommunikation hin. Die dem Befragungsmodell abgeleitete Kennzahl der Heterogenität (0) bzw. Homogenität (1,0) der Mitarbeiterperspektive liegt mit 0,732 deutlich im homogenen Bereich.

**(3) Kundenperspektive der Mitarbeiter:**

Wer ist der Kunde, und wie sind seine Prioritäten hinsichtlich Zeit, Qualität und Kosten? Ähnlich der Antworten aus Fallstudie 1, kann auch hier aus der Befragung keine klare Prioritätsreihenfolge festgestellt werden. Einzig erkennbare Tendenz ist die Einschätzung, dass Kosten, Qualität und Zeit eine größere Rolle spielen als Kundenservice. Die meisten Mitarbeiter im Fertigungswerk waren auch noch nie auf einer Baustellenmontage, und die Monteure noch nicht im Fertigungswerk.

**(4) Derzeitige Systematik der Produktionsflusssteuerung und Leistungsmessung:**

Die im Werk einzig bestehende Aufwandskennzahl über den Gesamtprozess ist die Kennzahl [Stunden/Tonne], wobei diese Zahl nur über den Gesamtbereich ermittelt ist, und keine direkten Steuerungsfolgen hat. Auf der Baustelle gibt es außer dem Bautagebuch keine Systematik der Leistungsermittlung. Die Balanced Scorecard ist bei den befragten Personen nicht bekannt.

**(5) Vermutete Verschwendung und Engpässe im Produktionssystem:**

Über fünfzig Prozent der vermuteten Engpässe beziehen sich nach Aussage der Befragten auf organisatorische Schnittstellen, begründet durch mangelnde Kommunikation und fehlende Absprachen. Eine Vermutung bezüglich des Engpasses deutet ebenfalls auf die Zuschnittsmaschinen hin, die derzeitig unter maximaler Kapazität betrieben sind. Diese Begründung würde bedeuten, dass ein Engpass vorliegt, wenn die Kapazitätsgrenze einer Maschine erreicht ist. Der Meister der Arbeitsbereiche des Heftens, Schweißens und der Beschichtung vermutet den Produktionsengpass bei den Heftstationen, da hier viele verschiedene Materialströme und Organisationseinheiten zusammen kommen, und seiner Aussage nach die Abstimmung hier nicht passt.

**(6) Derzeitige Fehlerfindungssystematik und Kontinuierliche Verbesserungsprinzipien:**

Eine Systematik um Fehler (Fehlteile oder Qualitätsmängel) zu erfassen und zurückzuverfolgen besteht weder in der Fertigung, noch auf der Baustelle. Alle befragten Mitarbeiter definieren jedoch zugleich die kontinuierliche Verbesserung der Arbeitsabläufe als festen Bestandteil ihrer täglichen

Arbeit. Wenn kontinuierliche Verbesserung von den Mitarbeitern als Selbstverständlichkeit bezeichnet wird, dann bildet dies eine gute Voraussetzung, um Prozessverbesserung mit den Mitarbeitern gemeinsam und systematisch weiter zu betreiben. Ebenfalls positiv auffällig bei diesem Unternehmen ist die Unternehmensloyalität. In der Fertigung sind über die Hälfte der Belegschaft bereits zwischen 10 und 20 Jahren in der Firma beschäftigt. Dies deutet auf ein gutes Beschäftigungsklima hin, birgt zugleich aber auch Schwierigkeiten, alt eingefahrene Verhaltensweisen zu hinterfragen und zu verändern, zumal im Unternehmen in den letzten 20 Jahren ein stetiges Wachstum zu verzeichnen war.

Das Organisationsbefragungsmodell erweist sich auch in dieser Fallstudie als sehr hilfreich, um schnell ein von unterschiedlichen Mitarbeitern ausgehendes Bild der Unternehmung, deren Stärken und potentielle Schwachpunkte standardisiert zu erfassen. Gleichzeitig zeigte das Feedback eines abschließenden Ergebnisworkshops, dass die Personen durch die Befragung sensibilisiert wurden, beispielsweise bezüglich der systematischen Fehlerrückverfolgung und der Wichtigkeit von Kennzahlen.

### 7.2.2 Produktionsdetailmessungen: Stückzahlfluss, Tonnagefluss, Leistungskurven

Der Produktionsprozess stromabwärts betrachtet, beinhaltet im Wesentlichen ein Wareneingangslager, eine Strahlanlage, Säge-Bohranlagen, sowie Scher-Stanzmaschinen, Heftstationen, Schweißstände, eine Beschichtungsanlage, Kommissionierungsstationen, ein Versandlager, LKW-Transporte zur Baustelle und die Baustellenmontage. Das Messverfahren ist der ersten Fallstudie ähnlich, allerdings sind sowohl die Einzelteile als auch die Massen aufgenommen und es variieren die Einzelteile stärker in den Abmessungen. Abbildung 7.7 stellt die durchgeführten Messungen und Bestandsaufnahmen des Gesamtprozesses dar.

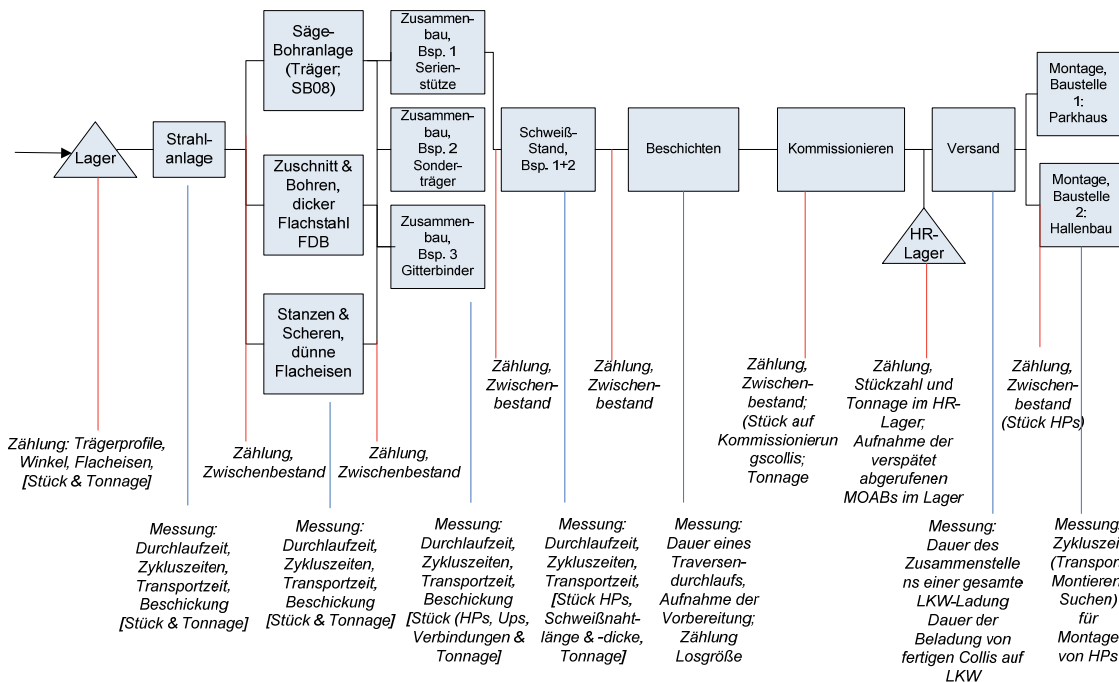


Abbildung 7.7. Gemessene Daten des Produktionsflusses im Stahlbau

Nach dem Zuschnitt werden innerhalb der Fertigung Unterpositionen an Hauptpositionen geheftet und geschweißt (vgl. Nomenklatur Kapitel 4.2.2, Abbildung 4.4). Eine Hauptposition ist typischerweise ein Trägerprofil, ein Winkel- oder Rohrprofil, oder eine Flachstahlplatte.

Um eine Vorstellung von der Veränderung der Stückzahlen und Bauteilgewichte über den Produktionsprozess zu erhalten, sind in Abbildung 7.8 zwei Kurven dargestellt:

1. Die Anzahl der Einzelteile (Hauptpositionen) bezogen auf eine Tonne Stahl, mit der Eingangsgröße eines HEA-Stahlträgers von 16 Metern Länge und einer Tonne Gewicht.
2. Das Einzelgewicht einer Bearbeitungseinheit pro Arbeitsstation über den Prozess.

Aus Abbildung 7.8 wird deutlich, wie stark bereits bei diesem einfachen Realbeispiel die Anzahl der Einzelteile und Gewichtsgrößen über den Produktionsprozess variieren.

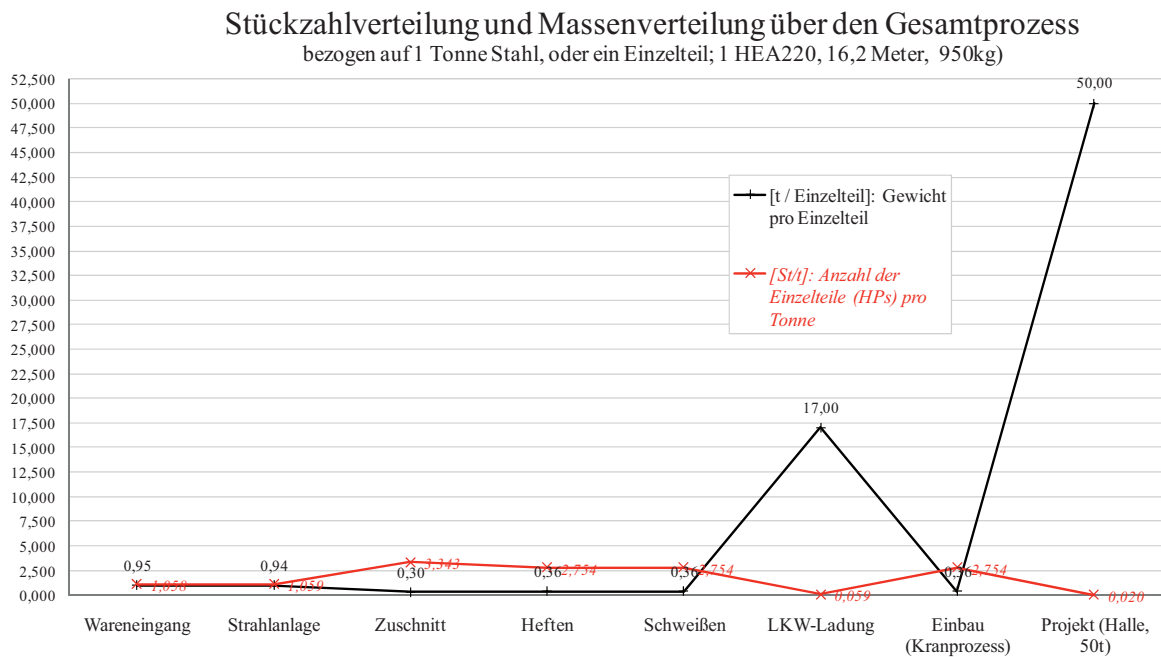


Abbildung 7.8. Stückzahlen und Massenänderung über den Prozess

Bei den durchgeführten Messungen dieser Studie wurden aufgrund dieser starken Stückzahl- und Gewichtsschwankungen sowohl [Stückzahl/Zeit], als auch [Masse/Zeit] und die Bestände gemessen. Erstere Messdaten dienen zur Modellierung des Produktionssystems mit diskreter ereignisorientierter Simulation. Die Tonnage-Messdaten drücken die Produktion als Massenfluss aus. Durch diese detaillierte Produktionsflussmessung sind dreierlei Darstellungen des Produktionsflusses an den einzelnen Stationen möglich:

1. Der **Stückzahlfluss** als bearbeitete Stückzahl über die akkumulierte Zeit, mit der Verdeutlichung der nicht-wertschöpfenden Bereitstellungs- und Zwischenzeiten.
2. Der **Tonnagefluss** als Massendurchfluss, ebenfalls akkumuliert über die Zeit.
3. Die **Leistungskurve** als akkumulierte abgearbeitete Masse über die akkumulierte Zeit.

Abbildung 7.9 zeigt die **drei verschiedenen Darstellungsformen des Produktionsflusses** an der Arbeitsstation der Strahlanlage.

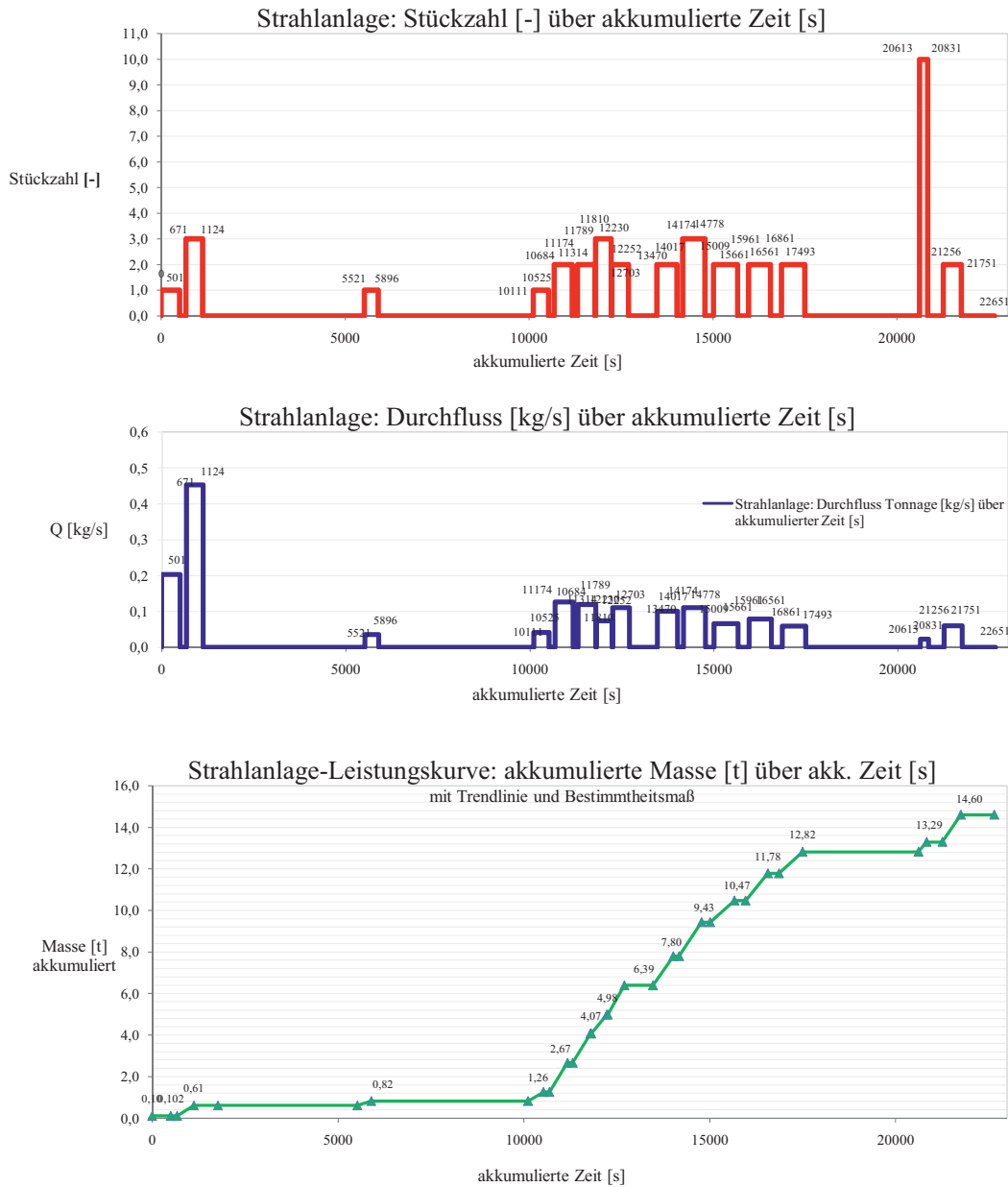


Abbildung 7.9. Strahlanlage: Stückzahlfluss, Massenfluss, Leistungskurve

Alle drei Darstellungsformen haben die akkumulierte Zeit auf der x-Achse gemeinsam. Die Betrachtungseinheit auf der y-Achse ist im Stückzahlfluss die Anzahl der momentan an der Station bearbeiteten Einzelteile. Als Tonnagedurchflussdarstellung (= Massenflussdiagramm) in [kg/s] errechnet sich die Höhe des Durchflusses als das Gewicht des sich in Bearbeitung befindenden Einzelteils, dividiert durch die gemessene Bearbeitungszeit. Das heißt, im Massenflussdiagramm entspricht die Fläche zwischen der Massenkurve und der x-Achse dem jeweiligen Gewicht des Einzelteils. Ist der y-Wert der Kurve gleich Null, so findet keine Prozesszeit statt. Nicht-



wertschöpfenden Zeiten sind demnach in den beiden ersten Diagrammen immer dann vorhanden, wenn die Kurve mit der x-Achse identisch ist ( $y = 0$ ).

Im Fall der Leistungskurve einer Arbeitsstation, ist auf der y-Achse die akkumulierte Masse der abgearbeiteten Einzelteile, und auf der x-Achse die akkumuliert gemessene Zeit dargestellt. nicht-wertschöpfende Zeiten sind in der Leistungskurve immer dann vorhanden, wenn die Steigung der Leistungskurve gleich Null ist.

Aus den Grafiken in Abbildung 7.9 sind zwei markante Dinge sichtbar:

→ Die Strahlanlage ist nicht kontinuierlich beschickt. Dies wird durch die langen und stark variierenden NVA-Zeiten sichtbar. Eine mögliche Erklärung hierfür liegt in einer schlechten Auslastung der Station, aufgrund zu langsamer oder zu unregelmäßiger Materialzufuhr. Diese Ursache konnte bei den Produktionsmessungen vor Ort ausgeschlossen werden. Vielmehr bildet die Strahlanlage „das Tor zur Produktion“, denn jedes Stahlteil muss vor der Weiterverarbeitung diese Anlage passieren, um Roststellen vom Rohmaterial zu beseitigen. Der Grund für die hohen „unproduktiven“ Zeiten liegt in der Materialabsprache, die zwischen den Zuschnittsmaschinen und der Strahlanlage über manuelle Bestellzettelchen so gut geregelt ist, dass die Strahlanlage nur dann beschickt wird, wenn Material wirklich benötigt wird. Ein solches Vorgehen entspricht bereits einem vereinfachten Kanban-System. Mit der Produktionsflussanalyse wurde ausgeschlossen, dass der Produktionsengpass in der Strahlanlage zu finden ist.

→ Auffällig ist im Betrachtungsvergleich von Stückzahlfluss und Massenfluss das unterschiedliche Ausprägungsbild der Darstellungsformen des Produktionsflusses. Einige Peaks im Stückzahlflussdiagramm fallen deutlich höher aus als im Massenflussdiagramm, und an anderer Stelle ist es umgekehrt. Das liegt daran, dass im Gegensatz zur Sägebohranlage bei der Strahlanlage größenabhängig auch mehrere Einzelteile gleichzeitig gestrahlt werden können. Bei kleinen Abmessungen sind bis zu 12 Teile gleichzeitig strahlbar.

Im Folgenden sind markante Produktionsflussbilder von drei verschiedenen Arbeitsstationen im Stahlbauprozess beispielhaft erklärt.

### Beispiel 1: Eine gut fließende Arbeitsstation: Die Sägebohranlage

An der betrachteten Sägebohranlage wird immer nur ein Stahlträger bearbeitet<sup>42</sup>. Abbildung 7.10 zeigt das Massendurchflussdiagramm und die Leistungskurve an der Sägebohranlage. Die Anlage ist vollautomatisiert, lediglich der Zeitpunkt der Beschickung, die Maschinenprogrammierung und die Bereitstellung von Material finden manuell über einen Maschinenbetreuer statt. Das Massendurchflussdiagramm zeigt, dass die Maschinenbeschickung im Vergleich zur Strahlanlage regelmäßig abläuft. Auch die Leistungskurve nähert sich mit einem hohen Bestimmtheitsmaß von  $R^2 = 0,96$  an eine linear steigende Gerade an, d.h. innerhalb der Beobachtungszeit sind keine relevanten Standzeiten z.B. aufgrund von Maschinenrüsten vorhanden. Die Schwankungen innerhalb der Bereitstellungs- und Bearbeitungszeiten sind gering, und die gemessene wertschöpfende Prozesszeit beträgt 52%.

In Bezug auf die gemessenen Werte kann festgestellt werden, dass diese Anlage innerhalb ihrer maschinellen Randbedingungen sehr gut läuft, das heißt, Mensch und Maschine sind gut aufeinander abgestimmt, und es findet ein kontinuierlicher Produktionsfluss statt.

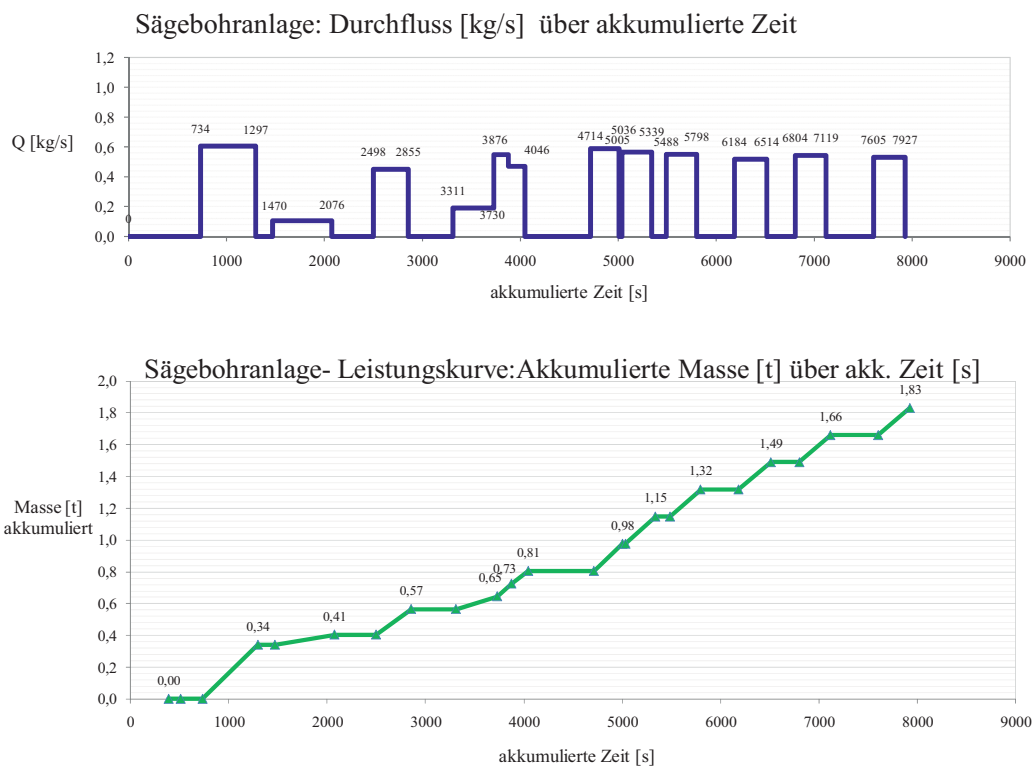


Abbildung 7.10. Sägebohranlage: Massendurchfluss und Leistungskurve

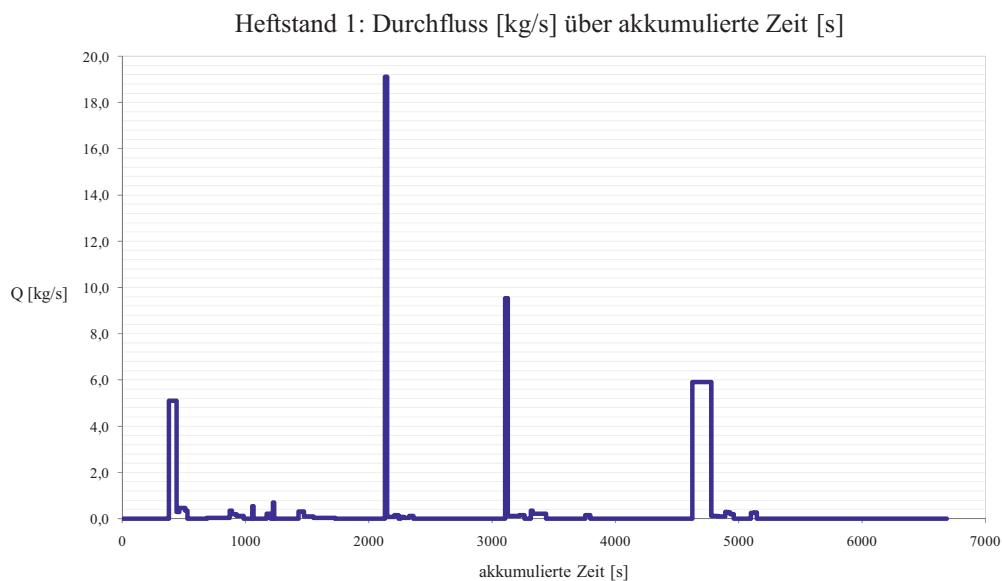
<sup>42</sup> Im Fall der Einzelstückbeschickung wurde deshalb auf die Darstellung des Stückzahl-Flussdiagramms verzichtet.

## Beispiel 2: Der manuelle Zusammenbaustand (Heftstand) mit hohen Schwankungen

Im Gegensatz zur automatisierten Zuschnittstation, findet die Wertschöpfung am Heftstand durch die manuelle Tätigkeit des punktuellen Aneinanderschweißens von Unterpositionen an eine Hauptposition statt. Die Messdaten für das folgende Massendurchflussdiagramm und die Leistungskurve in Abbildung 7.10, wurden bereits in Kapitel 6 bei der Entwicklung des Kennzahlensystems teilweise erklärt. Im Tonnageflussdiagramm des Heftstandes sind sehr hohe Schwankungen der Prozesszeiten und der Bereitstellungszeiten sichtbar. Auch der zackige Kurvenverlauf der Leistungskurve und das niedrige Bestimmtheitsmass der Angleichungsgeraden von  $R^2 = 0,58$ , deutet auf einen unkontinuierlichen Prozessfluss hin.

Die großen Sprünge innerhalb der Leistungskurve entstehen durch lange Kran-transportvorgänge zur Positionierung der neuen Hauptposition (Träger) auf der Arbeitsstation. Das Anheften der Unterpositionen (Kleinteile) lässt die Leistungskurve kaum steigen. Bei Kleinteilen ist der Zeitaufwand gegenüber der fertiggestellten (angehefteten) Masse sehr hoch. Damit ist im Heftprozess „Einzelteil“ nicht gleich „Einzelteil“, da viele kleine Unterpositionen als Anbauteile an eine Hauptposition viel Aufwand, aber geringe Masse bedeuten. Eine Stückzahlbetrachtung mit einer vereinfachten Annahme, dass Unterpositionen (Kleinteile) und Hauptpositionen dasselbe wären, ist daher für Heftstationen falsch.

Die Summe der gemessenen Wertschöpfungszeit im Verhältnis zur nicht-wertschöpfenden Zeit beträgt hier nur 24% zu 76%. Der Hauptanteil der NVA-Zeiten ist den Transportvorgängen des Krans zuzurechnen. Dies wirft Fragen hinsichtlich der Einschränkungen des Produktionssystems auf.



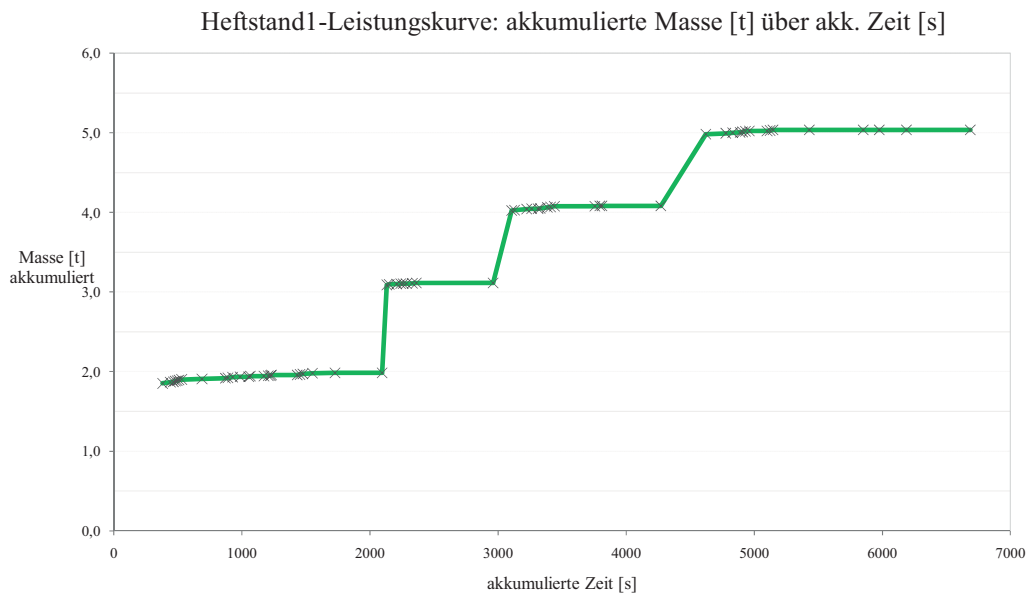


Abbildung 7.10. Hefstand: Massenfluss und die Leistungskurve

### Beispiel 3: Fließbilder von Montageprozessen auf der Baustelle, „das Mittelding“

Zur Prozessaufnahme der Baustellenmontage werden die Kranzeiten für den Einbau einer Hauptposition verfolgt. Das einzubauende Material ist bereits auf der Baustelle angekommen und gelagert. Ein Zyklus hierbei ist die Bereitstellungszeit (NVA) für das Anhängen der Hauptposition an den Kran und den Krantransport zur Einbaustelle, die Prozesszeit (VA) als Fixierung des Anbauteils am Gesamtbauwerk und der leere Rücktransport (NVA). Gemessen wurde die Zeit zum Einbau einer Hauptposition und deren Gewicht.

Innerhalb der Messungen entfallen 44% auf wertschöpfende Prozesszeit, und 56% auf nicht-wertschöpfende Zeitanteile. Es werden maximal zwei Hauptpositionen gleichzeitig an den Kran gehängt. Abbildung 7.11 enthält die gemessenen Prozessdaten bei der Montage einer Stahlhalle.

Im Tonnagedurchflussdiagramm ist anhand der unterschiedlichen Flächengröße unterhalb der Kurve sichtbar, wie die Gewichte der Hauptpositionen schwanken. Auch die Zeiten schwanken stärker als im Zuschnitt. Zugleich fallen die Kurvensprünge und Horizontallagen der Leistungskurve dieser Baustellenmontage geringer aus als im Hefstand. Verglichen mit den vorigen beiden Beispielen nehmen diese Prozessflussdiagramme hinsichtlich der Schwankungen eine Mittelstellung ein. Auch hier bestehen Verbesserungspotentiale, wobei zu hinterfragen ist, welche auf den Produktionsfluss

einschränkenden Faktoren durch das Produktionssystem „Baustelle“ (z.B. Lagerhaltung vor Ort) determiniert sind, und welche einschränkenden Faktoren durch verbesserte Koordination zur Verstetigung des Gesamtflusses führen können.

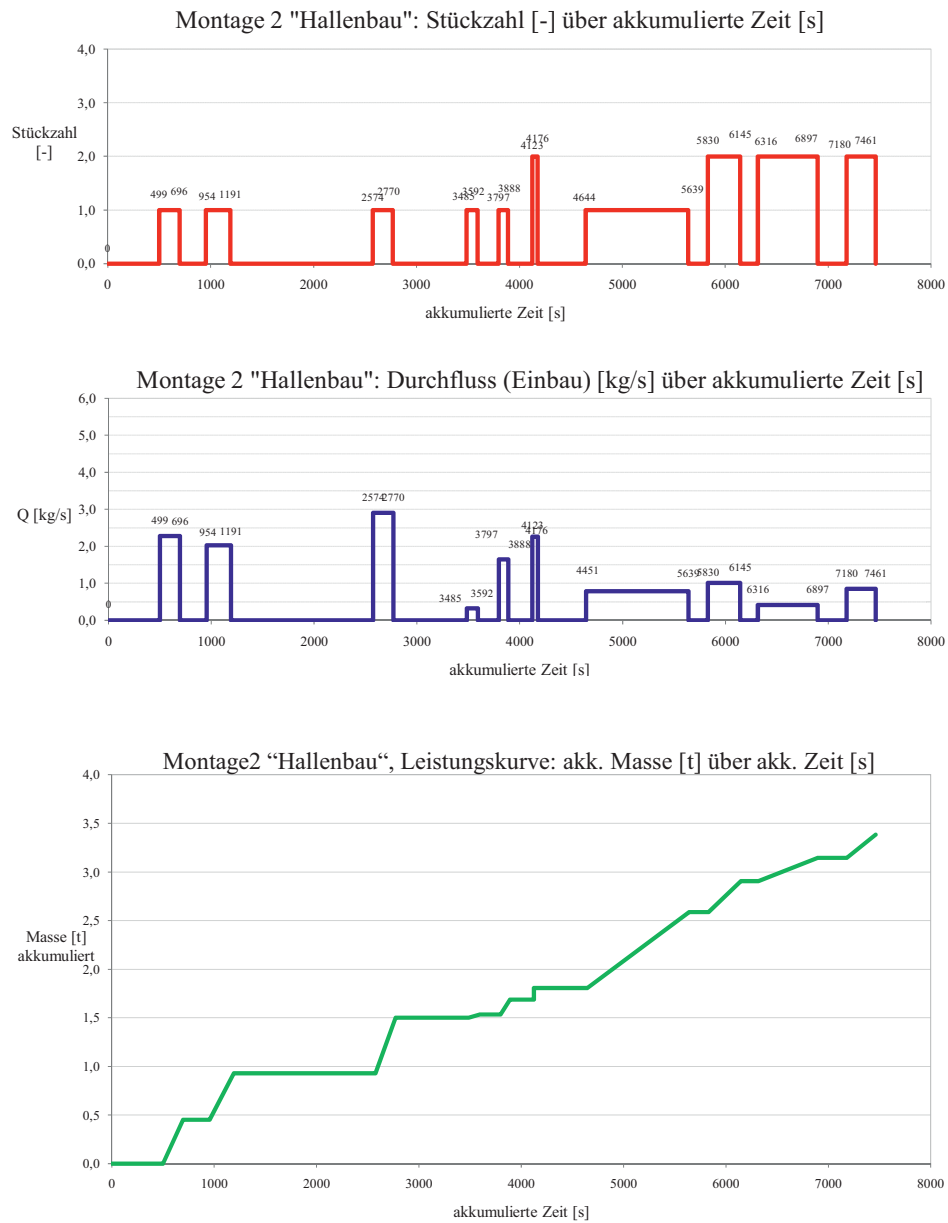


Abbildung 7.11. Baumontage: Stückzahlfluss, Massenfluss, Leistungskurve

### 7.2.3 Versandlager: Die Schnittstelle zwischen Fertigungswerk und Baustellen

Relevant für die Gesamtprozessbetrachtung ist auch die organisatorische Schnittstelle zwischen Fertigungswerk und Baustelle, nicht zuletzt, weil hier ein wesentliches Verbesserungspotential durch das in Kapitel 6 vorgestellte Kennzahlensystem vorliegt. Die Prozesszeiten zwischen dem Warenausgang der Fertigung und dem Eintreffen auf der Baustelle konnten aufgrund der unterschiedlichen Transportdistanzen zu den einzelnen Baustellen und den extern beauftragten Speditionen nicht gemessen werden.

Wie die Abstimmung zwischen Werk und Baustellenerrichtung funktioniert, ist auch anhand der Lieferzuverlässigkeit des Werkes und der Abrufzuverlässigkeit der Baustelle ersichtlich. Innerhalb der untersuchten Unternehmen gibt es bisher keine systematische Erfassung dieser Daten. In der vorliegenden Studie wurde das Versandlager manuell durch Zählung der Einzelpositionen erfasst, und die von den Baustellen geforderten Liefertermine den Lieferbestellungszetteln entnommen. Diese Zettel werden nach der Beschichtung beim Eintreffen des Materials im Versand aus dem Produktionssystem ausgedruckt und dem Material angeheftet. Abbildung 7.12 zeigt das Ergebnis der Untersuchung des Versandlagers: 58% der fertiggestellten Hauptpositionen werden von der Baustelle zu spät abgerufen. Hierbei liegt der bestellte Liefertermin bereits mehr als eine Woche zurück, ohne dass ein neuer Liefertermin genannt wäre, und das Material verbleibt weiter im Lager. Das Versandlager ist voll, die Fertigung weiß aber nicht, wann die Lieferungen tatsächlich abgerufen werden. Das Fertigungswerk seinerseits produziert jedoch 30% der bestellten Hauptpositionen mehr als eine Woche vor dem Liefertermin, das heißt ein Drittel der Teile wird zu früh produziert. Aufgrund der Unzuverlässigkeit und der fehlenden Transparenz solcher Zahlen ist das auf 700 Tonnen ausgelegte Versandlager zu klein. Innerhalb dieser Grafik ist allerdings nicht enthalten, wie häufig das Fertigungswerk Aufträge zu spät an die Baustellen liefert. Bisher ist keine Statistik dazu geführt und hierzu Daten zu erheben erfordert einen größeren Betrachtungszeitraum als die Forschungsstudie.

### Schnittstelle: Fertigungswerk - Baustellenmontage

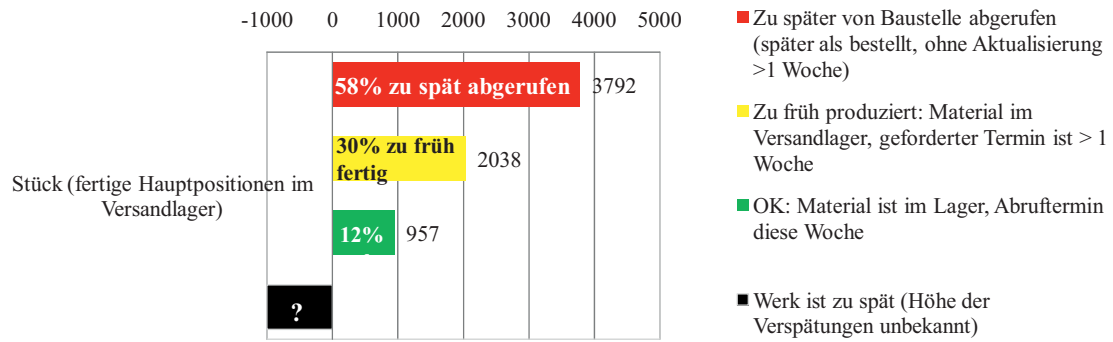


Abbildung 7.12. Versandlager, Schnittstelle zwischen Fertigung & Baustelle

## 7.2.4 Zusammenführung der Befragungs- und Messergebnisse: Engpassermittlung

Nach 7.1.2 befindet sich der Engpass an derjenigen Arbeitsstation, an der die höchste Bestandsvorlaufzeit besteht. Tabelle 7.1 fasst rechnerisch die Vorbestandswartezeiten der wesentlichen Stationen des Produktionsprozesses zusammen und ist in Anhang 7H vergrößert dargestellt.

Tabelle 7.1 Quantitative Berechnung der Vorbestandswartezeiten, Case 2

Quantitative Prozessanalyse und Berechnung der direkten Vorbestandswartezeit und der theoretischen Vorbestandszeit mit Schwankungsfaktor							
Nr. an Messzyklen	Lager / Zuschnitt	Zuschnitt (SB + FDB)	Heften (H1+H2)	Schweißen	Beschichten über Traversen	Kommissionieren	Baustelle, Errichten (M1+M2)
1	-	1297	523	1737		12780	1373
2		779	524	2120			1041
3		779	523	2016			871
4		875	524	2198			1227
5		984	433				1070
6		322	433				615
7		452	1159				642
8		696	1256				696
9		620	1904				495
10		1123	920				1576
11		1203	1570				529
12		666					498
13		1027					326
14		1403					1517
15		2046					677
16		2212					1145
Gesamte Beobachtungszeit		16484	9769	8071	12269	12780	14298
Tonnen		2,204	6,341	1,84	8,25	16,5	6,035
Durchsatz Q [t/h]		0,48	2,34	0,82	2,42	4,65	1,52
value-adding		44%	30%	63%	n.a.	23%	43%
non-value-adding		56%	70%	37%	n.a.	77%	57%
Varianz		271868	265276	40590	n.a.	n.a.	153947
Standardabweichung [sekunden]		521	515	201	n.a.	n.a.	392
Standardabweichung [Stunden]		0,145	0,143	0,056	n.a.	n.a.	0,109
<b>Schwankungsfaktor</b>		<b>1,145</b>	<b>1,143</b>	<b>1,056</b>	n.a.	n.a.	<b>1,109</b>
WIP (vor Station, [t])		1200	4	94	10	41	498
WIP (vor Station, [St])			7	297	31	6967	223
<b>direkte Vorbestands wartezeit [h]</b>		<b>8,31</b>	<b>40,23</b>	<b>12,46</b>	<b>16,94</b>	n.a.	<b>63,11</b>
<b>indirekte Vorbestands wartezeit (mit Schwankungsfaktor) [h]</b>		<b>9,51</b>	<b>45,98</b>	<b>13,16</b>	n.a.	n.a.	<b>69,98</b>

Einige Mitarbeiter vermuteten den Systemengpasses im Zuschnitt und liegen damit falsch, da die Vorbestandszeiten zwischen Strahlanlage und Zuschnitt vergleichsweise kurz sind und die Materiallieferungen hier bereits über ein vereinfachtes Kanbansystem getätigt werden. Der Stationsleiter des Zusammenbaus, Schweißens und der Beschichtungsanlage hatte Recht mit seiner Aussage, dass sich der Produktionsengpass an den manuellen Heftständen befindet. Wie auch in der ersten Fallstudie liegt also der Engpass direkt hinter den automatisierten Zuschnittsstationen. Die Begründung hierfür basiert auf vier Punkten:

- Vor den Heftständen liegen im Vergleich zur übrigen Fertigung die höchsten Bestandsvorlaufzeiten.



- Die Hefststände bilden die höchste organisatorische Schnittstelle und einen mehrfachen Materialflussverzweigungspunkt: Konstruktionspläne treffen aus der Planungsabteilung ein, die Produktionsleitung gibt die Montageabschnitte zur Fertigung vor, und die Kommunikation zur Materiallieferung muss mit den Sägebohranlagen (Träger), den Stanzanlagen (Kleinteile) und dem Einkauf (Standardteile) stattfinden.
- Hefststände erweisen zusammen mit den Schweißstationen die niedrigste technologische Entwicklungsstufe im Werk: seit 20 Jahren gab es an diesen Fertigungsständen keine wesentliche maschinen- oder materialflusstechnische Neuerung.
- Aufgrund der fehlenden Transparenz mangels Leistungsindikatoren und einer häufigen Abänderung der Fertigungsreihenfolge ist keine detaillierte Produktionsplanung möglich. Selbst die Arbeiter an den Hefstständen wissen nicht, wie viel Zeit zur Erledigung des vorgelagerten Materials benötigt wird.

Die Zusammenführung der qualitativen Befragungsergebnisse, der Kennzahlen und der quantitativen Prozessmessungen aus Fallstudie 2 ist in der Verknüpfungsmatrix in Abbildung 7.13 dargestellt (vergrößert in Anhang 7H). Daraus sind dann Erkenntnisse und Muster abgeleitet.

<b>Verknüpfungsmatrix:</b>		Lagerhaltung	Zuschnitt	Heften	Schweißen	Beschichten	Kommissionieren	Versand/Transp.	Baustelle
<b>Organisation, Kennzahlen, Prozessmessung</b>	Produktionssteuerung	X	X	X	X	X	X		
	Technisches Büro		X	X	X				
	Einkauf	X		X			X		
<b>Organisationseinheiten des Produktionsprozesses, Messdaten:</b>  [X] ist die organisatorische Abhängigkeit, z.B. beeinflusst Lagerhaltung direkt den Zuschnitt, d.h. der Zuschnitt ist von der Lagerhaltung abhängig.	Lagerhaltung	Bestand[t] ~ 1200	X						
	Zuschnitt		Q [t/h] = 0,48 Schwankung = 1,145 Vorbestands-Wartezeit [h] = 9,51 VA = 44% NVA = 56%	X					
	Heften			Q [t/h] = 2,34 Schwankung = 1,143 Vorbestands-Wartezeit [h] = 45,98 VA = 30% NVA = 70%	X				
	Schweißen				Q [t/h] = 1,84 Schwankung = 1,056 Vorbestands-Wartezeit [h] = 13,16 VA = 63% NVA = 37%	X			
	Beschichten					Q [t/h] = 2,423 Schwankung = n.a. direkte Vorbestands-Wartezeit [h] = 16,94	X		
	Packen						Q [t/h] = 4,64 Schwankung = n.a. Vorbestands-Wartezeit [h] = n.a. VA = 23% NVA = 77%	X	
	Transport							Bestand [t] ~ 496	X
	Baustelle								Q [t/h] = 1,52 Schwankung = 1,109 Vorbestands-Wartezeit [h] = 69,98 VA = 43%, NVA = 57%
<b>Organisationsschnittstellen Einflußsumme:</b>		2	3	4	3	2	3	1	1
<b>Hinweis aus Organisationsbefragung</b>	vermuteter Engpass:	55% der Befragten vermuten Engpässe an mehrfachen organisatorischen Schnittstellen, 22% vermuten Sie an Orga-Schnittstelle mit Maschineneinsatz.							
	bestehende Kennzahlen:	Bestehende Kennzahlen: keine Verbesserungskennzahlen, keine Fehlerkennzahlen, keine Leistungskennzahlen vorhanden - außer t/h							
	Orga-Kennzahl A:	Organisatorische Handlungsnotwendigkeit der Veränderung: 2,11 (von max 5,0), zu erwartende organisatorische Resistenz 4,22 (von max. 5,0)							
	Orga-Kennzahl B:	Heterogenität (0) / Homogenität (1,0) der Mitarbeiterperspektive: 0,732							
	Orga-Kennzahl C:	Zukunftsinvestition: Mitarbeiter würden als strategische Ausrichtung des Unternehmens vor allem in Kosten- und Qualitätsoptimierungsprogramme investieren							
	Orga-Kennzahl D:	Hinweise von MA auf bestehende Verschwendung (muda) im System: Kommunikation an orga.-Schnittstellen, viele Transporte, falsche Konstruktionszeichnungen, fehlende Zielsetzung der Geschäftsführung							
<b>Zusammenfassung, Handlungsvorschlag:</b>	<b>Es bestehen hohe-Schwankungen der Vorbestände und Durchlaufzeiten x hohe organisatorische Schnittstelle an d. Hefstständen x Mitarbeiterhinweise verdeutlichen die Schwierigkeit der Absprache und Koordination -&gt; Notwendigkeit der Kommunikationsverbesserung (z.B. mit LPS), Schnittstellenreduzierung sinnvoll, Kennzahleneinführung zur Transparenzerhöhung und Steuerung, Management sollte hinsichtlich Zielführung und Veränderungsbereitschaft der Mitarbeiter klarer handeln.</b>								

Abbildung 7.13 Verknüpfungsmatrix, Fallstudie 2

### 7.2.5 Muster und Erkenntnisse

(1) **Hohe Schwankungen der Prozess- und nicht-wertschöpfenden Bereitstellungs-Zeiten und „gedrückte Produktion“:** Wie bei der Betrachtung des ersten Unternehmens, so sind auch in der zweiten Fallstudie auffällig hohe Schwankungen im Produktionsfluss sichtbar, mit besonders starken Ausprägungen an den manuellen Hefständen (Anhang 7G). Der Engpass im Produktionsfluss befindet sich ebenfalls den Zuschnittsmaschinen nachgestellt, an den Hefständen. Auch hier zeigt die Organisationsbefragung, dass die meisten Mitarbeiter intuitiv den Engpass an einer kritischen organisatorischen Schnittstelle vermuten, dann aber aufgrund mangelnder Transparenz der Produktionsprozesse (Vorbestandswartezeiten und Schwankungen) den Engpass nicht den richtigen Arbeitsstationen zuordnen können. Die Produktion befindet sich ebenfalls im „push“-Modus, initiiert durch die CNC-gesteuerten Zuschnittsmaschinen, und der gesamte Produktionsfluss steht 66% der Zeit still.

(2) **Die Bauteilgrößen in der Fertigung von Stahlhallen- und Parkhäusern variieren deutlich stärker als in der Kleinserienfertigung von Stahltürmen.** Zur Produktionsflussanalyse werden daher **drei Betrachtungseinheiten** an der jeweiligen Arbeitsstation verglichen: (a) der *Stückzahlfluss*, (b) der *Massendurchfluss*, (c) die *Massen-Leistungskurve*.

(3) **Geringe Abrufzuverlässigkeit der Baustelle gegenüber den Materialbestellungen im Versandlager des Werkes:** Die Abstimmung an der Schnittstelle zwischen der Fertigung und der Baustellenerrichtung ist durch das Versandlager abgepuffert. Eine manuelle Analyse des Lagers zeigt, dass 56% der bestellten Materialien verspätet abgerufen werden, d.h. dass der von der Baustelle bestellte Abruftermin ohne Erklärung bereits mehr als eine Woche zurückliegt. Dadurch entstehen erhöhte Lagerkosten, und die Fertigungsabteilung des Werkes kann keine auftragsgesteuerte Produktion durchführen, da nicht bekannt ist, welche Aufträge wirklich zu dem gewünschten Termin benötigt-, und welche erst später abgerufen werden. Es konnte nur die Unzuverlässigkeit der Baustellenabrufe durch Lageruntersuchung erfasst werden. Verspätete Bereitstellungen des Werkes sind aufgrund mangelnder Kennzahlen nicht erfassbar. Aus diesem Grund wurde in Kapitel 6 zu einer Verbesserung der Abstimmung dieser Schnittstelle das dreigliedrige Kennzahlensystem entwickelt, und die Anwendung der Phasen 3 und 4 des Last-Planner-Systems zur Verbesserung der Zuverlässigkeit und Absprachen an organisatorischen Schnittstellen vorgeschlagen.

Basierend auf diesen Produktionsflussanalysen der zweiten Fallstudie behandelt das folgende Kapitel 8 die Frage, wie Verbesserung durch quantifizierbare Lean-Methoden hinsichtlich des Stückzahl durchflusses und der Bestände möglich ist. Diese Untersuchung findet über Simulationsstudien statt.

## 8 Simulation: Lean-Management-Untersuchungen im Stahlbau

### 8.1 Diskretes Ereignisorientiertes Simulationsmodell im Stahlbau

Zielsetzung der Simulationsstudien ist die Untersuchung von Effekten veränderter Produktionssteuerung auf den Produktionsdurchfluss [Stückzahl/Stunde], die sich durch die Anwendung der quantifizierbaren Lean-Management-Methoden von SMED, One-Piece-Flow und Last-Planner ergeben (vgl. Tabelle 3.2 und Kapitel 3.4.1). Die Zielfunktion besteht in der Maximierung des Produktionsdurchsatzes, oder der Reduzierung von Beständen bei gleichen Mitarbeiterressourcen. Spezifisch für die Simulation im Stahlbau ist das Spannungsfeld der Betrachtungseinheiten innerhalb der Produktionsprozesse. Bisher ist nicht klar, ob Stückzahlen oder Tonnage (Masse) die bessere Betrachtungseinheit hinsichtlich Realitätsnähe und Simulierbarkeit darstellt. Basierend auf Tommeleins Aussage<sup>43</sup> [Tom-'06] in der Simulationsforschung wurde der Stückzahlansatz verfolgt. Die Prozessabläufe sollten trotz Einzelfertigungsumfeld für die Simulation möglichst wiederholbar, und Produkte sich zumindest in ihrer Grundform ähnlich sein. Die Untersuchungsmöglichkeiten von Lean-Management-Methoden durch Simulation sind hier auf quantifizierbare Methoden beschränkt. Wie in Kapitel 3 dargestellt, beinhaltet Prozessverbesserung nach Lean-Management-Prinzipien aber auch den Aspekt einer kollaborativen Unternehmenskultur, mit verschiedenen schwer zu quantifizierenden Faktoren, wie zum Beispiel die Prozessverbesserung durch Kommunikationstreffen, Mitarbeiterverantwortung bis auf untere Ebenen, Fehlerfindungsprogramme und vieles mehr. Diese qualitativen Aspekte können bisher nur unzureichend in Simulationsmodellen abgebildet werden. Simulation wird innerhalb des eigenen Untersuchungsansatzes nur als sinnvolles Werkzeug betrachtet, wenn sie auf gemessenen Detaildaten und der Betrachtung der Organisation und deren qualitativen Faktoren basiert.

Der Untersuchungsrahmen des Simulationsmodells zur Stückzahlmodellierung eines Produktionssystem basiert auf den Messungen der zweiten Fallstudie, beginnend mit dem Wareneingang des Produktionssystem, bis zur Baustellenmontage (vgl. Abbildung 7.7).

#### 8.1.1 Auswahl der DES-Software

Der Literaturrecherche und den Fallstudien zufolge wurde bisher DES-Simulation im Stahlbau noch nicht eingesetzt, um den Produktionsfluss und dessen Optimierungsvarianten zu berechnen. Dies ist begründet mit dem vergleichsweise hohen Aufwand der anfänglichen

---

<sup>43</sup> *“Many systems do not lend themselves to the formulation of closed-form mathematical solutions. Discrete-event simulation then proves to be not only a useful-, but in many cases the only tool available to describe and analyze such systems.”* [Tom-'06]

Datenerhebung, die als Ausgangsbasis für ein aussagekräftiges Simulationsmodell notwendig ist. Zusätzlich sind starke Vereinfachungen innerhalb eines Modells notwendig, was wiederum die Aussagekraft hinsichtlich des Realitätsbezugs reduziert. In der Praxis besteht weiterhin die Diskussion, ob Simulation in der Einzel- und Kleinserienfertigung überhaupt sinnvoll einsetzbar ist, da zwischen den verschiedenen Bauelementen sehr starke Schwankungen in den Bearbeitungszeiten und den Einzelteilgrößen über den Produktionsprozess hinweg vorliegen. Aufgrund fehlender veröffentlichter Erfahrung von Simulationsanwendungen im Stahlsystembau, wurden in einer zusätzlichen Studie verschiedene DES-Softwareprogramme auf Ihre Anwendungseignung für die Fragestellung untersucht [Hof.Gan-'09]. Die folgenden fünf Kriterien dienen als Vergleichsbasis der Simulationssoftware:

1. Visualisierungsmöglichkeiten
2. Detaillierungsgrad und Genauigkeit der Simulation
3. Erforderliches Zusatzniveau an Programmierung
4. Prozessanalysewerkzeuge innerhalb der Simulationssoftware
5. Dokumentation und Möglichkeiten der Ergebnispräsentation

Jedes der Simulationswerkzeuge wurde mit einem Punktesystem bewertet. Aufgrund des Ergebnisses dieser Studie ist „Siemens-Plant-Simulation, SPS“ von Technomatix als DES-Simulationssoftware dieser Forschungsstudie zugrunde gelegt.

### **8.1.2 Vorgehenskonzept**

Ein systematisches Vorgehenskonzept zur Erstellung des Simulationsmodells ist in Anhang 8A dargestellt. Mittels der drei Vorstudien konnte das detaillierte Messkonzept zur Datenerhebung innerhalb der Fallstudien erstellt werden, wonach die wesentlichen Messpunkte festgelegt, und an jeder relevanten Prozessstation die Prozesszeiten für die bearbeiteten Einzelteile und Gewichtseinheiten gemessen wurden. Anhand der Zählung der gesamten Zwischenbestände, der jeweiligen Losgrößen und Transportzeiten ist somit eine umfassende datenbasierte Darstellung des Produktionssystems innerhalb eines Simulationsmodells möglich. Die Validierung des Modells erfolgt durch den Vergleich der Modellausgabewerte mit den realen Daten (Einzelmessungen und Globaldaten). Die Umsetzung eines Simulationsmodells gliedert sich nach [Sps-'09] in die Abschnitte:

- Projektbeschreibung (Ziele und Fragestellung fixieren).
- Planung (Modellentwurf, Eingangsdaten, Modellelemente, Variablen und logische Vorgehensbeschreibung einer Experimentreihenfolge).

- Aufbau des Simulationsmodells in einer ersten grundlegenden Form, nach der Klarstellung der benötigten Daten und deren Erfassung. Im Modell sind alle modellierten und programmierten Bestandteile auf deren richtige Aufgabenerfüllung verifiziert.
- Durchführung der Experimente mit verschiedenen Alternativen der Produktionssteuerung.
- Zusammenführung und Interpretation der gesammelten Ergebnisse, mit Bezug auf die zu untersuchende Fragestellung und Arbeitshypothese; endgültige Dokumentation des gesamten Simulationsprojektes.

### 8.1.1 Aufbau des Simulationsmodells

Das Simulationsmodell besteht aus zwei wesentlichen Bestandteilen: Der Stahlbaufertigung und der Baustellenmontage, inklusive Transport und Errichtungsprozesse auf der Baustelle, dargestellt in Abbildung 8.1.

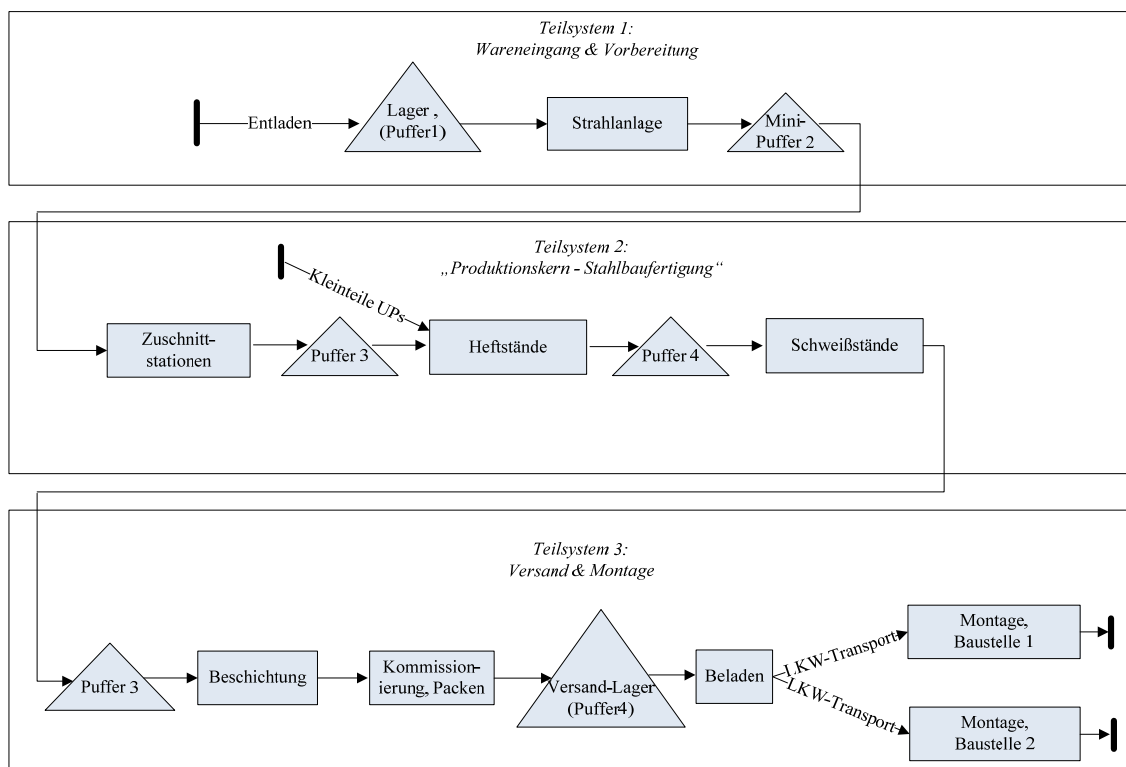


Abbildung 8.1. Schematischer Aufbau des Simulationsmodells

Die Zeiten zwischen den Arbeitsstationen ohne Förderstrecken sind als Bereitstellungszeiten in die Arbeitsstationen integriert. Transport findet über Kräne, Rollbahnen oder LKWs statt. Bei jedem Simulationslauf sind die Eingabewerte (Input an Trägern), Zwischenbestände (an Hauptpositionen),

Ausgabewerte (Senke Baustelle) und der Durchfluss innerhalb des Werkes und der Baustelle erfasst. Abbildung 8.2 zeigt das Produktionssystem, wie es innerhalb des Simulationsmodells entwickelt wurde, mit der werksbezogenen Stahlbaufertigung (oberer Teil) und den Bereichen Versand, Transport und Baustellenmontage (unterer Teil).

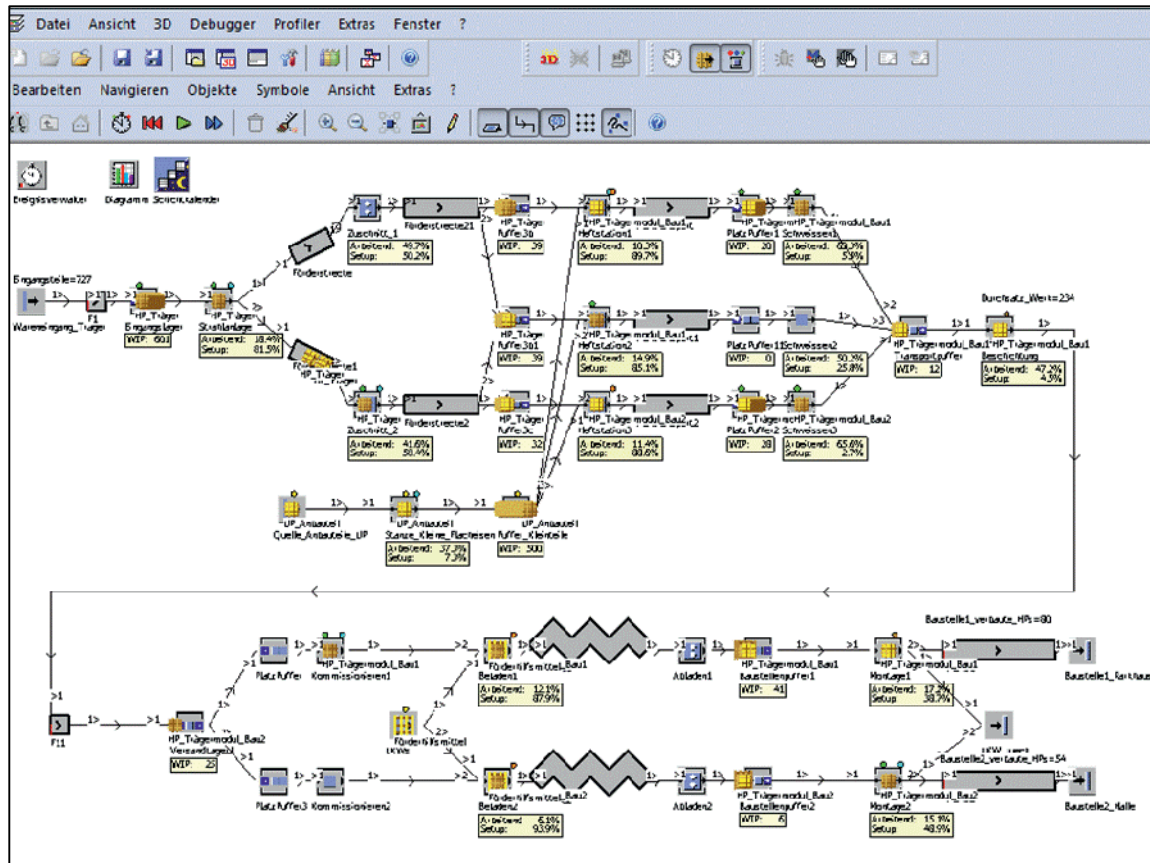


Abbildung 8.2. Pprintsreen des entwickelten Simulationsmodells

### 8.1.2 Datenerhebung

Nach Peter [Pet-‘09] können zur Erstellung und Validierung eines Produktions-Simulationsmodells bestehende Produktionsdaten aus einem Produktionsplanungssystem (PPS) entnommen werden, oder sie sind andernfalls manuell zu messen. In keinem der in dieser Forschungsstudie betrachteten Stahlbauwerke waren systematisierte Prozessdaten außerhalb der globalen Aufwandswerte [h/t] pro Projekt vorhanden. Durch die fehlende Detailansicht über die Aufteilung der Gesamtprozesszeit in Transport, Rüsten, Wartungszeiten, Warten und Wertschöpfung können Simulationsstudien nur sinnvoll durchgeführt werden, wenn zuvor Prozessdetailmessungen und Bestandszählungen stattfinden. In der Simulation sind die Messwerte der Bearbeitungs- und Wartezeiten durch die Ober- und Untergrenzen der Daten, sowie die zugehörigen Mittelwerte und Standardabweichungen abgebildet (vgl. Anhang 8B). Der Messungszeitraum umfasst drei Wochen im Fertigungswerk und

auf zweierlei Baustellen. Hinsichtlich den Forschungsfragen und einer tiefergehenden Aussagekraft der Simulationsuntersuchung wäre es wünschenswert, einen größeren Erhebungszeitraum zu betrachten. In der Unternehmensrealität ist jedoch Leistungsmessung von Prozesszeiten durch externe wissenschaftliche Analysepersonen aufgrund von der Akzeptanzschwierigkeiten und Mitarbeiterangst vor Datenmissbrauch nur sehr schwierig durchzuführen. Drei Wochen waren deswegen der maximal akzeptierte Handlungsrahmen für die Forschungsstudien.

### **8.1.3 Annahmen, Einflussfaktoren und Modelleingabewerte**

Als Betrachtungsobjekte (Stück) werden im Simulationsmodell beim Wareneingang Träger modelliert, die an den Sägebohranlagen in zwei bis drei Hauptpositionen zerteilt werden. An diese werden Unterpositionen (Kleinteile, 6-8 Stück) im Zusammenbau der Heftstationen angeschweißt. Bei der Kommissionierung werden die Hauptpositionen zu Losgrößen von 20 Hauptpositionen gebündelt. Dies stellt eine LKW-Ladung dar. Der über den Produktionsprozess sich ändernde Gewichtsaspekt der Einzelteile ist innerhalb der ereignisorientierten Simulation in dieser Form nicht darstellbar, u.a. da der genaue Wiederholungsgrad der Einzelteile bei weniger als fünf Prozent liegt. Die Anbaupositionen sind im Verhältnis zu den Hauptpositionen sehr klein, wobei das durchschnittliche Gewicht einer Unterposition zwischen 0,1 kg und 15 kg beträgt, während eine Hauptposition durchschnittlich zwischen 100 kg und 500 kg wiegt. Deshalb finden Anbaupositionen im Simulationsmodell nur in der Bearbeitungszeit eine Berücksichtigung, und sind nach den Heftstationen als Bestandteil innerhalb der Hauptposition enthalten.

Im Simulationsmodell sind als Einflussfaktoren die Schwankungen in Form der Standardabweichung von Prozesszeiten und Bereitstellungszeiten (Warten, Transport, Inspektion und Suchen) über mehrere gemessene Arbeitszyklen pro Untersuchungsstation berücksichtigt.

Nicht berücksichtigt sind Einflussfaktoren wie saisonale Auftragsschwankung und Einflüsse aus dem Produktionslayout. Die Individualleistung der Arbeiter wird als gleich angenommen, da die Erhebung personenanonym durchgeführt wurde. Auch Produktionsstörungen und außerordentliche Ereignisse wie Maschinenausfälle sind aufgrund des geringen Zeitraumes der Datenerhebung nicht modelliert. Qualitätsmängel sind über die Schwankung der Bereitstellungszeiten nur indirekt aufgenommen. Vereinfacht wird im Modell an allen Stationen im Zweischichtbetrieb gearbeitet, wohingegen in der Realität produktionsabhängig im Ein-, Zwei- oder Dreischichtbetrieb gearbeitet wird.

Die Modelleingabewerte der Ist-Situation sind in Anhang 8B als Tabelle zusammengefasst.

### 8.1.4 Validierung

Iterativ findet die Modellvalidierung anhand der Überprüfung der Übereinstimmung zwischen Modell und gemessener Realität statt, durch Vergleiche der sich einpendelnden Lagergrößen, der Zwischenbestände und des Durchflusses. Zudem dienen die von Unternehmensmitarbeitern erhaltenen Globaldaten (Durchfluss pro Jahr / pro Woche) als Vergleichsgrundlage zur Validierung.

## 8.2 Simulationsuntersuchung von Lean-Methoden im Stahlbau

Als Einschwingphase zur Justierung des Modells auf „Normalproduktion“ wird eine Simulationslaufzeit von 20 Arbeitstagen gewählt, und anschließende Untersuchungszeitpunkte von weiteren 20, 40, 60 und 80 Tagen. Folgende Simulationsvarianten werden anschließend im Modell untersucht:

- Grundmodell der Ist-Situation mit normalverteilten Zeitwerten für Prozesszeit und Setup-Zeiten.
- Experimentvariante 1: One-Piece-Flow (ohne SMED)
- Experimentvariante 2: SMED (=Verringerung der Schankungen der NVA-Zeiten um 20%)
- Experimentvariante 3: SMED Workshops und One-Piece-Flow
- Experimentvariante 4: LPS (Schwankungs- und Bereitstellungszeitverringerung um 30%, Prozesszeitverringerung um 20%).

### 8.2.1 Grundmodell Ist-Situation mit normalverteilten Zeitwerten

Die Modellierung der Ist-Situation beinhaltet ein durchschnittliches Wareneingangslager mit der Kapazität von 1200 Hauptpositionen (HPs) und ein Versandausgangslager von 700 HPs. In der Produktionsrealität entspricht die Lagergröße einem Umrechnungsfaktor am Simulationsmodell von 1Hp = 1 Tonne, bei einer durchschnittlichen Wochenarbeitskapazität von 450 Tonnen. Ein typisches Stahlhallen- oder Parkhausprojekt beträgt zwischen 50 und 100 Tonnen an verarbeitetem Stahl, wobei je nach Hallendimension und Konstruktionsart 20-50 m<sup>2</sup> Fläche pro Tonne errichtet werden. Ein Stahlbauwerk versorgt 15-30 solcher Baustellen gleichzeitig. Im Modell ist die Anzahl der Baustellen auf 2 reduziert und als Senken mit einer unbeschränkten Aufnahmekapazität modelliert. Die Eingangszeitwerte entsprechen Tabelle-Anhang 8B, wobei zur Variantenberechnung das Grundmodell dupliziert wurde, und dann die Methodenveränderungen (wie z.B. Schwankungsverringerung) eingebaut und getestet sind.

Das Ergebnis der im Modell abgebildeten Ist-Situation ist in Abbildung 8.3 dargestellt. Der durchschnittliche **Wochendurchsatz** an Hauptpositionen, die auf der Baustelle verbaut wurden,



beträgt **485 HPs**, wobei die Füllungsphase des Modells während der ersten 20 Tage Laufzeit nicht berücksichtigt ist. Die **Bestände** innerhalb dieser Stahlbaukette betragen im Durchschnitt **3560 Hauptpositionen** (Betrachtungszeit zwischen dem 60.- und 100. Produktionstag).

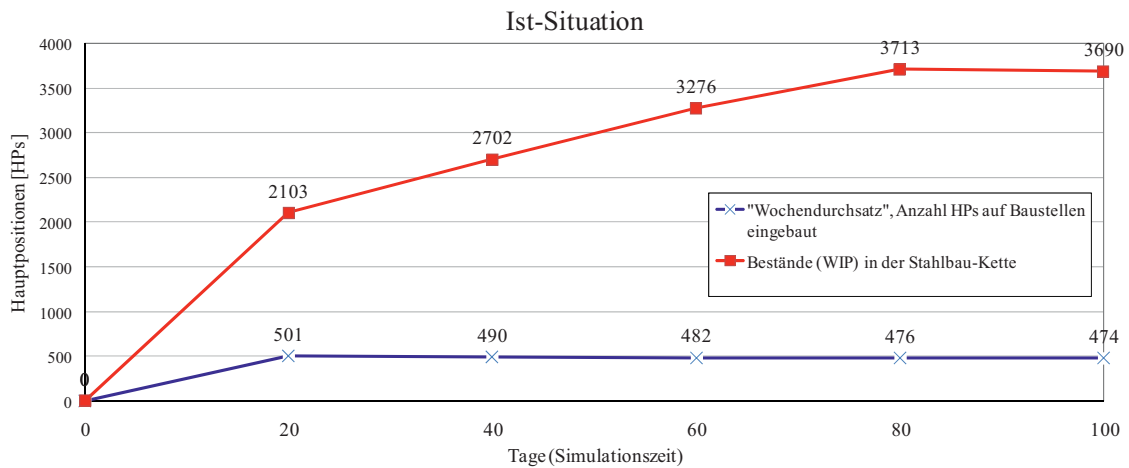


Abbildung 8.3. Durchfluss und Bestände der Ist-Situation

### 8.2.2 Simulation von One-Piece-Flow (1x1-Fluss)

Als erste Experimentvariante wird das Prinzip des „One-Piece-Flow“ (Einflussprinzip) im Modell angewandt (ohne SMED-Workshops). Rother [Rot-‘09] bezeichnet dieses Prinzip als den unerreichbaren Zielzustand von Toyota. Das Prinzip des 1x1-Flusses erzwingt die kleinstmöglichen Zwischenbestände über die gesamte Fertigungskette vom Zuschnitt bis zur Baustellenmontag, indem immer nur ein einziges Teil pro Arbeitsstation bearbeitet wird, und erst bei Anfrage des nachfolgenden Prozesses das Bearbeitungsteil als One-Piece-Flow weitergegeben wird. Die Simulationsmodellierung des 1x1 Fluss-Prinzips findet dadurch statt, dass die Zwischenpuffer auf eine minimale Kapazitätsgrenze reduziert werden (Zuschnittspuffer [3x2 HPs], Heftpuffer [3x2 HPs], Beschichtungspuffer [2 HPs], Versandlager [200 HPs], Baustellenpuffer [2x20 Hauptpositionen = 2 LKW Ladungen]). Die Größe des Wareneingangslagers ist wie im Grundmodell mit 1200 HPs beibehalten, um eine kontinuierliche Materialbereitstellung zu gewährleisten.

Die aus der Literatur erwarteten Ergebnisse sind, neben den geringeren Zwischenbeständen, eine schnellere Geschwindigkeit der Fertigung, d.h. eine Durchsatzerhöhung [Bec-‘06]. Gleichzeitig erklärt Beck, dass die kontinuierliche Fließfertigung höhere Ansprüche an das Material, die

Mitarbeiter und die Maschinen stellt, weil die Beförderung der Zwischenprodukte ohne Zwischenlager erfolgen muss.

Entscheidend bei der ersten Experimentvariante ist, dass das One-Piece-Fluss-Prinzip auf eine bestehende Produktionscharakteristik mit hohen Schwankungen in Bearbeitungs- und Setup-Zeiten angewandt wurde. Es fand zuvor keine Verstetigung der Prozesse statt.

Das Ergebnis aus der Simulation ist in Abbildung 8.4 dargestellt. Der errechnete, durchschnittliche **Wochendurchsatz** an verbauten Hauptpositionen liegt nach der Einführung des „Einfluss-Prinzips“ bei **430 Hauptpositionen**. (Die Füllphase des Modells von 20 Tagen ist hier nicht berücksichtigt). Die **Bestände** innerhalb dieser Stahlbaukette betragen im Durchschnitt **1330<sup>44</sup> Hauptpositionen** (die Betrachtungszeit der Bestände ist bezogen auf die Zeit zwischen dem 60.-und 100. Produktionstag). Dies entspricht einer Verringerung des Durchsatzes auf 89%, und einer Bestandsreduzierung auf 37%.

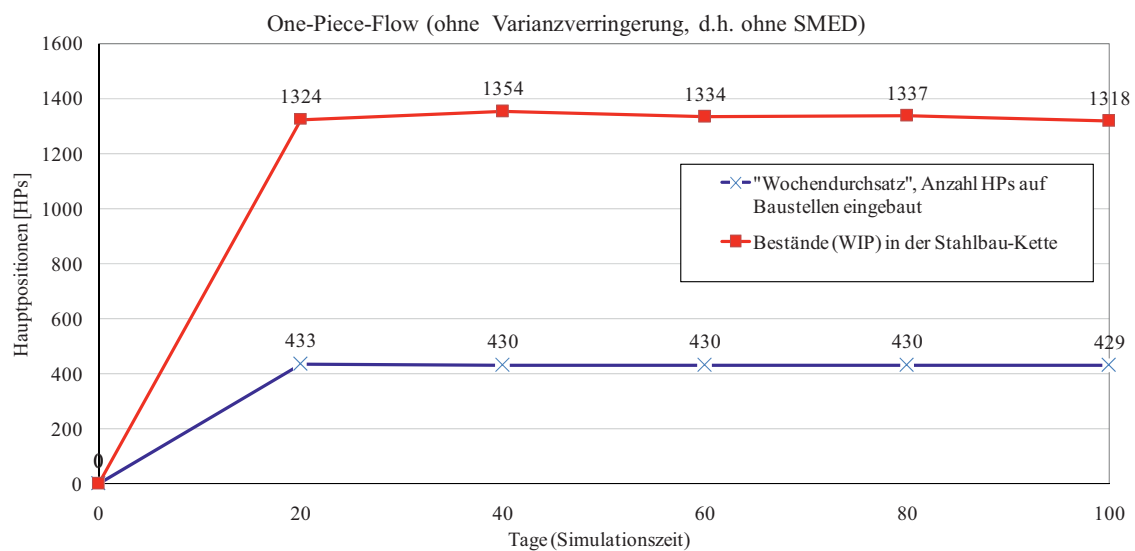


Abbildung 8.4. Durchfluss und Bestände nach Single-Piece-Flow (1x1)

<sup>44</sup> Die Höhe der Bestände (Eingangswarenlager, mit der Kapazität von 1200 Hauptpositionen) ist trotz Ein-Fluss-Prinzip in dieser Größe beibehalten, zur kontinuierlichen Materialversorgung der Stahlbaufertigung.

### 8.2.3 Simulation von SMED-Einführung (Varianz- und Setupverringerng)

Die zweite Experimentvariante simuliert die Einführung von SMED-Workshops, unter der Annahme, dass durch solche Workshops die Schwankungen und die Höhe der Bereitstellungszeiten um 20% verringert werden kann. Die reinen Bearbeitungszeiten (Prozesszeiten) an den Stationen sind aus dem Grundmodell beibehalten. In der Realität bedeutet dies, dass die Spitzenwerte an Bereitstellungszeiten (NVA) auf einen nicht zu überschreitenden Wert beschränkt werden.

Das aus der Literatur erwartete Ergebnis ist eine Verstetigung der Prozesse und ein kontinuierlicher Fluss. Welche quantitativen Auswirkungen die Einführung dieser Methodik auf das Produktionssystem im Simulationsmodell hat, zeigt Abbildung 8.5. Der durchschnittliche **Wochendurchsatz** an verbauten Hauptpositionen beträgt nach der Einführung von SMED-Workshops **622 Hauptpositionen** (die „Modell-Füllungsphase“ von 20 Tagen ist ebenfalls nicht berücksichtigt). Die **Bestände** innerhalb dieser Stahlbaukette betragen im Durchschnitt **2838 Hauptpositionen** (Betrachtungszeit zwischen dem 60.- und 100. Produktionstag, wobei hier die Bestände noch stetig steigen). Dennoch entspricht dies im Modell einer Bestandsreduzierung im Vergleich zur ursprünglichen Ist-Situation, und einer möglichen **Durchsatzsteigerung** der Stahlbauproduktionskette **von 28%**.

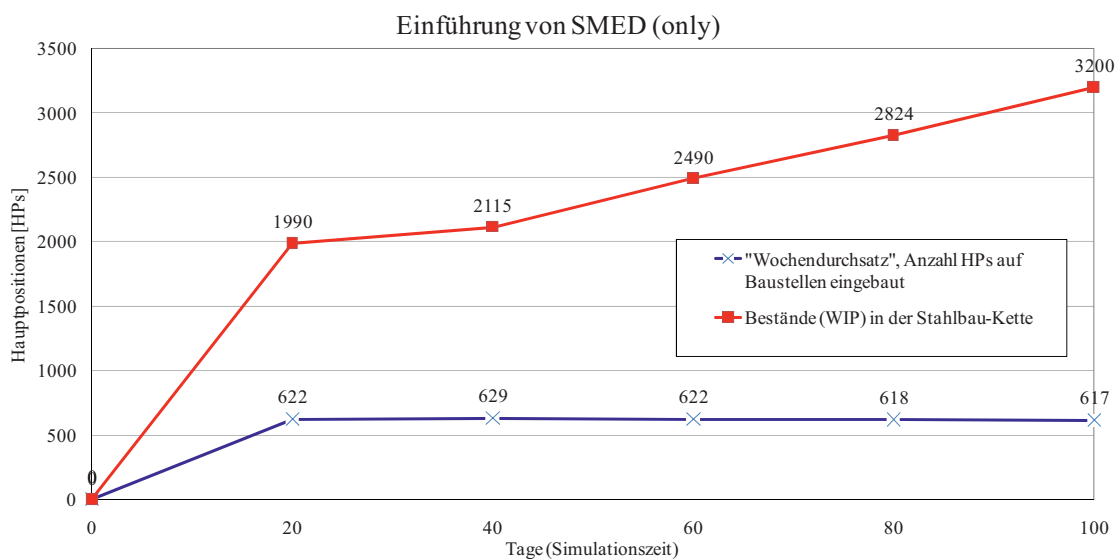


Abbildung 8.5. SMED-Einführung (Varianzverringerng um 20%)

### 8.2.4 Simulation von SMED und 1x1-Fluss

Das dritte Experiment soll die Vorteile beider Prinzipien miteinander verbinden, Schwankungsverringerung und Bestandsreduzierung. Es verfolgt den Grundsatz, zuerst die Prozesse zu verstetigen, dann die Bestände zu reduzieren („lower the water“-TPS-Prinzip) und den Durchsatz zu beschleunigen [Geh-‘06a].

Als Ergebnis ist in Abbildung 8.6 dargestellt, dass der durchschnittliche **Wochendurchsatz** an verbauten Hauptpositionen, nach der Einführung des „Einfluss-Prinzips“ und einer Schwankungsreduzierung und Verringerung der Bereitstellungszeiten durch SMED-Workshops durchschnittlich **590 Hauptpositionen** beträgt (ohne den Einbezug der Modellfüllphase von 20 Tagen). Die **Bestände** betragen dann im Durchschnitt **1464 Hauptpositionen** (Betrachtungszeit zwischen dem 60.- und 100. Produktionstag). Dies entspricht einer Durchsatzsteigerung von 22% und einer Bestandsreduzierung auf 41%.

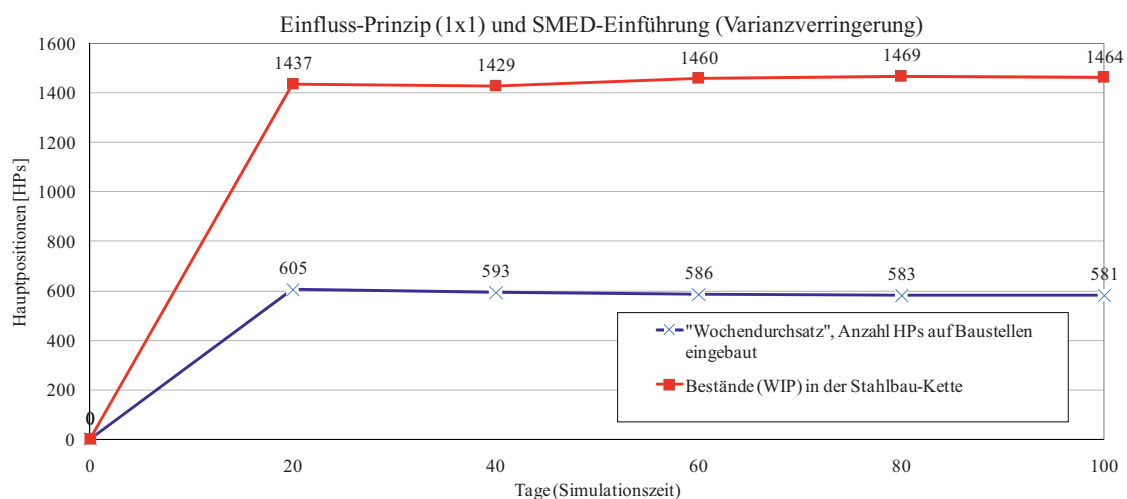


Abbildung 8.6. SMED-Einführung und 1x1-Fluss

### 8.2.5 Simulation von Last-Planner Effekten

Das vierte Experiment soll die möglichen Effekte auf Durchsatz und Bestände durch die Einführung von Last-Planner-Treffen innerhalb der Produktion und zwischen Werk und Baustellenmontage berechnen. Laut Gehbauer sind Produktivitätssteigerungen aufgrund der Verstetigung von Prozessen und Erhöhung der Zuverlässigkeit und Termineinhaltung in Prozessen der Fertigung und Baustellenmontage von 20-30% möglich [Bal-‘00][Bot‘05][Geh-‘08]. Insbesondere die Ergründung von Hindernissen und verbesserte Kommunikation durch die den Abteilungen übergeordneten

Besprechungen führt erwartungsgemäß zu Produktionsverbesserung. Diese Forderung korrespondiert auch mit der aus beiden Organisationsbefragungen hervorgehenden Vermutung der befragten Mitarbeiter, nachdem Engpässe vor allem an organisatorischen Schnittstellen aufgrund schlechter Absprachen vermutet werden.

Innerhalb der Simulation wurden die ursprünglichen gemessenen Werte der Prozesszeiten an jeder Station um 20% verringert, die Bereitstellungszeiten und Schwankungen um 30%.

Als Ergebnis ist in Abbildung 8.7 dargestellt, dass der durchschnittliche **Wochendurchsatz** an verbauten Hauptpositionen, nach der Einführung erfolgreicher Last-Planner-Systematik durchschnittlich **634 Hauptpositionen** beträgt (ohne den Einbezug der Modellfüllphase von 20 Tagen). Die **Bestände** betragen dann im Durchschnitt **2195 Hauptpositionen** (Betrachtungszeit zwischen dem 60.- und 100. Produktionstag). Dies entspricht einer Durchsatzsteigerung von 31% und einer Bestandsreduzierung auf 62%.

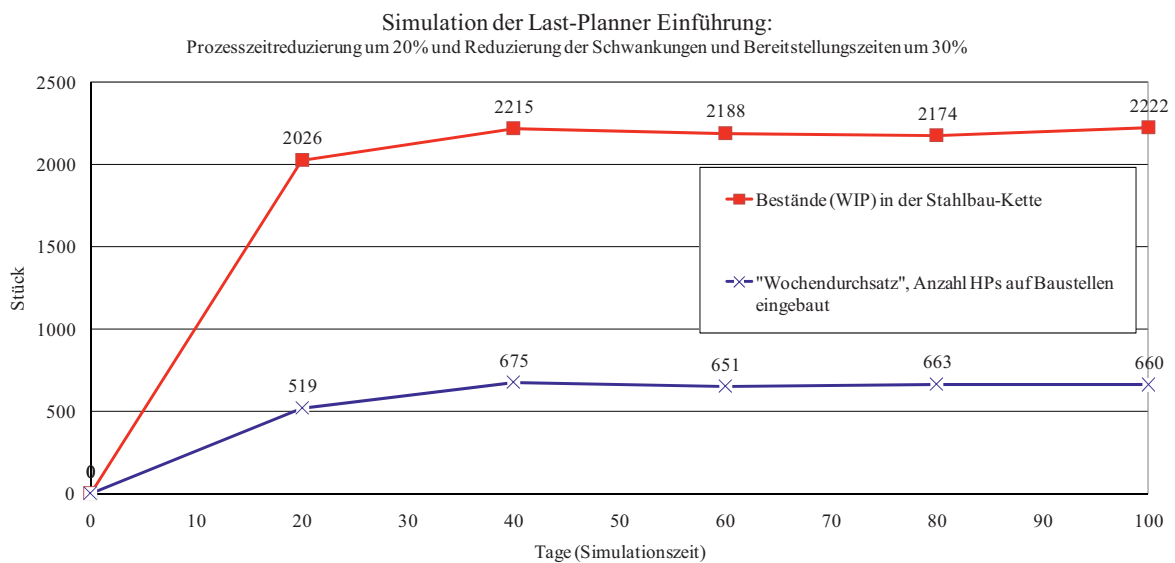


Abbildung 8.7. Last-Planner-Einführung

### 8.3 Auswertung, Vergleiche der Methoden, Ergebniszusammenfassung

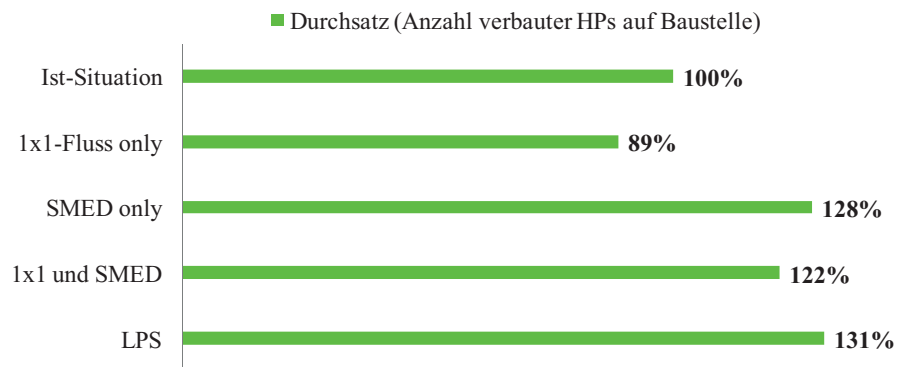
Zusammenfassend ist in Abbildung 8.8 gezeigt, dass eine Durchsatzsteigerung im simulierten Produktionssystem nicht allein durch reine Bestandsreduzierung zu erreichen ist. Im Gegenteil, Bestandsreduzierung nach dem One-Piece-Flow (1x1-Fluss) Prinzip führt aufgrund der bestehenden hohen Schwankungen der Bearbeitungs- und Bereitstellungszeiten zu einer Durchsatzreduzierung

um elf Prozent des ursprünglichen Durchsatzes. Gleichzeitig ist dadurch aber gezwungenermaßen die Höhe der in der Stahlbaufertigung befindenden Bestände (WIP) auf 37% der Ursprungsgröße reduziert, bei gleichbleibender Kapazität des Wareneingangslagers. Das heißt, **zur Durchsatzsteigerung genügt es nicht, das Einflußprinzip (1x1) losgelöst von Verstetigung zu implementieren**, da sich der Produktionsfluss sonst selbst durch die Schwankungsbreite innerhalb der Prozess- und Bereitstellungszeiten blockiert.

Die Einführung von SMED-Workshops führt im System zu einer errechneten Durchsatzsteigerung um 28%, und einer Bestandsreduzierung um 20%. Hinsichtlich der Bestände ist allerdings aufgrund der stetig steigenden Bestandskurve in Abbildung 8.5 zu vermuten, dass die Bestände bei dieser Experimentvariante noch weiter steigen würden.

Unter der Voraussetzung einer erfolgreichen Kombination aus Verstetigung mit Verringerung der Bereitstellungszeiten und der Einführung des One-Piece-Flow-Prinzips könnten gute Ergebnisse hinsichtlich beider Zielgrößen: des Systemdurchsatzes (mit einer Durchsatzsteigerung um 22%) und der Bestände (mit einer Bestandsreduzierung um 59%) erreicht werden. Die Simulation der Hinweise zu Prozessverbesserung aus der Organisationsbefragung ist nur indirekt simulierbar. Hierbei wurde angenommen, dass über eine erfolgreiche Einführung der Last-Planner Systematik die Kommunikation verbessert, die Organisationsschnittstellen Firmenintern und zwischen Werk und Baustelle harmonisiert und dadurch zu Prozessverstetigung und Produktivitätssteigerung führt. Unter der Annahme einer solchen erfolgreichen LPS Umsetzung wären rechnerisch eine Durchsatzsteigerung um 31% und Bestandreduzierungen auf 62% möglich. Die Ergebnisse sind zusammengefasst in Abbildung 8.8 gezeigt.

Ergebnis der Simulationsuntersuchung, Auswirkung verschiedener Lean-Methoden auf den **Durchsatz** in der Stahlbau-Fertigungskette



Ergebnis der Simulationsuntersuchung, Auswirkung verschiedener Lean-Methoden auf die **Bestände** der Stahlbau-Fertigungskette

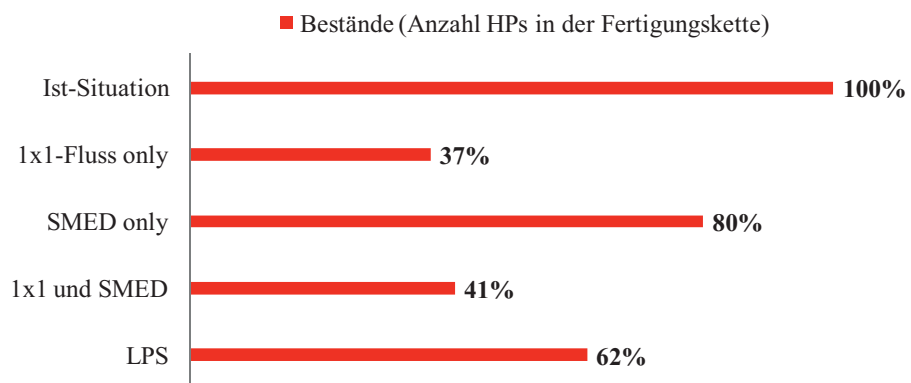


Abbildung 8.8. Übersicht der Simulationsergebnisse

## 9 UMSETZUNG

### 9.1 Typisierte Praxisansätze

Die Analyse und Veränderung von Prozessen wird in unterschiedlichen Berufsgruppen praktiziert, beispielsweise in Unternehmensberatungen, in firmeninternen Verbesserungsabteilungen, oder auch in der angewandten Psychologie. Basierend auf Literatur und freien Interviews mit Personen dieser Unternehmensgruppen lassen sich daraus typisierte Vorgehensweisen ableiten<sup>45</sup>. Durch die geringe Anzahl an Interviews ist die empirische Aussagekraft dieses Kapitels beschränkt, zugleich sind aber die Erkenntnisse dieser Umsetzungsstrategien für die Praxis relevant.

#### 9.1.1 Veränderung und Umsetzung über externe Beratung

Externe Beratung ist eine Möglichkeit, um Produktionssteigerungsprogramme oder neues Wissen in Fertigungs- oder Bauunternehmen einzuführen. Dabei haben Berater normalerweise gegenüber den internen Firmenmitarbeitern den Vorteil, dass sie von den Führungskräften als externe Experten betrachtet werden. Für den Berater selbst besteht durch die an ihn erwarteten Ergebnisse ein Erfolgsdruck unter Zeitrestriktionen.

Aus Gesprächen mit Beratern lässt sich ein typisiertes Vorgehensmuster der Analyse und Prozessverbesserung für kleinere Projekte ableiten (vgl. Abbildung 9.1). Diese Projekte beginnen typischerweise mit einer Analysephase (z.B. eine Woche Messungen/Wertstromanalysen, verbunden mit einem Mitarbeiterworkshop), einer anschließenden Phase des „Machens“, das heißt einer Phase des Umgestaltens und der Veränderung, und abschließend mit der Messung der Veränderungsergebnisse.

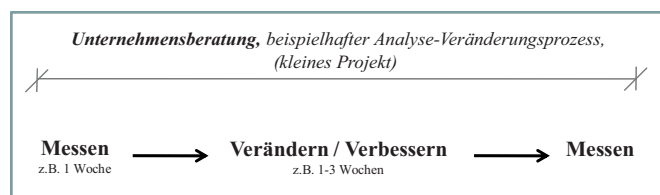


Abbildung 9.1. Typisierte Umsetzung von Verbesserung durch Beratung

Eine Stärke an dieser Vorgehensweise ist die unmittelbare Sichtbarkeit der Ergebnisse und eine schnelle Umsetzung von Veränderungen. Für eine solch schnelle Prozessveränderung fehlt in einem

<sup>45</sup> Die befragten Personen stammen aus den Unternehmen: Daimler, Heller, Porsche, Boston-Consulting-Group, ProLean, Porsche-Consulting; weiterhin wurden drei Psychologen und Psychotherapeuten befragt.



Fertigungsunternehmen (ohne externe Beratung) oft die Dynamik, oder es besteht für die Mitarbeiter nicht genügend Handlungsnotwendigkeit oder Hindernisse innerhalb der eigenen Organisation, um die dafür nötige Energie und Motivation aufzubringen.

### 9.1.2 Umsetzungsansätze bei firmeninternen Verbesserungsabteilungen

Ab einer bestimmten Unternehmensgröße leisten sich Konzerne eigene Rationalisierungsteams, die meist den Stabsabteilungen angegliedert sind. Diese sind für mehrere Werke mit der Aufgabe beauftragt, bei leistungsschwächeren Sektoren jeweils als Expertenteam eine bestimmte Zeit (einige Monate) unterstützend und verbessernd einzugreifen. Ein typisches Vorgehen gliedert sich hier in die drei Abschnitte: 1) die Diagnose, 2) einer Zeit des Ausprobierens, zum Beispiel verschiedene Varianten der Veränderung, 3) eine Messungs- und Stabilisierungsphase, dargestellt in Abbildung 9.2.

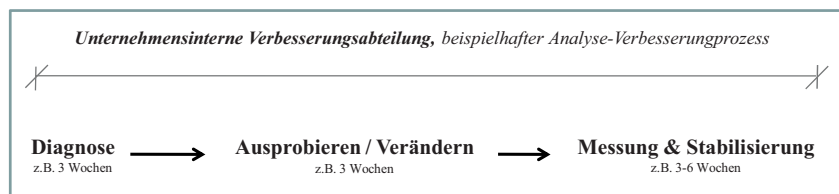


Abbildung 9.2. Typisierte Umsetzung durch interne KVP-Abteilungen

Der Unterschied zwischen 9.1 und 9.2 liegt vor allem in der Zeitdauer der Projekte, und dem zusätzlichen Schwerpunkt auf der Stabilisierungsphase. Außerdem kann bei gleicher Firmenzugehörigkeit gegebenenfalls eine höhere Akzeptanz der Firmenmitarbeiter gegenüber den Verbesserungsvorschlägen der firmeninternen Berater vorhanden sein. Ein weiterer Vorteil der Umsetzung mit internen Verbesserungsabteilungen ist, dass das Wissen innerhalb des eigenen Unternehmens bleibt, und dadurch auch Lernzyklen leichter entstehen.

### 9.1.3 Umsetzungs- und Veränderungsansätze aus der angewandten Psychologie

Die Betrachtung der Psychologie in direktem Zusammenhang mit der Analyse und Verbesserungsimpementierung von Lean-Methoden in Fertigungs- und Bauunternehmen erscheint zunächst fremd, dennoch haben die Bereiche einiges gemeinsam. Es handelt sich jeweils um ein komplexes dynamisches Umfeld (Psyche-Mensch; Produktion-Organisation), und es geht in beiden Fällen darum, die relevanten Punkte zu erkennen, die derzeitig die Weiterentwicklung und Verbesserung behindern. Die Komplexitätsbetrachtung ist von ähnlichen Phänomenen geprägt, da an

jedem Produktionsprozess auch Menschen als Arbeitskräfte mit ihrer psychischen Struktur und Vielseitigkeit vorhanden sind, die maßgeblich die Produktivität des Produktionsflusses mitgestalten. Die klientenzentrierte Gesprächstherapie (GT), die Verhaltenstherapie (VT) und die Transaktionsanalyse sind dabei psychotherapeutische Techniken, die auf unterschiedliche Art und Weise Verbesserungs- und Veränderungspotentiale erkennen lassen. In der Transaktionsanalyse geschieht dies zum Beispiel durch die Betrachtung von Transaktionen, das heißt sowohl das Handlungsumfeld umfassend, als auch die Beziehungen und Tiefenschichten der Persönlichkeit [Rog-'01][Dör.et.al-'07].

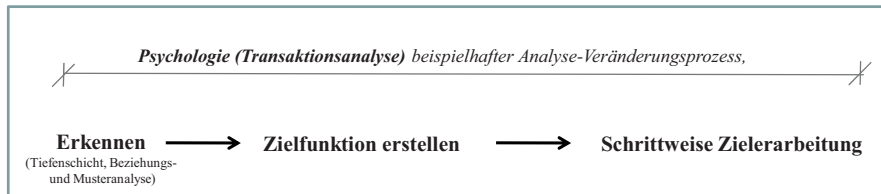
In der klientenzentrierte Gesprächstherapie (GT) unterliegen die Personen einem Prozess des Werdens, des Wachsens und des Geschehens [Rog-'01]. Die Aufgabe des Psychotherapeuten ist es, soweit wie möglich den inneren Bezugsrahmen des Klienten wahr- und anzunehmen, und die Welt so zu sehen, wie der Klient sie sieht [Dör.et.al-'07]. Dörner stellt fest, dass klientenzentrierte Psychotherapeuten oft kritisch hinterfragt wurden, „*wie sie vom Wahrnehmen zum Wahrmachen von Änderung kommen könnten*“, da doch das therapeutische Geschehen allein auf das Gespräch ausgerichtet sei. Dem wird entgegengestellt, dass *in jedem Wahrnehmen bereits ein Handlungsansatz enthalten sei*, denn sonst sei nach Dörner nicht *wahrgenommen* worden [Dör.et.al-'07].

Ähnliches gilt auch für die Verhaltenstherapie (VT), die eine enge Beziehung zur Lernpsychologie und zur Sozialpsychologie aufweist. In der Entwicklung der Verhaltenstherapie (VT) bewegt man sich immer von der Kontrolle der Bedingung hin zum Verfahren der Selbstkontrolle [Dör.et.al-'07]. VT ist nicht mehr nur das manipulierende Handeln eines Psychotherapeuten am Objekt. Verhaltenstherapeuten gehen vielmehr dazu über, Hilfe zur Selbsthilfe zu leisten, indem sie Klienten ein Mittel an die Hand geben, Handlungsweisen bei sich zu beobachten und zu ändern<sup>46</sup>. Das heißt im Verlauf des therapeutischen Prozesses folgt dem Wahrnehmen auf jeden Fall ein Wahrmachen [Dör.et.al-'07].

Gesprächen mit Psychologen zufolge besteht ein typischer psychologischer Veränderungsprozess aus den folgenden drei Elementen: 1.) dem Erkennen, 2.) dem Erstellen einer Zielfunktion durch den Klienten/Kunden, und 3.) einer schrittweisen gemeinsamen Zielerarbeitung, dargestellt in Abbildung 9.3.

---

<sup>46</sup> Übertragen auf Produktionsunternehmen könnte ein solches „Mittel“ ein Kennzahlensystem darstellen.



**Abbildung 9.3. Typisierte Veränderungsumsetzung in der Psychologie**

Innerhalb dieses Vorgehens der Analyse und der Umsetzung des Veränderungsprozesses, ist es wichtig, *dass der Kunde selbst nach einer Veränderung sucht und diese möchte*. Das heißt, der Klient muss durch ein reflektiertes Erkennen seiner Situation dazu kommen, sich eine Zielfunktion zu erstellen. Anschließend findet gemeinsam mit dem Ratgeber schrittweise der Erarbeitungs- und Veränderungsprozess auf das gewählte Ziel hin statt. Die Motivation, und das Finden eines Lösungsweges dazu, müssen vom Klienten stammen. Als wesentlicher Erfolgsfaktor ist demnach nicht die Aufgabe des Therapeuten, die Lösung zu präsentieren, sondern die richtigen Fragen zu stellen, sich selbst zurückzustellen, und den Kunden die Situation reflektiert wahrnehmen zu lassen. Vereinfacht ausgedrückt wird der Kunde mittels Fragen dazu geleitet, selbst die beste Lösung zu finden.

Diese Wissensübertragung aus den psychologischen Techniken auf Produktions- und Logistikprozesse liefert interessante Ansätze bezüglich der Nachhaltigkeit bei der Findung und Implementierung von Prozessverbesserung. Stark hierarchisch geprägte Unternehmen fördern nicht die Handlung des Lösungssuchens auf der jeweiligen Prozessebene, da die Eigenverantwortung und das Erbringen von Verbesserungsvorschlägen bei Mitarbeitern niedrigerer Hierarchieebenen sehr reduziert sind. Dadurch geht im Unternehmen ein wesentlicher Erfolgsfaktor verloren, bezüglich der Ausschöpfung des Potentials, das in jedem Menschen steckt. Die Last-Planner Systematik ist ein mögliches Hilfsmittel, um über kooperative Phasenplanung, regelmäßige Lernzyklen und Zuverlässigkeitserfassung dieses Potential aufzunehmen.

Als Kernaussage für die Verbesserungsumsetzung bedeutet dies, dass **dort, wo Verbesserung entstehen soll, das Problem von den dortigen Personen aufgegriffen, verstanden, wahrgenommen und gelöst werden soll, und dem Mitarbeiter dazu die Anreize, Befugnisse und Fähigkeiten geboten werden**. Dann kann organisationspsychologisch echte Veränderung entstehen. Dies ist der Sinn des Organisationsbefragungsmodells mit der direkten Rückkopplung der Ergebnisse und des Benchmarkergebnisses an die Befragungspersonen. Zusätzlich durch die Verknüpfung mit den Prozessdetails mit den Erkenntnissen der Befragung sollen die Befragten mit Hilfe der Verknüpfungsmatrix erkennen, welche Stellen des Produktionssystems wie verbessert werden können. Wenn allerdings die Analyseperson den Mitarbeitern eines Unternehmens sofort die Lösung

präsentiert, so findet keine längerfristige Veränderung statt. Der Kunde/Mitarbeiter muss vielmehr durch die richtigen Fragen selbst angeregt werden, (und eigenes Wollen beisteuern), um Lösungen zu finden.

## 9.2 Umsetzungsvorschlag für den Stahlbau

Basierend auf dem methodischen Ansatz der Forschungsarbeit und den gewonnenen Erkenntnissen wird ein Handlungsvorschlag erarbeitet, wie und in welcher Reihenfolge Lean-Methoden in der Einzel- und Kleinserienindustrie des Stahlbaus eingeführt werden könnten. Nach Ansicht des Verfassers sind die folgenden fünf Punkte auch auf andere Betriebe anwendbar. Als Handlungsempfehlung ist gegeben:

1. *Die Durchführung des entwickelten Organisationsbefragungsmodells und der Prozessdetailmessungen der gesamten Fertigungskette über mehrere Arbeitszyklen.* Durch eine solche Studie sind neue Erkenntnisse über den jeweiligen Produktionsfluss erhältlich, über die Prozess- und Setupvarianzen sowie Informationen über aktuelle Bestände, und mit der Formel zur Berechnung der relativen Vorbestandswartezeiten sind die Engpässe im Produktionsfluss ermittelbar.
2. *Die Einführung eines Kennzahlensystems zur Visualisierung der Ist-Situation.* Dadurch wird nicht nur Leistung sichtbar, sondern es kann auch Produktionssteuerung über die Fertigungskette ermöglicht werden, insbesondere über die Schnittstelle zwischen Fertigungswerk und Baustelle. Gleichzeitig zeigt das entwickelte 3-Ebenen-Kennzahlensystem auch die aktuellen Entwicklungstrends von Produktivität und Qualität auf.
3. *Die flächendeckende Durchführung von SMED-Workshops mit Mitarbeitern vor Ort.* Dies ist der Schlüssel, um die aus (1.) erhaltenen Ergebnisse zu nutzen, Prozessvarianzen zu reflektieren, und gemeinsam nach Lösungen zur Verringerung der Setup-Zeiten und zur Verstetigung des Produktionsflusses zu suchen. Die Simulationsstudien dieser Forschungsarbeit zeigten, dass Verstetigung rechnerisch die höchsten Auswirkungen auf Durchsatzsteigerung im aktuell gemessenen Produktionssystem hat. Zugleich sind mit SMED-Workshops geringere Kosten verbunden als mit Maschineninvestitionen, und die Resultate sind schnell sichtbar. Gelingt die SMED-Umsetzung, so erhöht sich die Steigung der jeweiligen Leistungskurve.
4. Sind die Mitarbeiter nach einiger Zeit daran gewöhnt, dass Leistung und Qualität über die ganze Prozesskette visualisiert und gemessen wird, so können *zusätzliche Anreize zur weiteren Verbesserung des Produktionsflusses geschaffen werden*, beispielsweise durch zusätzliche

Belohnungen, Anerkennung und Verantwortung<sup>47</sup>. Ziel dabei ist, dass kontinuierliche Verbesserung nicht als Wasserfallprinzip entsteht, sondern als Selbstläufer-mechanismus.

5. Erst *im Anschluss an Prozessverstetigung sollten Zwischenbestände reduziert werden* („lower-the-water“-Prinzip), und möglichst mit nivellierter und getakteter Produktion kombiniert werden. Hierbei ist auch die Standardisierung von Materialien und Einzelteilen sinnvoll einsetzbar, und es werden viele weitere Verbesserungsmöglichkeiten des Produktionssystems aus den Ideen der Mitarbeiter entstehen können, sofern die Anreize und Freiräume dazu geschaffen werden.

### **9.2.1 Technische Unterstützungswerkzeuge zur Umsetzung**

Innerhalb der Forschung sind in Kapitel 3.2.5 das Shop-Floor-Management (SFM) und in Kapitel 3.2.6 der Baustellenleitstand (COB) vorgestellt. Diese bilden praktische Werkzeuge, um dezentral Prozesse zu visualisieren und eine „pull“-Produktionssteuerung an der Fertigungsbasis zu betreiben. Dazu sind keine wesentlichen Hardware- oder Softwarekomponenten erforderlich, aber die Kommunikationskonzepte müssen auf die Realität des jeweiligen Unternehmens adaptiert werden. Dabei gilt derselbe Entwicklungsgrundsatz wie bei der Erstellung des Kennzahlensystems: der potentielle Gewinn durch SFM oder COB muss größer sein, als die Aufwandssumme aus deren Entwicklung, Umsetzung und Auswertung (vgl. 6.3.1).

Insbesondere zur Koordination der Schnittstelle zwischen Fertigungswerk und den Baustellen ist die Kommunikationssystematik des Last-Planner-Systems vorgeschlagen. Ungewissheiten aufgrund von Wetter, Bodenbedingungen oder anderen unvorhersehbaren Faktoren bestehen auf der Baustelle immer. Um mit solchen Ungewissheiten besser umzugehen, hilft die flexible Methodik und systematische Zusagenaktualisierung durch Last-Planner-Sitzungen, die auch als wöchentliche Telefonkonferenzen zwischen Werk und Baustellen stattfinden können. Bei einer Fertigungszeit von einer Woche muss das Werk wissen, ob die Hauptpositionen für einen Bauabschnitt tatsächlich in der vereinbarten Woche benötigt werden, oder ob sich der Bauablauf verzögert, und die Fertigung das Stahlteil später produzieren kann. Durch das systematische Ergründen der Abweichungen zwischen bestellten Terminen und Abrufterminen werden Prozesse verstetigt, wodurch die Bestandspuffer in der gesamten Stahlbaukette reduziert werden können.

Barcodes bilden technische Unterstützungswerkzeuge, die innerhalb dieser Forschungsarbeit nicht explizit behandelt sind, da sie bisher noch nicht für Stahlprodukte und Beschichtungsvorgänge in

---

<sup>47</sup> Nach Ansicht des Verfassers ist es absolut notwendig, dass Leistungsmessung zu Beginn nicht an monetäre Anreize gekoppelt wird, oder geringe Leistung bei Mitarbeitern zu Gehaltskürzungen führt. Dies würde Unruhe und Negativeffekte in das Produktionssystem zu einem Zeitpunkt einbringen, an dem es zunächst wichtig ist, die Ist-Situation richtig aufzunehmen, und zu verstehen, warum die Produktion so abläuft, wie sie abläuft, und mit welchen Schwankungen.

Deutschland marktreif sind. Eine Kombination von Barcode-Tracking, mit einer geeigneten Produktionssteuerung und einem Konzept einer einfachen Auswertungsmethodik der Informationen, kann aber auch im Stahlbau sinnvoll genutzt werden, beispielsweise um zu wissen, welche Baumodule sich wann und wo befinden, um dadurch Suchzeiten zu reduzieren.

### 9.2.2 Erfolgsfaktoren und Hemmnisse

Bei der Durchführung von Prozessdetailmessungen ist die Akzeptanz der Analyseperson durch die Mitarbeiter wichtig. Entscheidend bei dieser Forschung war, dass in beiden Fallstudien diese Produktionsanalyse direkt durch die Werksleitung genehmigt und betreut wurde, und damit hohe Priorität erhielt. Zusätzlich war es günstig, als externe Analyseperson mit wissenschaftlichem Hintergrund eine solche Studie durchzuführen. In diesem Fall ist die Analyseperson den Mitarbeitern unbekannt, und zugleich kann ein wissenschaftliches Interesse hinter der Studie kommuniziert werden, wodurch die Angst der Mitarbeiter vor Rationalisierungs- und Kosteneinsparungsprogrammen verringert wird.

Basierend auf Diskussionen innerhalb der Unternehmensfallstudien mit Werksleitern sind die entscheidenden **Erfolgsfaktoren** für ein funktionierendes Kennzahlensystem und der Umsetzung von Lean-Methoden zur Prozessverbesserung im Folgenden aufgeführt:

Der erste Erfolgsfaktor ist, dass das Kennzahlensystem den Kriterien der **Einfachheit, Verständlichkeit und Wertschöpfung**, mit geringstmöglichem Aufwand und höchstmöglicher Aussagekraft entspricht. Bei der Datenerfassung gilt der Grundsatz, dass nur die Information kommuniziert und gemessen wird, die auch realen Mehrwert erbringt.

**Disziplin und konsequente Umsetzung auf der ganzen Werksebene** bildet den zweiten Erfolgsfaktor. Im Fall der Einführung eines Kennzahlensystems ist die Frage, ob dies auf der ganzen Werksebene getragen durch das Management stattfindet? Eine konsequente Umsetzung und Verfolgung des eingeschlagenen Führungsstils umfasst dann alle Mitarbeiter gleichermaßen, es gibt also keine ausgenommenen Mitarbeiter, und dadurch weniger Diskussionspotential unter den Mitarbeitern. Die konsequente Durchführung erfordert ein Vorbildverhalten der Führungspersonen, und ein diszipliniertes Einfordern und positives Hinterfragen der zu erhebenden Kennzahlen.

**Gute Kommunikation** durch aktiven Einbezug der Mitarbeiter ist ein weiterer Erfolgsfaktor. **Mitarbeiter von Unternehmen, die Handwerksbetrieben entspringen, kennen systematische Leistungsmessungen in der Regel nicht.** Bei den Produktionsflussanalysen innerhalb der Fallstudien erregte zunächst die Thematik von Kennzahlen große Abwehrhaltung bei den Mitarbeitern, mit der Furcht vor der Einführung von Akkordarbeit oder REFA-Vergütung. Wichtig

ist hier die klare Kommunikation, dass Kennzahlen zur Verbesserung des Produktionssystems als Ganzes dienen, und nicht die Produktivität des Mitarbeiters, wie zu Zeiten Henry-Fords, optimiert werden soll. Die Einführung eines Kennzahlensystems darf nach Meinung des Verfassers daher nicht an Lohnkürzungen gekoppelt werden. Gleichzeitig ist die bewusste Zielsetzung eines Kennzahlensystems, dass Leistung sichtbar wird. Dies ist positiv! Jeder Mitarbeiter hat ein Recht darauf zu wissen wie „gut“ er arbeitet<sup>48</sup>, und kann dafür auch zusätzlich entsprechend belohnt werden, durch Anerkennung, zusätzliche Verantwortung und gegebenenfalls monetäre Anreize. Dass die Darstellung der Kennzahlen anhand von Shop-Floor-Management-Tafeln und monatlichen Ergebnisbesprechungen die Produktion stark verbessert, zeigen viele Beispiele aus Fertigungsbetrieben der Automobilindustrie. Ohne Leistungskennzahlen, das heißt ohne Beachtung der Leistung des einzelnen Mitarbeiters, besteht die Gefahr, dass nur negative Kommunikation stattfindet, dem Prinzip folgend, dass gute Leistung keine Beachtung findet, aber Fehler zu Tadel und Bestrafung führen<sup>49</sup>. Demnach hat jeder Mitarbeiter ein Recht darauf, seine am Gesamtsystem teilhabende Leistung zu erfahren.

**Erfolgsfaktor vier bildet ein klar kommuniziertes Anreiz- und Zeitkonzept hinsichtlich der sinnvollen Nutzung frei werdender Arbeitszeit**, entstehend durch verbesserte Materialflusssteuerung. Sinnvoll ist, dass Mitarbeiter attraktive Anreize erhalten, um beispielsweise die frei werdende Zeit für Weiterbildungsprogramme oder SMED-Workshops zu nutzen, die als Belohnung, nicht als Strafe erlebt werden. Der Mitarbeiter muss wissen, dass er für eine bessere Arbeit belohnt wird, und dass dies auf keinen Fall zu Mitarbeiterentlassung führt. Ohne diese Sicherheit findet keine aktive Partizipation der Mitarbeiter an der Verbesserung des Produktionssystems statt.

**Als Hemmnisse sind** aus Erfahrungen der Unternehmensfallstudien technische und monetäre Hindernisse wesentlich geringer einzustufen, als die Abwehrhaltung der betroffenen Mitarbeiter, insbesondere wenn diese schon lange im Unternehmen beschäftigt sind, und das Unternehmen sich in keiner Notlage des Handlungsbedarfs befindet. Wie können Mitarbeiter dann dazu gebracht werden, ihre Gewohnheiten zu überdenken, und sich mit einer weiteren Verbesserung des Produktionssystems zu identifizieren? Solange die Ziele, Konditionen und Vorgehensweisen bei der

---

<sup>48</sup> Kommentar eines Zusammenbauers, nachdem der Verfasser 2 Stunden den Produktionsfluss seines Hefistandes gemessen hatte: „**jetzt will ich aber auch wissen, wie gut ich war!**“... der Arbeiter hatte sichtlich gut gearbeitet und war überzeugt von seiner Leistung. Aufgrund der Personenanonymität der Erhebung durfte ihm sein Ergebnis dennoch nicht mitgeteilt werden.

<sup>49</sup> Zitat eines Betriebsrates bei der Ergebnispräsentation innerhalb der Fallstudien: „Ich selbst habe 20 Jahre als Schweißer gearbeitet, und nie wusste ich, ob ich heute gut oder schlecht gearbeitet habe. Nie wurde ich gelobt. Nur wenn ich Fehler machte, dann bekam man Ärger. Führen Sie ein solches System ein!“

Einführung und Umsetzung von Prozessverbesserung nicht klar definiert sind, und die Arbeitsplatzsicherheit und Lohnkonditionen nicht gefestigt sind, besteht eine berechtigte Abwehrhaltung der Mitarbeiter. Sind alle diese Faktoren erbracht, so wird nach Ansicht des Verfassers die Werksleitung bei der Umsetzung von Prozessverbesserung dennoch Abwehrhaltung erfahren. Trotz aller genannten Vorteile werden Mitarbeiter eines Einzelfertigungsbetriebes die Einführung von Visualisierungstafeln, Kennzahlen und Rüstzeitworkshops zunächst als Kontrolle und Eingriff in ihre Freiheiten empfinden, worin teilweise die versteckte Angst der persönlichen Beurteilung zu interpretieren ist. Dies löst Abwehrreaktionen aus. Rationelle Argumente wie „es geht um die gemeinsame Verbesserung des ganzen Produktionssystems“ bewirken dann wenig. Zum Verständnis dieser Reaktion und zum Überwinden dieses Hindernisses hilft Goldratts Argumentationskette des Veränderungsprozesses (vergleiche Kapitel 3.1.2 [Gol-‘91]:

„Jede Verbesserung ist eine Veränderung. Das führt dazu, dass jede Veränderung als eine Gefahr der eigenen Sicherheit empfunden wird. Das führt dazu, dieser Gefahr mit einer emotionalen Abwehrreaktion aus Angst zu begegnen. Emotioneller Widerstand kann jedoch nicht durch rationale Argumente, sondern nur durch eine noch stärkere Emotion überwunden werden (= die Emotion des Erfinders).“

Im Folgenden Kapitel 10 sind nochmals die Ergebnisse der Forschungsarbeit zusammengefasst, und die Hypothesen validiert.



# 10 Ergebnisse

## 10.1 Ergebnisüberblick

Zur übersichtlichen Darstellung sind die Ergebnisse in Abbildung 10.1 als Ergebnismatrix aufgezeigt und nach dem Grad der Praxisrelevanz und der Forschungsrelevanz geordnet. Diese Einteilung ist auf den Erfahrungen aus den Fallstudien begründet, sie enthält aber auch die subjektive Einschätzung des Verfassers. Als Ergebnisse der Forschungsarbeit entstanden sowohl neue Erkenntnisse, als auch ein Kennzahlensystem und Umsetzungsansätze, die produktartig unmittelbar in Beratungs- und Produktionsunternehmen eingesetzt werden können.

Ergebnismatrix der Forschungsarbeit:

		Praxis-Relevanz		
		gering	mittel	hoch
Wissenschafts- und Forschungs-Relevanz	gering		<b>VERBESSERUNG DURCH «LEAN», LITERATURANALYSE</b> Lean-Production und Lean Construction, Gegenüberstellung Taktzeit und LPS Kapitel 2 und 3 Validierung: Literatur	<b>UMSETZUNG</b> Handlungsansätze aus der Psychologie und Praxis Kapitel 9 Validierung: Literatur, Interviews
	mittel	<b>SIMULATION</b> 1.SMED 2. 1x1-Fluss, 3. LPS Kapitel 8 Validierung: Daten, Fallstudie 2	<b>BEFRAGUNGSMODELL</b> Untersuchung des Unternehmenskontextes mit dem Produktionssystem Kapitel 6 und 7, Validierung: Fallstudien & Literatur	<b>KENNZAHLENSYSTEM</b> Zur Gesamtflusssteuerung der Stahlbaukette Kapitel 6 Validierung: Delphi
	hoch		<b>DETAILPROZESSANALYSE, MUSTER IM PRODUKTIONSFLUSS</b> Fließbilder (Stückzahlfluss, Massenfluss, Leistungskurven), Engpassberechnungsmethodik Kapitel 7, Validierung: Fallstudien 1,2	

Verknüpfungs-Matrix

Abbildung 10.1. Ergebnismatrix

Im Folgenden sind die Inhalte der Ergebnismatrix dem strukturellen Aufbau der Forschungsarbeit entsprechend erklärt.

**1. Ergebnisse aus der Literatur zur Thematik der Prozessanalyse und Prozess-verbesserung durch Methoden aus Lean-Production und Lean-Management im Bauwesen:** Neu innerhalb dieser Literaturstudie ist die erste klare Gegenüberstellung von Lean-Production und Lean-Construction, hinsichtlich Theoriekonzepten und Anwendungsmethoden. Dazu zählt auch die aktuelle Theorieerfassung des Flussmodells, abgeleitet aus dem prozessorientierten TFV<sub>p</sub>-Konzept. Hierbei sind neue Parallelen und Unterscheidungsmerkmale des Last-Planner-Systems (LPS) und des Taktzeitmodells erstellt. Beide Ansätze finden Anwendung innerhalb des in Kapitel 6 entwickelten Konzeptes zur Produktionssteuerung mittels Kennzahlen. Vorstudien zeigen, dass in Produktionsunternehmen der Einzel- und Kleinserienfertigung im Stahlbau diesbezüglich nahezu kein Fachwissen vorhanden ist.

Aus der Literatur und den Industrie-Vorstudien geht zudem hervor, dass bestehende Kennzahlen nicht ausreichend sind, um Veränderung und Verbesserung von Produktionsprozessen dieser Einzelfertigungsbetriebe zu visualisieren. Auch Qualitätsverbesserungskennzahlensysteme gibt es hier bisher nicht. Ohne Visualisierung und Messung können jedoch Verbesserungseffekte durch die Einführung von Lean-Management nicht erkannt und nicht bewertet werden.

**2. Praxisergebnis zur Verbesserung der Gesamtflusssteuerung im Stahlbau: Ein dreigliedriges Kennzahlensystem** wurde mit dem Ziel entwickelt, anhand von Kennzahlen die Organisationseinheiten inklusive Baustellenmontageteam am Fluss des Produktionsprozesses auszurichten. Die erste Ebene dient der Gesamtflusssteuerung nach dem „pull“-Prinzip mit MOAB-Steuerung. Verbesserung der Zuverlässigkeit und der Verstetigung des Produktionsflusses an der Schnittstelle zwischen der Stahlbaufertigung (Werk) und Baustellenmontage kann mit Hilfe der Last-Planner-Systematik und des Taktungsprinzip über diese Kennzahlen gesteuert werden. Die zweite Ebene umfasst die direkte Leistungsmessung des Produktionsprozesses an den einzelnen Arbeitsstationen. Die dritte Kennzahlenebene fokussiert auf der Fehlerfindung und der kontinuierlichen Qualitätsverbesserung. Wie, und nach welchen Entwicklungskriterien die richtigen Indikatoren zu entwickeln sind, ist am Beispiel der Heft- und Schweißstände erklärt.

Argumentierend auf Messdaten mehrerer Prozesszyklen gibt die Leistungskennzahl [Anzahl Verbindungen / Stunde] an den Heftständen besser die reale Arbeitsleistung wieder, als die herkömmliche Kennzahl [Tonnen / Stunde]. Für Schweißstände ist die realistischere Kennzahl [Schweißnahtfläche / Stunde]. Ohne Visualisierung durch Detailmessung oder Kennzahlenermittlung können Prozessschwankungen und hohe Setup-Zeiten an diesen Fertigungsstationen nicht reduziert werden, und eine leistungsbezogene Produktionsplanung ist nicht möglich. Die technische

Umsetzungsmöglichkeit für ein solches Kennzahlensystem kann dezentral über Shop-Floor-Management-Boards stattfinden. Validiert wurde das Konzept innerhalb des Forschungsrahmens über zwei Praxisworkshops und über Expertenfeedback innerhalb der Fallstudien (Delphi-Methode). Dieses Ergebnis ist als sehr praxisrelevant eingestuft, da alle der besichtigten Unternehmen nicht an Simulationsstudien oder einer Produktionsanalyse Interesse zeigten, sondern an der Erarbeitung eines solchen Kennzahlensystems.

**3. Ein Organisationsbefragungsmodell ermöglicht qualitativ-empirische Einblicke in Organisations- und Produktionszusammenhänge:** Bereits in der Forschungshypothese ist erklärt, dass Lean-Methoden nicht als losgelöste Techniken universell implementierbar sind. Die jeweilige Unternehmenskultur hat große Einwirkungen auf die Agilität bezüglich der Veränderungsresistenz, und der Bereitschaft von Mitarbeitern, nach Prozessverbesserung des Produktionssystems zu streben. Zur Analyse der Zusammenhänge zwischen dem Unternehmenskontext und dem Produktionssystem entstand als Ergebnis ein Organisationsbefragungsmodell. Dieses besteht aus 12 Befragungspunkten mit offenen und geschlossenen Fragen, sowie einem kurzen Strategiespiel. Die entwickelte, standardisierte Analyseform dient zur empirischen Untersuchung der Themen des Unternehmenskontextes, der Strategie, Unternehmensperspektive, Werte, Leistungsmessung, sowie der vermuteten Engpässe, Verschwendung und KVP. Das Befragungsmodell ist als online-Version unter [www.stahlbauanalyse.de](http://www.stahlbauanalyse.de) abrufbar. Die Befragungsperson erhält am Ende des Fragebogens automatisch ausgewertet sofort das persönliche Befragungsergebnis und den anonymisierten Benchmark der anderen Gruppenteilnehmer. Als empirische Mindestgröße für das Benchmarkergebnis sind fünf Teilnehmer notwendig. Die Validierung des Befragungsmodells, und die daraus resultierenden inhaltlichen Ergebnisse der Zusammenhänge zwischen Organisation und Produktion, finden innerhalb der beiden Fallstudien statt (Kapitel 7).

Drei Organisationskennzahlen sind daraus abgeleitet: die Handlungsnotwendigkeit für Veränderung, die zu erwartende organisatorische Resistenz gegen Veränderung und die Homogenität/Heterogenität der Mitarbeiterperspektiven.

Das Organisationsbefragungsmodell ist vor allem für Einzelfertigungsbetriebe und Kleinserienfertiger geeignet, da ein sehr geringer Kostenaufwand, und zugleich maximaler Output hinsichtlich der Erfassung verschiedener Mitarbeiterperspektiven und deren Ideen entstehen können. Wissenschaftlich relevant und neu daran ist, dass die empirisch-qualitative Organisationsbefragung parallel mit den quantitativen Prozessdetailmessungen eines gesamten Produktionssystems durchgeführt wird, und damit eine ganzheitliche Betrachtung darstellt, die innerhalb der Verknüpfungsmatrix stattfindet.

#### 4. Ergebnisse aus den detaillierten Produktionsflussanalysen: Muster und Erkenntnisse:

Insgesamt konnten anhand der Prozessdetailmessungen und der Durchführung des Organisationsbefragungsmodells innerhalb von zwei Fallstudien sechs Muster im Produktionsfluss des Stahlbaus entdeckt werden. Diese sind im folgenden Kapitel 10.2 separat erklärt.

Zur Ermittlung des Produktionsengpasses wurde die *Formel zur Berechnung der theoretischen Vorbestandswartzeit* entwickelt. Diese besteht aus dem vorgelagerten Bestand, dem gemittelten Produktionsfluss und den Schwankungen der Prozesszeiten VA und Bereitstellungszeiten NVA, mit der Formel:

$$\text{Theoretische Vorbestandswartzeit [h]} = \frac{\text{Vorgelagerter Bestand [St.]}}{\text{Produktionsfluss an Arbeitsstation } \left[\frac{\text{St.}}{\text{h}}\right]} \times \text{Schwankungsfaktor}$$

mit

$$\text{Schwankungsfaktor} = 1 + \text{Standardabweichung der gemessenen Zykluszeiten [h]}$$

$$\text{Schwankungsfaktor} = 1 + \sqrt{\frac{\sum(x - y)^2}{n}}$$

Dabei ist x der Mittelwert der gemessenen Zykluszeiten, y ist der aktuell betrachtete Zykluszeitwert und n ist die Anzahl der gemessenen Zyklen. Der Engpass im Produktionsfluss befindet sich an derjenigen Stelle im Produktionssystem, an der die Vorbestandswartzeit am höchsten ist. Bereiche mit geplanter Lagerhaltung sind von dieser Betrachtung ausgeschlossen. In beiden Fallstudien befindet sich die höchste Vorbestandswartzeit den Zuschnittsstationen nachgelagert. An dieser Stelle des Produktionssystems befinden sich zugleich mehrere Abteilungen (hohe organisatorische Schnittstelle), die Einfluß auf die Leistung des Produktionsflusses haben. Eine mangelnde Koordination der Beteiligten und deren Informationsflüsse kann ein Grund für den vorliegenden Engpass sein.

Dreierlei Darstellungsformen der Fließbilder des Produktionsflusses werden vorgenommen: der Stückzahlfluss, der Tonnagefluss als Massenfluss und die Leistungskurven.

**5. Die Ergebnisse der Simulationsstudien** basieren erstmalig auf gemessenen Realdaten des ganzen Stahlbaufertigungsprozesses, vom Wareneingang der Stahlbaufertigung bis zur Baustellenmontage. Die Simulationsstudien ermöglichen die Bewertung der quantitativen Effekte von drei Lean-Methoden auf den Durchfluss und die Bestände. Als Methoden wurden SMED, One-Piece-Flow, eine Kombination daraus und Last Planner untersucht. Kanban ist in einem solchen Produktionssystem nicht sinnvoll anwendbar. Dies geht zum einen aus der Literatur hervor, da Untersuchungen von abgeschlossenen Stahlbauprojekten zeigen, dass die Wiederholungsrate der Einzelteile bei einem durchschnittlichen Parkhausprojekt maximal fünf Prozent beträgt. Die

Simulationsvarianten liefern folgende Ergebnisse, über Laufzeiten von 20,40,60, 80 und 100 Tagen gemittelt:

(1) Grundmodell der Ist-Situation:	Durchsatz 100%,	Lagerhaltung 100%
(2) Einführung von SMED:	Durchsatz 128%,	Lagerhaltung 80%
(3) Einführung von One-Piece-Flow:	Durchsatz 89%,	Lagerhaltung 37%
(4) Einführung von SMED und 1x1 Fluss:	Durchsatz 122%,	Lagerhaltung 41%
(5) Einführung von Last Planner:	Durchsatz 131%	Lagerhaltung 62%

Dies basiert auf der Hypothese, dass die jeweilige Methode erfolgreich umgesetzt werden kann. Zudem verdeutlichen die Ergebnisse, dass Methoden nicht losgelöst voneinander eingeführt werden sollten, und die Einführungsreihenfolge eine wichtige Rolle spielt. Zudem stimmen die Simulationsergebnisse mit Hinweisen aus der Literatur überein, wonach Verstetigung von Prozessen als erster und wichtigster Schritt zur Verbesserung und Beschleunigung des Durchsatzes benannt ist.

**6. Umsetzungsansätze** (Praxisergebnis): Nicht nur verschiedene quantitativ-rationale Optimierungsmethoden sind in der Arbeit enthalten, sondern auch organisationspsychologische Veränderungsansätze (Kapitel 9). Dazu zählt der Veränderungsprozess nach TOC, und einige Analyse-Veränderungs-Umsetzungsmethoden aus der angewandten Psychologie, mit daraus resultierenden Erfolgsfaktoren und Hemmnissen. Diese hilfreichen Werkzeuge dienen der Fragestellung, wie Erkanntes auch umgesetzt-, das heißt wie Lean-Management in der Einzel- und Kleinserienfertigung realistisch eingeführt werden kann.

## 10.2 Entdeckte Muster

Sechs Muster wurden innerhalb der Untersuchung der Stahlbau-Produktionsketten entdeckt.

**Muster 1: Hohe Schwankungen der nicht-wertschöpfenden Zeiten:** In beiden Fallstudien konnten an den einzelnen Arbeitsstationen und dem Errichtungsprozess sehr hohe Schwankungen nachgewiesen und visualisiert werden. Auch bei automatisierten Arbeitsstationen verbleiben weiterhin hohe Schwankungen innerhalb der nicht-wertschöpfenden Bereitstellungszeiten, bei manuellen Arbeitsstationen liegen die Schwankungen sowohl für Prozesszeit (VA), als auch für Bereitstellungszeit (NVA) vor. Diese großen Zeitschwankungen zwischen den Produktionszyklen sind nicht der Individualität der Produkte zuzurechnen, sondern hauptsächlich den Schwankungen innerhalb der produktionsinternen Transporte und Suchzeiten. In den betrachteten Unternehmen kennen die Mitarbeiter diese Variabilität nicht, da die Unterteilung in Wertschöpfungszeit und nicht-wertschöpfende Zeit bisher weder gemessen noch visualisiert wurde und auch keine Systematik hierfür existiert.

**Muster 2: Die Bauteilgrößen der Einzelteile und die Bauteilgrößen über den Produktionsverlauf vom Wareneingang bis zur Baustellenerrichtung variieren stark** (Abbildungen 4.5; 7.6). Der Produktionsfluss kann daher als Massenfluss oder Stückzahlfluss betrachtet werden. Beide Betrachtungsweisen sind für sich in der Einzel- und Kleinserienfertigung nur beschränkt zutreffend. Deshalb wurden in der zweiten Fallstudie beide Betrachtungsrichtungen gleichzeitig gewählt, und um die Leistungskurve ergänzt. Die erstellten Fließbilder nach Stückzahl- und Massenfluss (Kap 7.2) zeigen für dieselben Messungen unterschiedliche Ausprägungsformen auf. Für die DES-Simulationsstudien wurde nur der Stückzahlansatz weiter verfolgt, aber durch die Größenveränderung der Einzelteile sind im Modell starke Vereinfachungen notwendig.

**Muster 3: Der gesamte Produktionsfluss ist bis zu 73% der Zeit unproduktiv.** Die gemittelten Zeitmessungen der Prozess- und Setup-Zeiten über alle Stationen des Stahlbauprozesses ergeben, dass innerhalb der Fallstudie des Kleinserienfertigers der Produktionsfluss nur 27% der Zeit wertschöpfend-produktiv ist, und der Produktionsfluss des Einzelfertigungsunternehmens nur zu 44%.

**Muster 4: Engpässe im Produktionsfluss befinden sich an anderen Stellen, als von den meisten Mitarbeitern vermutet.** Die Umfrageergebnisse des Befragungsmodells zeigen in beiden Studien gegensätzliche Aussagen. Einerseits vermuten die meisten Produktionsmitarbeiter einen vorliegenden Engpass im Produktionssystem bei den Zuschnittsmaschinen und zugleich sagen sie aus, dass Engpässe mit organisatorischen Schnittstellen zusammenhängen. Produktionsmessungen der Durchsätze und Bestände in Kombination mit der entwickelten Berechnungsformel der

Vorbestandswartezeit zeigt, dass der Engpass den Zuschnittsmaschinen nachgelagert an den Heftständen liegt. Dieser Ort bildet zugleich eine hohe organisatorische Schnittstelle, die innerhalb der Verknüpfungsmatrix sichtbar wird, zuvor aber den Mitarbeitern offensichtlich nicht bewußt war. Nach Ansicht des Verfassers liegt dies an der fehlenden Prozesstransparenz (da Vorbestandswartezeiten nicht unmittelbar sichtbar sind), an Schwierigkeiten der Erfassung von organisatorischen Schnittstellen und an den weniger aber einseitig-maschinenorientierten Kennzahlen.

**Muster 5: Die Produktion im Stahlbau befindet sich im push-Betrieb**, initiiert durch CNC-gesteuerte Sägebohranlagen. Dieses Muster ist in allen untersuchten Fertigungsunternehmen anzutreffen, und wird durch die Bestands- und Durchflussmessungen der vor- und nachgelagerten Arbeitsstationen sichtbar. Die Bestände und *Vorbestandswartezeiten* sind im Durchschnitt an den nachgelagerten Arbeitsstationen 5-10 fach höher, als an den vorgelagerten Stationen. Der Grund dafür liegt häufig auch in der Managementbestrebung, die kapitalintensiven Sägebohranlagen maximal auszulasten. Zugleich hat die Produktionsplanung ohne Prozessvisualisierung nicht die Möglichkeit einer echten Produktionssteuerung, da die den Zuschnittsmaschinen nachfolgenden „Turbulenzen“ im Produktionsfluss nicht sichtbar sind.

**Muster 6: Die Baustellen zeigen eine sehr geringe Abrufzuverlässigkeit auf.** Dies verursacht sämtliche Schwierigkeiten der Fertigungssteuerung innerhalb der Stahlbaukette, wie beispielsweise hohe Zwischenbestände, ein überfülltes Versandlager, häufig wechselnde Änderung der Reihenfolge von Aufträgen, und dadurch entstehende Verluste durch Fehler oder Suchzeiten. Die Detailmessungen des Versandlagers in Fallstudie 2 zeigen, dass die Abstimmung zwischen Werk und Baustelle trotz gleicher Unternehmenszugehörigkeit schlecht funktioniert, das heißt die Baustellen rufen 58% der bestellten Produkte verspätet ab<sup>50</sup>. Die Zuverlässigkeit des Werkes ist möglicherweise ebenfalls niedrig, wobei dies innerhalb der Fallstudien nicht untersucht werden konnte. Wenn diese Abrufzuverlässigkeit mittels einer besseren Abstimmung von Werk und Baustelle durch LPS und die in Kapitel 6 vorgeschlagenen Kennzahlen um 80% erhöht werden könnte, dann wäre dadurch die Anzahl der Hauptpositionen im Versandlager um 46% reduzierbar. Gleichzeitig würde dies eine Verstetigung des gesamten Produktionsflusses innerhalb der Fertigung ermöglichen.

---

<sup>50</sup> Zusatzklärung: 58% der fertiggestellten, terminbestellten Hauptpositionen, deren Baustellenabruftermin bereits über eine Woche vergangen ist, befinden sich noch im Versandlager, und es gibt keine Aktualisierung des wirklichen Abruftermins.

### 10.3 Validierung der Hypothesen

Im Folgenden sind die drei Hypothesen wiederholt (vgl. Kapitel 1.2), mit den Ergebnissen der Forschungsarbeit validiert, und die möglichen Handlungskonsequenzen daraus abgeleitet.

Hypothese (H1):

*„Es existieren bestimmte Muster (Patterns) in diesen Produktionsprozessen, die mittels detaillierten Prozessmessungen und einem passenden Organisationsbefragungsmodell erkannt werden können. Dadurch sind Verbesserungspotentiale leichter zu ermitteln.“*

Validierung (H1):

In den Fallstudien wurden mittels Prozessmessungen, Kennzahlen, des Befragungsmodells und einer Verknüpfungsmatrix dieser Analysemethoden einige Muster im Produktionsfluss entdeckt, die in einem solchen Detaillierungsgrad bisher im Stahlbau nicht existierten. Ein wesentliches Muster ist die „gedrückte Produktion“ (push) im Stahlbau, initiiert durch die Zuschnittsmaschinen. Ein weiteres Muster sind die Ausprägungen von hohen Schwankungen innerhalb der nicht-wertschöpfenden Bereitstellungszeiten, begründet im Wesentlichen durch große Losgrößen und Transportvorgänge. Anhand der ermittelten Prozessschwankungen, des Produktionsdurchflusses und der vorgelagerten Bestände, ist die Vorbestandswartezeit an jeder Arbeitsstation errechenbar. Diese gibt Aufschluss über bestehende Reibungen im Prozessablauf (Engpässe). Der Einbezug verschiedener Mitarbeiter in die Prozessanalyse mittels des Befragungsmodells, erbringt zusätzliche Hinweise auf bestehende Schwierigkeiten und Verbesserungspotentiale, und bezieht die Personen bereits in die angehende Verbesserung des Produktionssystems mit ein. Zugleich zeigt die Verknüpfungsmatrix, dass die über die Vorbestandswartezeit berechneten Engpässe im Produktionssystem mit hohen organisatorischen Schnittstellen zusammenfallen. Validiert ist diese Hypothese innerhalb der Fallstudien anhand der gemessenen Daten und eines Feedbackworkshops mit allen Beteiligten.

Konsequenz (H1):

Aus den erkannten Mustern der Produktionsflussanalyse sind Systemeinschränkungen ersichtlich und die Gründe für Prozessschwankungen des Produktionsflusses erklärbar. Das Verständnis dieser Restriktionen des Produktionssystems ermöglicht anschließend die Umsetzung der passenden Lösungen.



Hypothese (H2):

*„Mittels Diskreter Ereignisorientierte Simulation (DES) können die Effekte von einigen Lean-Methoden quantitativ in Bezug auf den Betrachtungsrahmen der Forschungsstudie bewertet werden.“*

Validierung (H2):

DES-Simulation ist im Bereich der Modellierung von Einzel- und Kleinserienfertigung, sowie des Handwerks bisher noch wenig im Einsatz, unter anderem durch die geringe Wiederholbarkeit von Produkten und Prozessen, den hohen Aufwand der Datenerhebung und die starken Vereinfachungen bei der Modellerstellung. Dennoch ist Simulation zur Quantifizierung der Verbesserungspotentiale durch Lean-Methoden hilfreich.

Die Ergebnisse der Simulationsstudien zeigen, dass die Verstetigung von Prozessen, als Reduzierung von nicht wertschöpfenden Bereitstellungszeiten und deren Schwankungen durch erfolgreiche SMED-Workshops und Last-Planner Einführung zur größten Prozessverbesserung hinsichtlich Durchflusserhöhung und Bestandsreduzierung führen kann. Diese Aussage entspricht auch Literaturhinweisen aus anderen Industriesektoren, wonach Prozessverstetigung als der erste Schritt zur Produktionsverbesserung genannt ist. Eine reine Bestandreduzierung ohne vorherige Prozessverstetigung, z.B. als Produktionsfluss im One-Piece-Flow, führt nicht zu der gewünschten Verbesserung. Die Simulationsergebnisse belegen quantitativ, dass diese drei Lean-Methoden (SMED, 1x1-Fluss in Kombination mit SMED und Last-Planner-Systematik) innerhalb der betrachteten Randbedingungen zu einer Leistungssteigerung und Bestandreduzierung des Produktionssystems führen können.

Konsequenz (H2):

Bei der Umsetzung in der Unternehmenspraxis sollten die Ergebnisse aus den Simulationsstudien als Hinweise zu einer geeigneten Einführungsreihenfolge von Prozessverbesserungsmethoden betrachtet werden, die auf die Realität des jeweiligen Produktionssystems zutreffen.

Hypothese (H3):

*„Die Einführung von Lean-Management-Methoden zur Prozessverbesserung in der Einzel- und Kleinserienfertigung des Stahlbaus ist mittels eines spezifischen Kennzahlensystems, dem Einbezug des Organisationskontextes und der Verknüpfung von Prozess und Organisation möglich.“*

Validierung (H3):

Der Umkehrschluss dieser Hypothese ist, dass ohne Leistungsmessung der Prozesszeiten, also ohne Visualisierung von Schwankungen, und ohne Einbezug der Organisation keine Verbesserungspotentiale sichtbar sind, und somit die Argumentationsbasis zur Einführung und Bewertung von Lean-Methoden in der Einzel- und Kleinserienfertigung des Stahlbaus fehlt. Daher bildet neben den punktuellen Prozessdetailmessungen auch die Entwicklung und Einführung eines Kennzahlensystems die Voraussetzung für eine systematische Verbesserung der Unternehmensprozesse. Sowohl die Literaturanalyse, die Vorstudien und die beiden Fallstudien zeigen, dass bisher ein Kennzahlenkonzept zur Gesamtflusssteuerung im Stahlbau nicht existiert, und die Produktionsflüsse im Detail nicht visualisiert sind. Über eine systematische Visualisierung sind jedoch Verbesserungspotentiale erkennbar. Dieses „Sehen-Lernen“ ist auch in der Literatur von Lean-Produktion und Lean-Management im Bauwesen als Voraussetzung für Prozessverbesserung beschrieben. Ein ganzheitlicher Ansatz ist mit Hilfe des entwickelten Organisationsbefragungsmodells, der daraus abgeleiteten Kennzahlen und der Verknüpfungsmatrix von Prozess- und Organisationsanalyse (Kap. 7.1.2 und 7.2.4) vorgeschlagen. Dies führt zu einem verbesserten Verständnis der Unternehmensspezifika, des gelebten Führungsstils und fördert die Mitarbeiterbeteiligung an der Verbesserung des Produktionssystems da die Mitarbeiter über die Umfrage unmittelbar in den Verbesserungsprozess mit einbezogen werden. Dies entspricht der Forderung aus der Literatur, dass erfolgreiche Prozessverbesserung nach Lean-Prinzipien nicht losgelöst von der Organisation und deren Unternehmenskultur eingeführt werden kann.

Die Verknüpfung quantitativer Prozessmessungen und qualitativer Organisationsanalyse und daraus abgeleitete Organisationskennzahlen finden in der Verknüpfungsmatrix statt. Darin wird in beiden Fallstudien sichtbar, dass Engpässe dort vorliegen wo die höchsten Vorbestandswartezeiten bestehen und diese Arbeitsstationen zugleich kritische organisatorischen Schnittstellen darstellen.

Die eigentliche Umsetzung des Kennzahlensystems und die Einführung von quantifizierbaren Lean-Methoden in der Einzel- und Kleinserienfertigung wird von den Stahlbauunternehmen weiter verfolgt, ist aber noch nicht abgeschlossen. Daher ist diese Hypothese noch nicht vollständig validiert.

Konsequenz (H3):

Die Handlungsempfehlung des Verfassers zur Einführung von Lean-Methoden in Einzelfertigungsbetrieben steht in derselben Reihenfolge wie die Gliederung der vorliegenden Arbeit: Beginnend mit Detailmessungen der gesamten Produktionskette, Durchführung der Organisationsbefragung und Verknüpfung der Ergebnisse aus Prozessanalyse und Organisationsbefragung. Daraus sind Gründe für bestehende Einschränkungen des Produktionssystems ersichtlich. Sofern Prozesstransparenz fehlt und kein geeignetes Kennzahlensystem in der Fertigung besteht ist es sinnvoll ein solches Konzept nach den in Kapitel 6 definierten Kriterien zu erstellen, wobei insbesondere bei der Umsetzung eines solchen Kennzahlenkonzeptes die Aspekte der Organisations- und Veränderungspsychologie<sup>51</sup> entscheidend sind. Mittels Simulation kann die Wirkweise einiger möglicher Verbesserungsmethoden und deren Kombination auf das Produktionssystem quantitativ untersucht werden. Anschließend sollte die Implementierung und Ergebnisüberprüfung in der Praxis schrittweise durchgeführt werden. Die Einführungsreihenfolge von Lean-Methoden hängt von der betrachteten Fertigungsrealität ab. Typischerweise sind SMED-Workshops schnell umsetzbar und führen als ein erster Verbesserungsschritt in der Fertigung zur Verstetigung von Prozessen. Anschließend können weitere Lean-Methoden eingeführt werden, wie beispielsweise ConWIP-Bestandsmanagement in Kombination mit Taktzeitsteuerung, oder das Last-Planner-System als Verbesserungsmethodik der Kommunikation an organisatorischen Schnittstellen, insbesondere auch organisationsübergreifend für die Produktionsflussplanung zwischen Fertigungswerk und Baustellenmontage.

Ein vielversprechender psychologischer Aspekt bei der Umsetzung von Veränderung ist, über Fragen die Mitarbeiter selbst die Lösungen finden zu lassen, und somit die Erfolge der Prozessverbesserung zu ihren Erfolgen zu machen.

---

<sup>51</sup> Hierbei spielt die Thematik eines geeigneten Anreizsystems eine wichtige Rolle, damit Mitarbeiter ihre Verbesserungsvorschläge nicht zurückhalten. Die Entwicklung solcher Anreizsysteme ist jedoch nicht Bestandteil der Arbeit.

## 10.4 Zusammenfassung

Die drei Hypothesen der Arbeit sind innerhalb des Untersuchungsrahmens belegt. Demnach kann Lean-Management in der Kleinserien- und Einzelfertigung mit Hilfe des vorgestellten Ansatzes erfolgreich eingeführt und bewertet werden. Einige quantitative Verbesserungseffekte hinsichtlich des Durchsatzes sind mittels DES-Simulationsstudien im Voraus analysier- und bewertbar.

Wichtig bei der Einführung von Lean-Management in Einzelfertigungsbetrieben ist, bereits bei der Datenerhebung das Prozessdenken zu integrieren, das heißt beispielsweise keine Zeitaufnahmen der Mitarbeiter durchzuführen, sondern detaillierte Produktionsflussmessungen (Prozessaufnahmen). Um dem Lean- und TFVp- Gedanken aus den Forderungen der Literatur nachzukommen, wird der Gesamtstrom über mehrere Zyklen gemessen und verbessert, bevor Einzelstationen optimiert werden. Innerhalb der Arbeit wurden zwei Wertschöpfungsketten des Stahlbaus vom Wareneingang der Fertigung bis zur Baustellenmontage über mehrere Produktionszyklen im Detail gemessen und zugleich ein Organisationsbefragungsmodell angewendet, dessen Ergebnisse anschließend mit der Prozessanalyse verknüpft wird. Sechs typische Muster konnten innerhalb der Produktionsflussanalysen entdeckt werden: (1) Hohe Schwankungen der Bereitstellungszeiten, (2) Bauteilgrößenschwankungen, (3) Mangelnde Produktivität des Produktionsflusses, (4) Engpässe befinden sich an anderer Stelle, als von Mitarbeitern vermutet und zugleich liegen Engpässe an organisatorischen Knotenpunkten mit hohen Vorbestandswartezeiten des Produktionsflusses (5) Produktion ist im push-Betrieb initiiert durch den Zuschnitt, (6) Abrufzuverlässigkeit der Baustellen liegt unter 50%.

Die Messdaten bilden auch die Grundlage für das entwickelte Kennzahlensystem und die Simulationsuntersuchungen. Zur systematischen, optimierten Steuerung der Fertigung bis zur Baustelle ist zusätzlich zur Analyse der Prozesse und Organisationsanalyse auch ein Kennzahlensystem sinnvoll, das kontinuierlich Transparenz fördert. Das entwickelte Konzept gliedert sich in verschiedene Prioritätsebenen, beginnend mit der Gesamtflusststeuerung nach „pull“-Prinzipien, gefolgt von Wertschöpfungsoptimierungsindikatoren, und auf dritter Ebene mit Qualitätsverbesserungsindikatoren. Für die Umsetzung der genannten qualitativen und quantitativen Optimierungsmethoden mittels Lean-Management spielen Kommunikation und menschliche Faktoren aus der Psychologie eine wichtige Rolle. Auch hierzu sind einige Ansätze vorgestellt.

## 10.5 Ausblick

Verschiedene Folgeforschungsbereiche können aus dieser Arbeit entstehen.

- Innerhalb einer praxisnahen Forschung können die Umsetzungseffekte des entwickelten Kennzahlenkonzeptes gekoppelt mit Produktivitätsmessungen untersucht werden. In wie fern sind Produktivitätssteigerung rein durch die Einführung dieses Kennzahlensystems erreichbar, und welche quantifizierbare Qualitätsverbesserung geht aus diesem Konzept hervor?
- Die Organisationsforschung kann im Zusammenhang mit der Einführung von Lean-Management in der Einzel- und Kleinserienfertigung erweitert werden. Neben der Organisationsuntersuchung und psychologischen Kommunikationsansätzen sind Anreizsysteme ein geeignetes Instrument als Motivationsförderung zur Entwicklung und Umsetzung von Verbesserungsvorschlägen. Nach welchen Kriterien müsste ein solches Anreizsystem für verschiedene Organisationstypen der Einzel- und Kleinserienproduktion entwickelt werden, damit Lean-Management erfolgreich eingeführt, und KVP-Prozesse initiiert werden? (Prinzip „Selbstläufer“, vergleiche Kapitel 9.1.4.).
- Die quantitative Erforschung von Effekten durch LM in der Einzelfertigung und im Bauwesen kann durch verfeinerte Simulationsstudien stark ausgeweitet werden. Dazu sind größere Mengen an gemessenen Prozessdaten nötig, u.a. um innerhalb eines Modelles auch Maschinenausfälle und saisonale Auftragsschwankungen abbilden zu können. Auch der Detaillierungsgrad an Randbedingungen kann deutlich ausgeweitet werden, um die Komplexität der Einzelfertigung und Baustellenmontage realitätsnaher darzustellen. Alternativ zu DES könnte mit einem kontinuierlichen Simulationsmodell (beispielsweise mit Hilfe des 1D-hydromechanischen Modellierungsprogramm HecRas) der Produktionsfluss als Massenfluss simuliert werden, und die Aussageergebnisse mit denselben Eingabewerten eines DES-Modells verglichen werden. Wenn beide Simulationsverfahren teilweise aussagekräftig sind, könnte ein hybrides Simulationsmodell (Kombination aus Kontinuierlicher und DES) für Einzelfertigungs- und Kleinserienbetriebe entwickelt werden, das die Vorteile beider Techniken verbindet, und für den Untersuchungsrahmen standardisiert einsetzbar ist. Denkbar ist auch, DES-Simulationsmodelle zur Abbildung von stationären Fertigungsprozessen mit BIM-Modellen aus dem Bauwesen zu koppeln, und damit die Produktionsflussskette über die Schnittstelle zweier Industriesektoren besser zu untersuchen, und Baustellenerrichtung realistischer abbilden und steuern zu können.

- Engpässe innerhalb eines Produktionsflusses könnten auch zur Produktionssteuerung gezielt eingesetzt werden. Ähnlich wie im Wasserbau ist es denkbar, dass Engpässe in Prozesse bewusst eingebaut werden, um als Kontroll- und Stabilisierungsstelle eines Prozesses zu dienen. Voraussetzung ist eine funktionierende und detaillierte Visualisierung der Prozesse, da andernfalls keine Feinsteuerung des Produktionsflusses möglich ist. Zudem wird nach Ansicht des Verfassers als Steuerungseingpass voraussichtlich nicht eine Organisationsschnittstelle (aufgrund der Unkontrollierbarkeit von Personen) gewählt, sondern eine technische Schnittstelle. Weitergehende Forschung könnte konkretisieren, wie Engpässe an Produktions- und Logistikprozessen als Steuerungsinstrument des Flusses aussehen, und wie diese auf den Produktionsprozess wirken; beispielsweise, wie und an welcher Stelle im Stahlbauprozess sollten sie implementiert werden, um den Produktionsfluss zu verstetigen?
- Wie bereits zu Anfang der Arbeit deklariert, sieht der Verfasser auch in anderen Industriebetrieben außerhalb des Stahlbaus gute Anwendungsmöglichkeiten des Forschungsansatzes. Prozessdetailmessung, Kennzahlen, Organisationsbetrachtung und Simulationsstudien bilden eine sinnvolle Voraussetzung für die Einführung und Bewertung von Lean-Management zur Prozessverbesserung von Produktionssystemen. Eine anwendungsorientierte Folgearbeit könnte die Übertragbarkeit des Ansatzes auf Holzbaufertigungsbetriebe, Betonfertigteilwerke oder andere Einzel- und Kleinserienfertigungsbetriebe untersuchen, die sich ebenfalls an der Schnittstelle zwischen Handwerk, Fertigungsindustrie und Bauindustrie befinden. Nach Ansicht des Verfassers steckt hier viel Potential, um solche Betriebe in Deutschland durch angepasste Lean-Methoden weiter zu entwickeln.

#### 4. LITERATURVERZEICHNIS

- [All-‘08] Allweyer, T., BPMN, Business Process Modeling Notation, Einführung in die Geschäftsprozessmodellierung, Okt. 2008
- [Alv-Tom-‘06] Alves, T.C.L., Tommelein, I.D., **Investigation of buffer dynamics in sheet metal ductwork supply chains**, IGLC-paper, 2006
- [Alv-et-al-‘06] Alves, T.C.L., Tommelein, I.D., Ballard, G., **Simulation as a tool for production system design in construction**, IGLC-paper 2006
- [Arb-‘06] Arbulu, R., **Application of pull and CONWIP in construction production systems**, IGLC-paper, 2006
- [Bal-‘00] Ballard, G., **The Last Planner System of Production Control**, PhD-Dissertation, 2000
- [Ban-‘08] Bangsow, S., **Fertigungssimulationen mit Plant Simulation und SimTalk**, Anwendung und Programmierung mit Beispielen und Lösungen, Hanser-Verlag, 2008
- [Bau-‘05] Baum, N., **Anwendung von Value Stream Mapping in der Bauwirtschaft**, Diplomarbeit, TMB Karlsruhe, 2005
- [Bec-‘06] Becker, H, **Phänomen Toyota, Erfolgsfaktor Ethik**, Springerverlag, 2006.
- [Ber-‘06] Bertelsen, S., Koskela, L., Henrich, G., Rooke, J., **critical flow; towards a construction flow theory**, presentation paper, Chile, IGLC 2006
- [Bot-‘05] Botero, L.F., Alvarez, M.E., **Last Planner: an advance in planning and controlling construction projects**. Case study in the city of Medellin, Paper Sibrajec, Porto Alegre 2005
- [Cel-‘91] Cellier, F.E., **Continuous system modeling**. Springer-Verlag, New York, 1991
- [Chi-‘06] Chin, C. , Russell, J.S., **Improving performance of process flows**, paper, IGLC 2006

- [Cou-‘07] Court, P., Pasquire, C. Gibb, A., Bower, D., **Transforming traditional construction into a modern process of assembly using construction physics**, paper, IGLC, 2007
- [Dem-‘95] DeMarco, Tom, „**warum ist Software so teuer?**“ München (zuerst New York, 1995)
- [Den-‘95] Denning, P.J., Medina-Mora, R., **Completing loops**, paper; Institute for Operations-Research and Management Science, INTERFACES 25.3, May-June 1995
- [Dic-‘08] Dickmann, P., **Schlanker Materialfluss mit Lean-Production**. KANBAN und Innovationen, Springer, 2008
- [Dic-‘07] Dickmann, P., **Neue Marktchancen durch ganzheitliche Lean-Ansätze und Ergebnisse der Lean-Studie 2007**, Vortrag-Präsentation, Cluster-Forum Automotive und Logistik, Sept.2008 München.
- [Die.et.al-‘04] Diekmann, J.E., Krewedl, M., Balonick, J., Stewart, T., Won, S., **Application of lean manufacturing principles to construction**, a report to the construction industry institute, University of Texas at Austin, PT. 191, 2004
- [Die-‘08] Die Deutsche Bauindustrie, <http://www.bauindustrie.de>
- [Dob-‘08] Dobler, T., **Entwicklung der Archintra-Methodik als Beitrag zur Verbesserung von Bauprozessen**, Dissertation, Institut für Bauwirtschaft, IBW Kassel, 2008
- [Dör-‘04] Dörner, D., **Die Logik des Misslingens – Strategisches Denken in komplexen Situationen**, (Planungspsychologie), rororo science, 3. Aufl. 2004
- [Dör-‘07] Dörner, K., Plog U., Telle, C., Wendt, F., **Irren ist menschlich, Lehrbuch der Psychiatrie / Psychotherapie**, Stichwort angewandte Psychologie, 2007
- [Dug-‘02] Duggan, K.J., **Creating Mixed Model Value Streams**, Practical Lean Techniques for Building to Demand, Productivity press, 2002



- [Ebl-et-al-'03] Eble, P., Wildemann, H., Spath, D., Korge, A., Scholtz, O., **Ratio-, Mensch, Technik und Organisation – ganzheitlich zu effizienterer Produktion**, Rationalisierungs- und Innovationszentrum der Deutschen Wirtschaft, 9.Jg. Nr. 3, 2003
- [Fif-'05] Fifield, P., **International Marketing Strategy**, lecture notes, CDI-Paris, 2005
- [Fya-'02] Fyall, M., **When Project Information Flow becomes turbulent: toward an organizational Reynolds Number**, CIFE Technical Report # 138, Stanford University, 2002
- [Geh-'97] Gehbauer, F., **Baubetriebstechnik 1**, Arbeitsvorbereitung; Vorlesungsskript, Der Netzplan, S. 20-30, 1997
- [Geh-'06a] Gehbauer, F., **Lean Management im Bauwesen, Hintergründe, Anwendungen, Möglichkeiten**, Skript, TMB-Universität Karlsruhe, 2006, Anlage zu LPS
- [Geh-'06b] Gehbauer, F., Kirsch, J., **Lean Construction – Produktivitätssteigerung durch „schlanke“ Bauprozesse**, Der Bauingenieur, 2006
- [Geh-'08] Gehbauer, F., Steffek, P., **Das Last Planner System, Kurzleitfaden Last Planer System**, Anhang 7, Vorlesungsunterlagen TMB, 2008
- [Geh-'09a] Gehbauer, F., Doktorandenseminar, protokollierte Aussagen und Kommentare hinsichtlich Organisationsanalyse und Einführung von Lean-Management in Bauunternehmen.
- [Geh-'09] Gehbauer, F., **Betriebs- und Personalführung, Inklusive Akquisition und Marketing**, Vorlesung und VL-Unterlagen, TMB, KIT, WS 2009.
- [Geh.et.al-'10] Gehbauer, F., Hofacker, A., Hickethier, G., **Überblick zu Lean Management im Bauwesen, Beschreibung des Last-Planner Systems**, Planungsleitfaden Industriebau, 2010
- [Gol-'90] Goldratt, E.M., What is this called **Theory of Constraints**, and how it should be implemented, 1990
- [Gol-'08] Goldratt, E., M., Cox, J., **Das Ziel, ein Roman über Prozessoptimierung**, 2008
- [Gos-'98] Gossow, V., **Baubetriebspraxis, Leitfaden für die Bauindustrie**, Springer 1998

- [Hei-'06] Heineck, Prof. UFC, Fallstudien, Benchmark und Interview zu Lean-Management im Bauwesen in Brasilien, Fortaleza, 2006.
- [HoD-'02] Ho, D.C., Newton, E., **Empirical research on supply chain management: a critical review and recommendations**, International Journal of Production Research, 2002
- [Hof-'07] Hofacker, A., Santos, A., **Implications of lean-management on the procurement process of public building**, Master Thesis, Karlsruhe-Curitiba, 2007
- [Hof-'09] Hofacker, A., **Organizational interfaces: methods to detect bottlenecks in production and logistics processes; an extension to the flow theory**, presentation (1); presentation 2: **“How to synchronize interfaces and reduce bottlenecks? Incentive and motivation systems”**; EGLC9, June 2009, Swiss
- [Hof.Gan-'09] Hofacker, A., Ghandi, D.D., **Analysis of the productivity in structural steel fabrication processes; Evaluation and comparison of different Simulation software for the analysis and optimization of production processes at steel fabricators**, white paper, 2009
- [HoHi-'10] Hofacker, A., Hickethier, G., **Der Baustellenleitstand, Shop-Floor-Management System für die Baustelle**, White-paper, [www.tmb.kit.edu](http://www.tmb.kit.edu)
- [Hol-'00] Holzmeyer, M., Tommelein, I.D., Lin S.L., **Materials and information flows for HVAC Ductwork fabrication and site installation**, IGLC-paper, 2000
- [Hop-'96] Hopp, W. and Spearman, M., **Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management**, Irwin / McGraw-Hill, Boston, 1996
- [Jan-'06] Jansen, F., Streit, U., **Positiv Lernen, Für Kinder, Jugendliche und Erwachsene; das IntraActPlus Konzept**, Spitzerverlag, 2. Auflage, 2006
- [Jir-'05] Jirka, G., Lang, C., **Gerinnehydraulik, Stark ungleichförmiger Abfluss: Strömungsübergänge und Kontrollbauwerke**, Skript Kapitel 3, Institut für Hydromechanik, Universität Karlsruhe, 2005
- [Kai-'09] Kaiser, J., Zikas, T., 2009, **Lean Management im Straßen und Tiefbau**, Zeitschrift: Tiefbau\_Mai 2009

- [Käm-‘08] Kämpf, R., Dentler, J., **Heijunka, der geglättete Prozess**, Beitrag EBZ Betriebsorganisation und Technologietransfer, Stuttgart, Thema des Monats, März 2008
- [Kap-‘92] Kaplan, R. S., Norton, D.P., **The Balanced Scorecard, - Measures that drive performance**, Harvard Business Review, 1992
- [Kar.et.al.-‘05] Karen H. Zwijze-koning, Menno D.T. de Jong, **Organizational Research Methods, Auditing Information Structures in Organizations: A Review of Data Collection Techniques for Network Analysis**, 2005. <http://orm.sagepub.com>
- [Kir-‘08] Kirsch, J., **Organisation der Bauproduktion nach dem Vorbild industrieller Produktionssysteme**, Dissertation, TH-Karlsruhe, 2008
- [Kla-‘04] Klaus, P., **Wettbewerbsfaktor Baulogistik, Neue Wertschöpfungspotenziale in der Baustoffverwertung**, 2004
- [Kos-‘00] Koskela, L., **An exploration towards a production theory and its application to construction**, PhD, technical research centre of Finland, 2000
- [Kos.et.al-‘05] Koskela, L., Kagioglou, M., **On the Metaphysics of Production**, paper, IGLC, Sydney 2005
- [Kos.et.al-‘07] Koskela, L., Rooke, J., Bertelsen, S., Henrich, G., **The TFV theory of production: new developments**, paper, Michigan IGLC 2007
- [Kut-‘08] Kuttler, R., **Schlanke und flexible Produktion durch Wertstromdesign und Fabrikplanung**, Vortrag-Präsentation, Cluster-Forum Automotive und Logistik, Sept.2008 München
- [Lan-‘10] Lanza, G., **Integrierte Produktionsplanung**, wbk Institut für Produktionstechnik, Vorlesungsskript, 2010
- [Lik-‘04] Liker, J.,K., **The Toyota Way, 14 management Principles from the World’s greatest manufacturer**, 2004
- [Lin-‘07] Lindstädt, H., **Organisationsmanagement**, Vorlesungsunterlagen, Basisliteratur und Fallbeispiele, Institut für Unternehmensführung, Universität Karlsruhe TH, 2007

- [Loo-'07] Loo, H., Diskussion zu Lean Construction und Forschungsinvestitionen verschiedener Bauindustrien (Vergleich Deutschland mit Japan, Lean Logistics Conferece, Birmingham, 2007
- [McA-'01] Mc Adam, R., Brown, L., **Strategic alignment and the supply chain for the steel stockholder sector: an exploratory case study analysis**, Supply Chain Management, International Journal Volume 6, 2001
- [Met-'10] Metz., F., Interview und Gespräch zu den Spezifika im Stahlbau, Werksleiter eines der führenden Stahlbauunternehmen in Deutschland, März 2010.
- [Moo-'07] Moon, H.G., Yu, J., Kim, C., **Performance indicators based on the TFV-theory**; paper, IGLC, 2007
- [Ohn-'93] Ohno, T., **Das Toyota-Produktionssystem**, Campus, Frankfurt am Main, 1993
- [Öhm-'05] Oehmen, J., Approaches to crisis prevention in lean product development by high performance teams and through risk management. Master-Thesis, TU-München, Reg.Code 1037.
- [Ott-'06] Ott, M., **Wertstromdesign, Value-Stream Mapping**, als Kapitel des Vorlesungskurses, Moderne Methoden der Betriebsplanung- und Steuerung (Lean Construction), Universität Karlsruhe, TMB, 2006
- [Ott-'07] Ott, M., Fertigungssystem Baustelle – Ein Kennzahlensystem zur Analyse und Bewertung von Produktivität von Prozessen, Dissertation, Universität Karlsruhe 12.12.2007
- [Pet-'09] Peter, K., **Bewertung und Optimierung der Effektivität von Lean Methoden in der Kleinserienproduktion**, WBK, Dissertation Band 151, Universität Karlsruhe (TH), 2009
- [Pie-'10] Piekenbrock, D., **Gabler Kompaktlexikon Volkswirtschaftslehre**, 3. Auflage, 2010
- [Rei-'09] Reichert, D., **Optimierung in der Fertigung und Auslieferung von Metallbauelementen**; Untersuchung und Maßnahmen zur Reduzierung von Fehlteilen im Metallbauprozess, Diplomarbeit Universität Karlsruhe, Betreuer A. Hofacker, 2009

- [Rog-‘01] Rogol, R., **Eine Einführung in die Transaktionsanalyse**, Nimm dich, wie du bist, Herderebücherei, 2001
- [Ros-‘08] Rosenberg, W., **Der Einsatz und Nutzen einer Organisationsanalyse**, [http://www.rosenberger-beratung.de/pdf/Organisationsanalyse\\_Einsatz\\_und\\_Nutzen.pdf](http://www.rosenberger-beratung.de/pdf/Organisationsanalyse_Einsatz_und_Nutzen.pdf), Leonberg, 2008
- [Roo-‘07] Rooke J., Koskela, L., Bertelsen, S., Henrich, G., **Centered flows: a lean approach to decision making and organization**, paper, IGLC, 2007
- [Rot-‘01] Rother, M., Harris, D., **creating a continuous flow**, 2001
- [Rot-‘04] Rother, M., Shook, J., **Sehen lernen, Mit Wertstromdesign die Wertschöpfung erhöhen und Verschwendung beseitigen**, 2004
- [Rot-‘09] Rother, M., **Die Kata des Weltmarktführers**, Toyotas Erfolgsmethoden, Buch, Campus, 2009
- [Rup-‘09] Rupper, D., Grundzüge der VOB Teile A und B, Ein allererster Blick in die weltweite Vergabe, Vorlesungsskript zu Rechtsfragen im Baubetrieb, Universität Karlsruhe (TH), KIT, Fakultät für Bauingenieurwesen.
- [San-‘99] Santos, A. Application of Flow Principles in the Production Management of Construction Sites, PhD-Thesis, University of Salford, 1999
- [San-‘08] Santos, A., **Linking lean production and design for sustainability on the issue of waste reduction**, paper, Journal of Product Development Management, 2008
- [Sch-‘06] Schuh, G., Produktionsplanung und –steuerung, Berlin, Springer Verlag 2006.
- [Shi-‘96] Shingo, S., **O Sistema Toyota de Producao**, do ponto de vista da engenharia de producao, P.A. 1996
- [Spi-‘96] Spitzer, M., Lernen, Gehirnforschung und die Schule des Lebens, Buch, Springer, 1996
- [Sps-‘09] Siemens-Plant-Simulation, **Simulation und Modellierung, Schulungsunterlagen und Simulationserklärung** von Technomatix, als SPS-Softwarehandbuch verfügbar, 2009

- [Sta-'07]      Stahlinstitut VDEH, Wirtschaftsvereinigung Stahl, Statistisches Jahrbuch der Stahlindustrie 2007/2008, erschienen Sept.2007
- [Sta-'09]      Statistisches Bundesamt Wiesbaden, <http://www.destatis.de>
- [Ste-'07]      Steffek, P., **Einsatz des Last-Planner-Systems**, Vortrag-Präsentation, Lean-Construction-Institute, 2007
- [Ste-'08]      Steffek, P.    **Business-Process-Modelling-Notation, Schulung und Schulungsunterlagen zu BPMN** (Basics und Advanced), KTC, 2009
- [Ste-'09]      Steffek, P., **Weiterentwicklungen und Umsetzungsbeispiele des Last-Planner-Systems**, LIPS-Konferenz (Lean in the public sector), Karlsruhe, 2009
- [Ste-'09b]     Steffek, P., Hofacker, A., drei Baustellenbegleitungen und Gespräche bei Last-Planner-Sitzungen, 2009.
- [Sto-'09]      Stockhausen, C., Gespräch über KVP, Fabrikplanung und Shop-Floor-Management; Teamleiter Daimler-AG, 2009.
- [Tit-'08]      Titscher S., Meyer M., Mayrhofer W., **Organisationsanalyse, Konzepte und Methoden**, Facultas wuv, 2008
- [Tom-'99]      Tommelein I.D., Weissenberger, M., **More Just-in-time: location of buffers in structural steel supply and construction processes**, paper at IGLC, 1999
- [Tom-'06]      Tommelein, I.D., Process benefits from use of standard products – simulation experiments using the pipe spool model, IGLC-paper, 2006
- [Tak-'99]      Takeda, Hitoshi, **Das synchrone Produktionssystem**, 2. Aufl. Landsberg, 1999
- [VDI-'93]      VDI Richtlinie 3633, Blatt 1, 1993
- [Wer-'08]      Werner, H., **Supply Chain Management: Grundlagen, Strategien, Instrumente und Controlling**. 3. Vollständig überarbeitet und erweiterte Auflage, Wiesbaden, Gabler Verlag, 2008
- [Wie-'08]      Weig, S., **Konzept eines integrierten Risikomanagements für die Ablauf- und Strukturgestaltung in Fabrikplanungsprojekten**, Dissertation, TU München, 2008

- [Wie-‘05] Wiegand, B., Franck, P., Lean Administration 1, So werden Geschäftsprozesse transparent, die Analyse, 2005
- [Whi-‘02] White, S. A., **Introduction to Business Process Modeling Notation (BPMN)**, 2002, IBM Corporation, <http://www.bpmn.org/Documents/Introduction%20to%20BPMN.pdf>
- [Win-‘08] Winckler, H., Innovacom, **Standardisierung und Lean-Methoden in der Fertigungsindustrie**, Tagungsvortrag Brasilien, Präsentationsdokument, Innovationsforum Florianópolis, Nov. 2008
- [Wom-‘03] Womack, J.,P., Jones, D.T.,“ **Lean-Thinking, Banish waste and create wealth in your corporation**”, free-press, 3.edition, 2003
- [Wom-‘99] Womack J.P., Jones, D.T., Roos, D., “**The machine that changed the world: The story of Lean Production**”, 1991

**Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1.1. Supply-Chain: Stahlproduktion-Fertigung-Bau	4
Abbildung 1.2. Struktur der Arbeit	7
Abbildung 2.1. Beispiel von Prozess- & Durchlaufzeit eines Stahlbauprozesses	10
Abbildung 2.2. Beispiel einer Wertstromanalyse im Stahlbau; vorstudienbasiert	11
Abbildung 2.3. BPMN-Darstellung (Becken, Bahn, Aufgaben, Artefakte)	13
Abbildung 2.4. Zeitliche Einordnung der Prozessanalysewerkzeuge [Wei-'08]	15
Abbildung 2.5. Diskrete ereignisorientierte und kontinuierliche Betrachtung	17
Abbildung 2.6. Analyse mit Berücksichtigung politischer Prozesse, [Tit-'08]	20
Abbildung 2.7. Der Analysezyklus [Tit.et.al-'08]	21
Abbildung 2.8. Der Strukturplan zur Strukturierung der Analyse [Tit.et.al-'08]	22
Abbildung 3.1. Stellgrößen zur Optimierung von Produktionsunternehmen	27
Abbildung 3.2. Das Transformationsmodell [San-'99][Kos-'00]	37
Abbildung 3.3. Das Flussmodell [San-'99] [Kos-'00]	38
Abbildung 3.4. Die Wertperspektive [San-'99] [Kos-'00]	38
Abbildung 3.5. Phasen des Last-Planner-Systems® [Geh-'06a][Ste-'07]	47
Abbildung 4.1. Merkmale eines Kleinserienfertigers [Sch-'06]	53
Abbildung 4.2. Entwicklung des Produktionsindex zwischen 2003-2006	56
Abbildung 4.3. Produktionsprozess im Stahlbau	57
Abbildung 4.4. Begriffe: Projekt, MOAB, Haupt- und Unterpositionen	58
Abbildung 4.5. Einzelteilgröße und Teileanzahl über den Prozessverlauf	59
Abbildung 4.6. Verzahnung von Organisationen, Fertigung und Bau	60
Abbildung 4.7. Industrie-Vorstudien: Benchmark im Stahlbau	65
Abbildung 5.1. Forschungsmethodik des eigenen Ansatzes	72
Abbildung 6.1. Drei Indikatorebenen und deren Zielsetzung	75
Abbildung 6.2. Ablauf und Zyklus eines Heftvorgangs	77
Abbildung 6.3. Kennzahlenentwicklung für Heftstationen	79
Abbildung 6.4. Ziel der 1.KPI-Ebene: Organisationseinheiten als Prozess	81
Abbildung 6.5. Erste KPI-Ebene eines Gesamtsteuerungssystems im Stahlbau	83
Abbildung 6.6. Modellarchitektur des Organisationsbefragungsmodells	91
Abbildung 6.7. Vorgehenskonzept zur Entwicklung des Modells	92
Abbildung 6.8. Zehn-Münzen-Strategiespiel	94
Abbildung 7.1. Vorhandene Produktionskennzahl kg/h pro CNC-Maschine	100
Abbildung 7.2. Mitarbeiterbefragung, vermutete Engpasswahrscheinlichkeit	101
Abbildung 7.3. Beispiel einer Prozessdetailmessung an einer Arbeitsstation	103



Abbildung 7.4. Prozesszeitanalyse (VA, NVA) der Arbeitstationen 1-12	105
Abbildung 7.6 Verknüpfungsmatrix, Fallstudie 1	108
Abbildung 7.7. Gemessene Daten des Produktionsflusses im Stahlbau	115
Abbildung 7.8. Stückzahlen und Massenänderung über den Prozess	116
Abbildung 7.9. Strahlanlage: Stückzahlfluss, Massenfluss, Leistungskurve	117
Abbildung 7.10. Sägebohranlage: Massendurchfluss und Leistungskurve	119
Abbildung 7.10. Heftstand: Massenfluss und die Leistungskurve	121
Abbildung 7.11. Baumontage: Stückzahlfluss, Massenfluss, Leistungskurve	122
Abbildung 7.12. Versandlager, Schnittstelle zwischen Fertigung & Baustelle	124
Abbildung 7.13 Verknüpfungsmatrix, Fallstudie 2	126
Abbildung 8.1. Schematischer Aufbau des Simulationsmodells	130
Abbildung 8.2. Printscreen des entwickelten Simulationsmodells	131
Abbildung 8.3. Durchfluss und Bestände der Ist-Situation	134
Abbildung 8.4. Durchfluss und Bestände nach Single-Piece-Flow (1x1)	135
Abbildung 8.5. SMED-Einführung (Varianzverringerung um 20%)	136
Abbildung 8.6. SMED-Einführung und 1x1-Fluss	137
Abbildung 8.7. Übersicht der Simulationsergebnisse	140
Abbildung 9.1. Typisierte Umsetzung von Verbesserung durch Beratung	141
Abbildung 9.2. Typisierte Umsetzung durch interne KVP-Abteilungen	142
Abbildung 9.3. Typisierte Veränderungsumsetzung in der Psychologie	144
Abbildung 10.1. Ergebnismatrix	150

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1. Methoden, Werkzeuge und Ausrichtung der Simulation [Kut-'08]	14
Tabelle 3.1. Interdisziplinäre Lean-Production Methoden nach [Dic-'07]	30
Tabelle 3.2. Ergänzende Lean-Production-Methoden	31
Tabelle 3.3. Gegenüberstellung verschiedener Verständnisse von Kontrolle	41
Tabelle 3.4. Übersicht über die drei wesentlichen Wirkebenen von LMB	44
Tabelle 3.5. Gegenüberstellung von Taktzeit- und LPS-Steuerung	51
Tabelle 4.1. Industrievorstudie in drei Stahlbauunternehmen	64
Tabelle 6.1. Datenerhebung, Beispiel des Zusammenbaus	73
Tabelle 6.2: Detaillierklärungen der Kennzahlen LiZu, AbZu und VQ	84
Tabelle 6.3 Kennzahlen der 2.und 3. Ebene: Produktionsflussoptimierung	86
Tabelle 7.1 Quantitative Berechnung der Vorbestandswartezeiten, Case 2	125

# ANHANG

## Anhang 1: Begriffsdefinitionen

Die für diese Arbeit zentralen Begriffe sollen kurz definiert sein, insbesondere die Begriffe Lean-Management (LM), die Untersuchungsbegriffe „Durchsatz, Lagerhaltung und Operationelle Kosten“, sowie die Bedeutung von Engpass, Schnittstelle und Fluss im Sinne von Materialfluss.

### **Lean-Management (LM):**

Verschwendungsvermeidung, fünf Managementprinzipien mit vielen dezentralen Vorgehensmethoden, Kundenwertschöpfung und Kontinuierliche Verbesserungsprinzipien sind die wesentlichen Schlüsselbegriffe von Lean-Management. Der Begriff „Lean-Management“ wurde von Womack & Jones (1991,2004) entwickelt, basierend auf schlanken Produktionsverfahren im weiteren Sinne, das heißt einer anderen als der Massenproduktion entsprechenden Managementstrategie. Die darin enthaltenen Methoden sind abgeleitet aus den Ansätzen der Ganzheitlichen Produktionssystematik (GPS) des Automobilkonzerns Toyota und wurden innerhalb einer großen Forschungsstudie in den Neunzigerjahren am MIT<sup>52</sup> als einzigartige und innovative Erfolgsstrategie entdeckt und veröffentlicht. Das Toyota-Produktionssystem (TPS) basiert nach Dickmann (2008) auf 18 interdisziplinären Methoden, um Verschwendung zu vermeiden und Wertschöpfung zu erhöhen. Oft wird der Begriff „Lean“ missverständlicher Weise in Unternehmen als reine Kostenreduzierung im Sinne von Stellenkürzungen interpretiert. Dennoch bleibt unumstritten, dass viele dieser Ansätze sehr gewinnbringend in den verschiedensten Industriezweigen eingesetzt werden.

Forschungsuntersuchungen der letzten 15 Jahre aus den USA zufolge beinhaltet die Wertschöpfungskette beispielsweise von Stahlbauunternehmen bezogen auf deren Logistik und Produktionsprozesse noch erhebliche Potentiale der Verbesserung durch Adaptation und Weiterentwicklung von Lean-Management-Prinzipien (Tommelein et al, 1998-2008). Da im Vergleich zur Bauindustrie die Automobilindustrie im Hinblick auf Lean-Management in Deutschland weiter entwickelt ist, dient sie als ein Ausgangspunkt für diese Arbeit.

### **Engpass (bottleneck):**

Ein Engpass bezeichnet in der Betriebswirtschaftslehre einen Teilbereich einer Unternehmenstätigkeit, die andere Teilbereiche in ihrem Handeln einschränkt und auf den sich

---

<sup>52</sup> MIT, Massachusetts Institute of Technology, USA

laut Gutenberg (2008) sämtliche andere Teilpläne konzentrieren müssen. In der Logistik wird Engpass auch als Flaschenhals bezeichnet, womit eine kritische Stelle in der Supply-Chain gemeint ist, die die gesamte Transportkette verlangsamt.

Bezogen auf die Forschungsarbeit bedeutet ein Engpass der limitierende Faktor bezogen auf den Betrachtungsrahmen, d.h. den Produktionsdurchsatz. Dies kann ein organisatorisches Hindernis (z.B. mangelnde Koordination zwischen Abteilungen) oder ein technisches Hindernis sein (z.B. falsche Maschinentaktung).

### **Durchsatz, Lagerhaltung, Operationelle Kosten:**

Durchsatz ist die messbare Produktionsmenge innerhalb einer betrachteten Produktionseinheit pro Zeit; im Stahlsystembau mit der Maßeinheit [Stahltonnen Fertigprodukte /Zeit], oder [Stück/Zeit].

Lagerhaltung bezeichnet die Bestände. Das beinhaltet das in der Produktion gebundene Kapital in Form von Verbrauchsmaterialien, inklusive Sicherheitsbeständen und Vormaterialien, Zwischenprodukten und fertigen Produkten. Die Maßeinheit im Stahlbau ist ebenfalls [Tonne].

Operationellen Kosten sind die notwendigen Personenarbeitsstunden für eine fertige Produktionseinheit, gemessen als [Stunden / Fertigprodukt-Tonne Stahl]. Innerhalb der Fallstudien werden die operationellen Kosten der Organisationseinheiten Arbeitsvorbereitung, Fertigung, Qualitätssicherung und internen Logistik zusammen betrachtet.

### **Schnittstelle:**

Als Schnittstelle wird eine Verbindungsstelle zwischen Funktionseinheiten bezeichnet, über die in vereinbarter Form Daten, Signale, Material u.a. fließen können<sup>53</sup>. Beispiele firmeninterner Schnittstellen sind Prozesse über verschiedene Abteilungen hinweg, z.B. zwischen Produktion, Beschaffung und Vertrieb innerhalb eines Unternehmens. Als externe Schnittstellen werden die Prozessverbindungsstellen zwischen verschiedenen Unternehmen (z.B. Lieferanten-Kundenbeziehungen) verstanden. In der Realität des Unternehmenskontextes besteht derzeit keine einheitliche Definition von Schnittstellen, was zu vielen Unklarheiten führt, da die Grenzen von verschiedenen Einheiten (organisatorischer oder prozesstechnischer Art) oft nicht klar festgelegt sind.

---

<sup>53</sup> Brockhaus 2005, S. 794, Definition zu „Schnittstelle“

Daher besteht ein großer Handlungsbedarf, den Begriff Schnittstelle klarer festzulegen und zu kategorisieren, um darauf aufbauend passende Analysemethoden zu entwickeln. Im Allgemeinen finden sich die meisten Verwendungen der Begrifflichkeit „Schnittstelle“ im Zusammenhang mit Datenaustausch in der Informatik (Datenschnittstelle, Netzwerkschnittstelle, Softwareschnittstelle oder Hardwareschnittstelle). Diese Bereiche werden nicht in der vorliegenden Arbeit behandelt. Es geht vielmehr um *allgemeine Schnittstellen* bezogen auf Mensch (Organisation) und Materialfluss (Technik-Prozess), was sich teilweise zu den Begriffen *Benutzerschnittstelle* oder *Maschinenschnittstelle* zuordnen lässt, jedoch innerhalb dieser Arbeit ausgeweitet und präzisiert wird, insbesondere bezogen auf die Phasengrenzen (Flow) zwischen Prozessen und Entitäten. Im Projektmanagement des Anlagenbaus beispielsweise wird der Begriff „Schnittstelle“, als Beschreibung der Interaktionen zwischen verschiedenen Gewerken zur Erreichung der geforderten Funktionalität eines Systems verwendet.

Ein weiteres Beispiel zu einer organisatorischen nicht klassifizierten Schnittstelle ist die Konstellation von 3 Abteilungen innerhalb eines Stahlbauunternehmens, die miteinander in loser Verbindung stehen: „Arbeitsvorbereitung“, „technische Planung“ und „Fertigung“. Dabei ist diese organisatorische Zusammenarbeit nicht zeiterfasst und nicht dargestellt. Da diese Schnittstelle in keinem Prozessplan enthalten ist, erscheint auch keine Leistungserfassung, obwohl deren reibungslose Abläufe Grundvoraussetzung für den zeitlichen Projekterfolg darstellen. Daraus ergibt sich die Frage, wie solche Schnittstellen erfassbar und darstellbar sind, ob es sich hier um einen Engpass handelt und wie dieser ggf. kontinuierlich verbessert werden kann?

### **Fluss:**

Ein Leistungsfluss ist eine messbare Durchsatzgröße bezogen auf die Produktion. In der Wirtschaft steht Fluss für die Durchsatzgröße eines Zahlungsflusses oder Leistungsflusses. Mathematisch wird mit Fluss ein Konzept bezeichnet, womit zeitabhängige (System-) Zustände beschrieben werden können. Bezogen auf Prozesse bedeutet es in praktischer Anwendung das Durchschreiten verschiedener Arbeitsstationen, und wird oft im Zusammenhang mit pull-Prinzipien verwendet. Die Zielsetzung bei Produktionsprozessen ist i.d.R., einen kontinuierlichen Arbeitsfluss zu erreichen, um Schwankungen zu vermeiden, Planungsunsicherheiten zu verringern und somit bei hohem Lieferservice nötige Sicherheitspuffer an Beständen oder Personal reduzieren zu können.

## Anhang 2A: Kennzahlen

Einige weitere Kennzahlen aus der Produktion nach [Rei-‘09] und [Pet-‘09]:

- Interne Verzögerungsquote [%] = Mehrstunden x 100 / Gesamtstunden
- Verbrauchsabweichung [%] = täglicher Verbrauch x 100 / geplanter Verbrauch
- Termineinhaltungsgrad Konstruktion [AT] = geplanter – tatsächlicher Freigabetermin
- Materialintensität [%] = Materialkosten x 100 / Herstellkosten

Personalentwicklung:

- Anzahl Unfälle [-] = Anzahl der Unfälle in einer Periode
- Krankheitsstand [AT] = Krankentage / Mitarbeiter
- Verbesserungswesen [-] = Anzahl der Verbesserungsvorschläge in einer Periode
- Anteil Leiharbeiter [%] = Anzahl Leiharbeiter / Belegschaft Fertigung
- Instandhaltungsqualität [%] = Reparaturkosten x 100 / Gesamtkosten Maschine

Logistik:

- Lieferantenservicegrad [%] = Auftragsgerechte Anlieferungen x 100 / Anlieferungen insgesamt
- Wiederbeschaffungszeit [AT] = Wareneingangstermin – Bestelltermin
- Sicherheitsbestandsquote [%] = Sicherheitsbestand / Bestand gesamt
- Eintauchen in Sicherheitsbestand [-] = Anzahl Entnahmen von Sicherheitsbestand
- Bestandswert [€] = Durchschnittliche Lagerbestandsmenge x durchschn. Einkaufswert
- Reichweite [€] = Lagerbestand / Abgangsmenge
- Lagerumschlagshäufigkeit [h] = Abgangsmenge / Lagerbestand
- Umsatzanteil Vorräte [%] = Vorratswert / Umsatz
- Termintreue [%] = eingehaltene Auslieferungstermine / Auslieferungstermine insgesamt
- Lieferbereitschaftsgrad [%] = gelieferte Menge / Bestellmenge insgesamt
- Transportschadensquote [%] = beschädigte Lieferungen / Auslieferungen gesamt
- Umsatzanteil Transport [%] = Transportkosten / Umsatz.

## Anhang 2B: CPM und VPN

### Critical Path Methode (CPM) und Vorgangspfeilnetzpläne (VPN)

Vorgangspfeilnetzpläne werden im Bauprojektmanagement bei starken Verflechtungen von Einzelvorgängen eingesetzt, um diese zu optimieren und um Störungen im Projektablauf zu erkennen (Gehbauer, 1997). Die Netzplantechnik basiert auf der Graphentheorie mit den Grundelementen von verbindenden Linien (Kanten) und Punkten (Knoten). Als Grundlage für die Erstellung von Vorgangspfeilnetzplänen (VPN) wird ein Arbeitsverzeichnis (Work-Breakdown-Struktur), mit Angaben über Dauer der Vorgänge und gegenseitigen Abhängigkeiten benötigt. Die nächste Abbildung beschreibt die schematische Notation der CPM, die heute auch mit Softwareunterstützung wie z.B. bei MS-Project erleichtert wird.

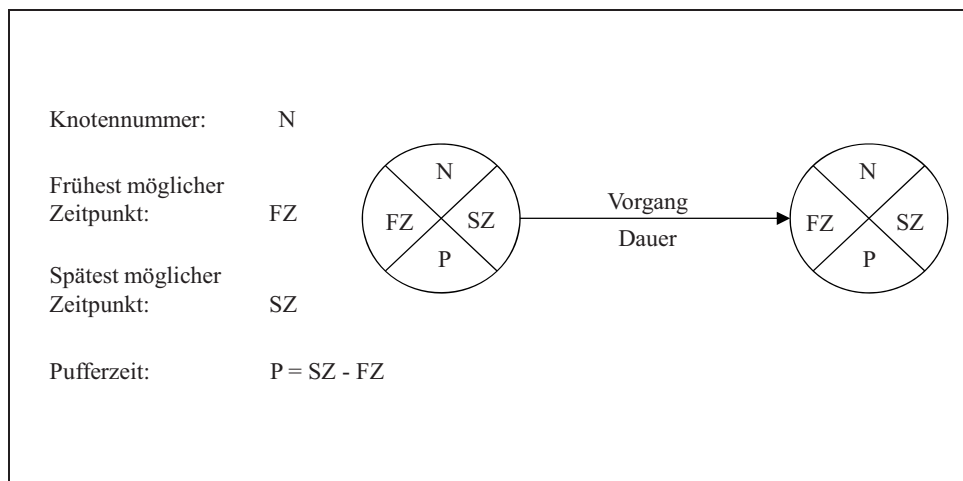


Abbildung: Darstellungsmethode des Vorgangspfeilnetzplanes, Gehbauer, 1997

Als Pufferzeit wird die Differenz zwischen dem frühest- und spätest möglichen Zeitpunkt bezeichnet, bei dem der Endtermin des Projektes noch eingehalten werden kann. Der kritische Weg ist somit als derjenige Weg mit der Gesamtpufferzeit Null ersichtlich (Gehbauer, 1997). Vorgänge werden in Sequenz notiert, es kann aber auch ein Scheinvorgang erforderlich sein, um Parallelitäten zu beschreiben. Ausführlichere Notationen und Regeln sind in Anhang 3 dargestellt.

Nachteilig bei CPM-Netzplänen ist, dass keine dynamischen Strukturmöglichkeiten zur Darstellung der zeitmäßigen Flexibilität einzelner Vorgänge geboten werden, da der gezeichnete Balkenplan streng nach den Vorgaben des Vorgangsverzeichnisses aufgebaut werden muss. Vorteile von CPM sind die Visualisierung von Abhängigkeiten und Pufferzeiten, die jedoch auf reinen statischen Planungsdaten beruhen, und somit ggf. nicht der Realität entsprechen, bzw. sich Projektänderungen nicht anpassen. Für eine Engpassermittlung bei bestehenden Produktionsprozessen kann diese Methode nur beschränkt eingesetzt werden. Informationen über

Mitarbeiteranzahl, Lagerhaltung und Schnittstellen sind bei der Methode der Vorgangspfeilnetzpläne ebenfalls nicht enthalten.

### Anhang 3A: Konzept, Prinzip, Methode

#### Unterscheidung der Begrifflichkeit von Konzept, Prinzip und Methode:

Zur Unterscheidung der Begriffe „Konzept“, „Prinzip“ und „Methode/Technik“ wird in Abbildung [A] auf den Abstraktionsgrad des jeweiligen Begriffs verwiesen [San-‘99][Hof-‘07]. Das Transformations-Fluss-Value (TFV)-Modell hat den höchsten Abstraktionsgrad und wird als multifunktionelles Theorie**konzept**<sup>54</sup> beschrieben [San-‘99][San-‘07]. Praktischere Anwendungen, wie beschrieben in „lean-thinking“<sup>55</sup> [Wom-‘04] oder „Lean-Administration“, [Wie-‘05] weisen einen niedrigeren Abstraktionsgrad der **Prinzipien** und **Implementierungsansätze** auf. Auf niedrigster Abstraktionsebene befinden sich **Techniken, Methoden und Werkzeuge**, wie beispielsweise die 18 interdisziplinären Methoden des TPS [Dic-‘08] oder der „Methodenbaukasten“<sup>56</sup> des Lean-Management im Bauwesens (LMB) [Geh-‘06a].

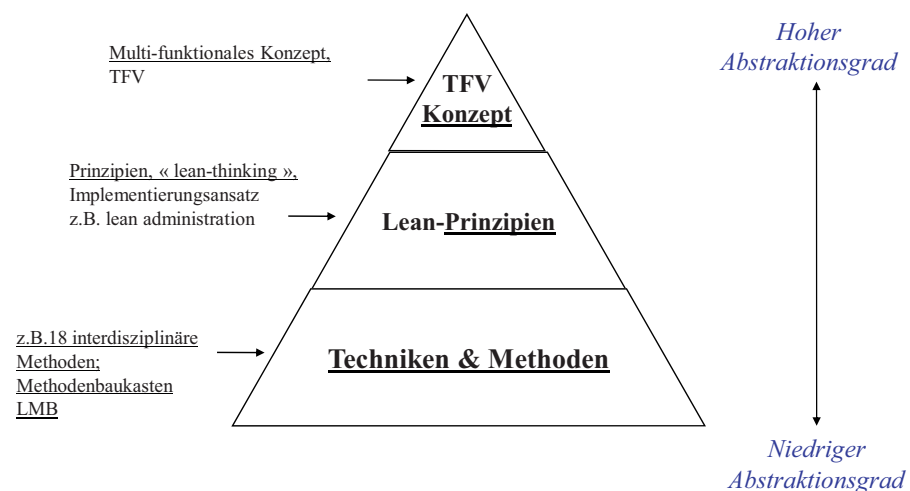


Abbildung: Begriffsunterscheidung: Konzept, Prinzipien, Methoden und Techniken [Hof-‘07]

<sup>54</sup> In der englischen Literatur wird der Begriff TFV-Konzept häufig mit TFV-Modell gleichgesetzt.

<sup>55</sup> Lean Prinzipien nach Womack und Jones: 1.) Value (Wert) 2) Value Stream (Wertstrom) 3). Flow (Fluß) 4.) Pull (ziehen) 5. Perfektion (kontinuierliche Verbesserung)

<sup>56</sup> Methodenbaukasten LMB im Anhang, K2A3



Die Differenzierung nach Höhe des Abstraktionsgrades ist wichtig, da der Übertragungsprozess von Technologien und Ansätzen aus anderen Industriezweigen dadurch stattfinden kann, dass Ansätze zunächst auf einen höheren Abstraktionsgrad gehoben werden, ihre zugrundeliegende Muster erkannt und anschließend wieder auf eine niedrigere Abstraktionsebene eines anderen Sektors adaptiert werden können [San-‘99].

### **Anhang 3B: Die sieben Arten von Fluss (Construction Physics)**

Basierend auf: [Ber-,‘06][Kos-‘07][Cou-‘07].

*Informationsfluss* in Bau und Produktion kann durch digitales Prototyping (3D) erreicht werden, indem durch digitale Visualisierung die Koordination und Bestellung sowie Arbeitsvorbereitung direkt vom Informationsmodell aus getätigt werden können. Court et al (2007) hat dafür ein kollaborierendes web-basiertes Dokumentations- und Informationsmanagementsystem für ein Projekt entwickelt, womit Informationsflüsse vom Projekt bis hin zur Supply-Chain denjenigen Projektmitarbeitern bereitgestellt werden, die diese Informationen gerade benötigen.

*Materialfluss* kann besser gesteuert werden, indem Teile zunächst nach ihrem Lager- und Modularisierungsgrad in A-Teile (Module), B-Teile (Teilvorfertigung, Heften & Kits) und C-Teile (Auffüllteile) klassifiziert werden. Court et al (2007) empfiehlt, A- und B-Teile auf Baustellen nach dem Make-to-Order Prinzip zu bestellen, wohingegen C-Teile auf Vorrat vor Ort gehalten werden. Ballard und Arbulu (2004) zielen darauf ab, dass in Zukunft Baustellen nach dem Lean-Prinzip durch Vorfertigung und Fertigteile so vereinfacht werden sollen, dass ihnen nur noch Errichtungs- und Kommissionierungsaufgaben zukommen. Aufgrund hoher Ungewissheiten in Prozessen der Produktion und auf Baustellen sind Sicherheitslager und Puffer dennoch oft unabkömmlich (Court et al 2007).

„*Fluss des Raumes*“ (*Flow of space*) ist so zu verstehen, dass Räume in Produktionszonen eingeteilt werden können, deren Größe gewissen Modulen zugeordnet werden, die wiederum mit einer bestimmten Wochentaktung an Modulen bearbeitet werden. Dadurch wird dem eingeteilten Raum eine Produktivität und Fluss zugewiesen. Dies gilt besonders für klassifizierte A-Teile (Court et al 2007). Des Weiteren benötigen die Arbeitskräfte Raum, um ihre Errichtungstätigkeiten ausführen zu können. Daher teilt Court eine spezielle Logistikgruppe den Arbeitern zu, die dafür zuständig sind, entweder A-Teile als Module an den Einbauort direkt anzuliefern, B-Teile in Kit-Form mittels Rollbehälter zuzuweisen, oder C-Teile als Verbrauchsgut

ebenfalls in Rollbehältern direkt zur Verfügung zu stellen. Auf Courts Baustelle sind keine überflüssigen nicht-eingeplanten Bauteile erlaubt. Sobald eine Arbeitsgruppe die Tätigkeiten in ihrer Errichtungszone beendet hat, nehmen sie ihre „Arbeitszentren“ mit Hilfe der Rollbehälter mit und lassen nichts zurück.

*Arbeitsfluss (flow of previous (connecting) work)* kann durch übergeordnete Teams und eine detaillierte Analyse der Installationsabfolge erreicht werden, um sicherzustellen, dass nicht mehrere Arbeitsteams innerhalb einer Arbeitszone arbeiten, es sei denn dies ist absichtlich so geplant. Damit soll ein ungestörter Arbeitsfluss gewährleistet werden. Court et al (2007) teilte seine Arbeitszonen in 1000m<sup>2</sup> Flächenabschnitte ein, mit einer Arbeitshandlungsgröße für ein Team, sodass der Abschnitt innerhalb von 5 Arbeitstagen erledigt werden kann, bevor das Team zur nächsten Arbeitszone weiterrückt.

*Fluss der Mitarbeiter und Handwerker* findet entlang der Projektplanung und Ausführung statt. Baustellenmitarbeiter können den Gruppen Logistik, Facharbeiter und multifunktionale Baukolonnen zugeordnet werden. Zu Logistikaufgaben zählt neben Materialtransport mit Hilfe von Kränen, Aufzügen oder Staplern auch der Entsorgungstransport von Reststoffen. Logistikkolonnen werden eingeplant, um die Bedürfnisse des wöchentlichen Arbeitsflusses zu unterstützen, der durch die Raumeinteilung und Arbeitskapazität der Facharbeiter und multifunktionale Baukolonnen auf der Baustelle vorgegeben ist.

Der *Fluss der Werkzeuge und Maschinen* ist ein entscheidender Faktor, um einen Wochentakt rhythmus in der Ausführung zu erlangen. Bei dieser Methode geht es darum, dass Maschinen und Werkzeuge bestmöglich nach den Arbeitern und deren auszuführenden Aufgaben ausgerichtet sind, anstatt die Arbeiter zu zwingen, Aufgaben nach Vorgabe der Maschinen auszuführen.

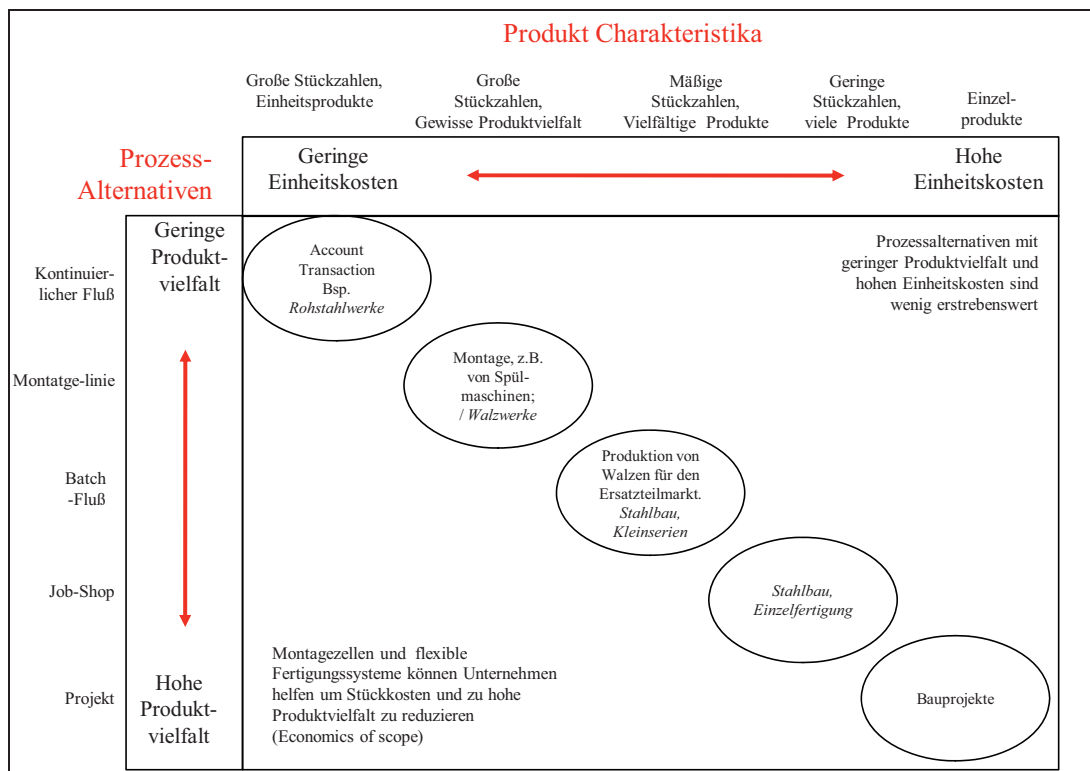
*Äußere Bedingungen*, - dies wird als weiterer Faktor in den Fertigungsprozess einbezogen, und beeinflusst den Ablauf der Produktionsflüsse auf der Baustelle. Natürlicherweise werden daher im Hausbau immer schnellstmöglich das Dach und Außenwände fertiggestellt, um beim Innenausbau von Gebäuden von äußeren Wetterbedingungen möglichst unabhängig zu sein.

Wird im Stahlsystembau sowohl die Werkshalle als Fertigungsstätte, als auch die Errichtung der Baumodule auf der Baustelle betrachtet, so spielen alle diese 7 Arten von Fluss eine wesentliche Rolle für die Fertigstellungsproduktivität.

## Anhang 4A: Diagramm Produkt- und Prozesscharakteristika

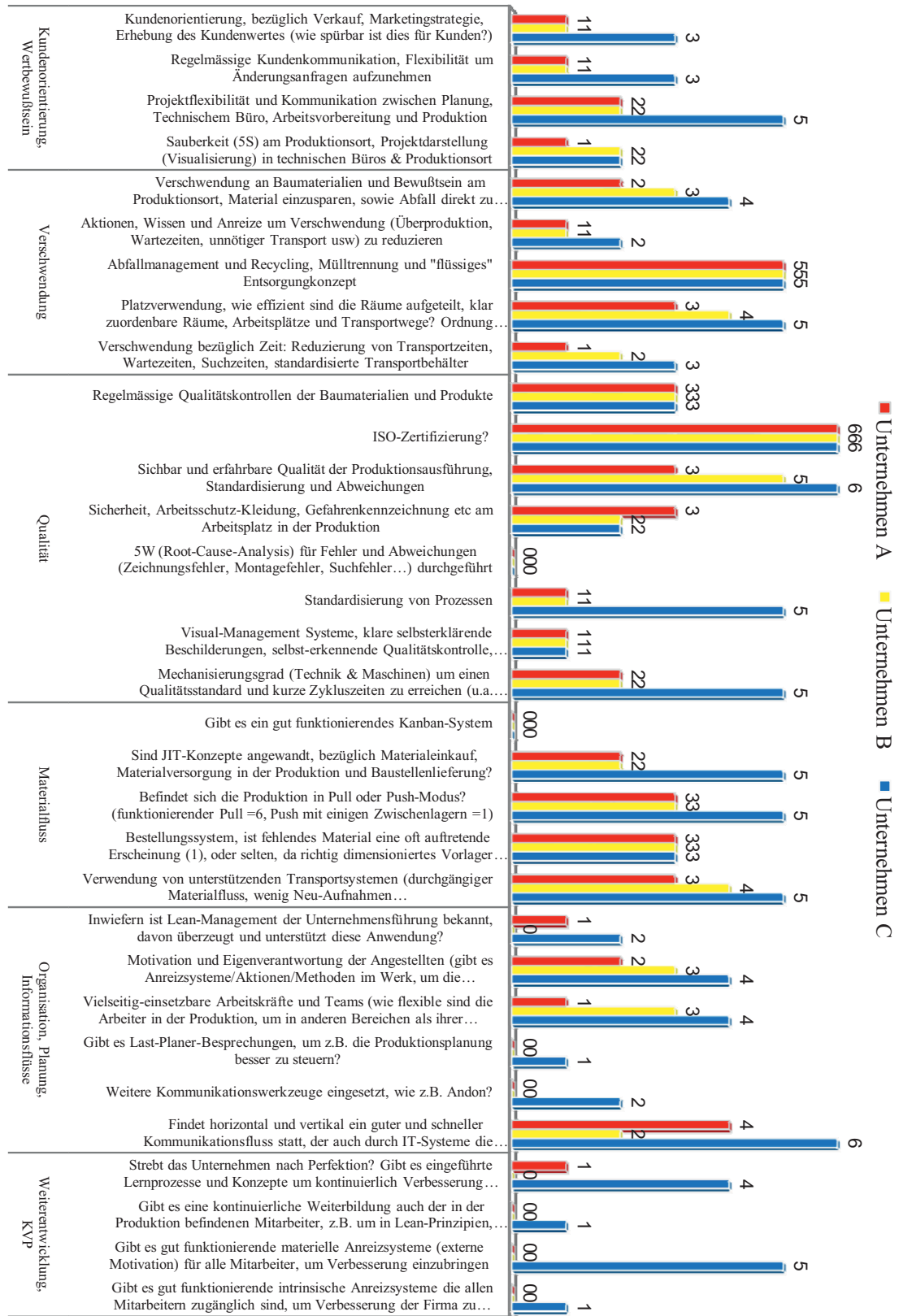
### Vergleich der PS: Stückgüterfertigung und Baustelle [Ott-'07]

	Kriterium	Stückgüterindustrie	Baustelle	Übereinstimmung
Produktion	Konstruktion	Umfasst die Angebots- und die Auftragskalkulation	Planung und Konstruktion erfolgen meist durch Architektur- und Ingenieurbüros	25%
	Arbeitsvorbereitung	Erstellung der Fertigungsunterlagen und -anweisungen	Ähnlich der Stückgüterindustrie	75%
	Fertigung	Umfasst Teilefertigung, Instandhaltung und den innerbetrieblichen Transport	Besteht aus Bauleitung und Baudurchführung	50%
	Montage	Fügen der Teile, Handhaben, Justieren und Kontrollieren	Montage von Teilen, die in eigenen Fertigungsstätten oder auf der Baustelle vorgefertigt werden	75%
Fertigung	Fertigungsplanung	Anpassung der Produktionseinrichtung	Jeweils neue Produktionseinrichtung (Baustelleneinrichtung)	25%
	Fertigungsverfahren	Gleichbleibend für eine Produktserie	Ähnlich der Stückgüterindustrie	75%
	Qualitätswesen	Qualitätssicherung, die sich aus Qualitätsplanung und Qualitätssteuerung zusammensetzt	Vorgehen entspricht dem, der Stückgüterindustrie	100%
	Teilefertigung	Umfasst die Schritte Fertigen, Handhaben und Kontrollieren	Bezieht sich im Wesentlichen auf Betriebsmittel, z.B. Kran; i.d.R. kleine zentrale Einrichtung, wird von Subunternehmern vielfach selbst organisiert	100%
	Instandhaltung	Bestehend aus Wartung, Inspektion und Instandsetzung	Umfasst den Materialfluss auf der Baustelle, ändert sich mit laufendem Baufortschritt	50%
	Innerbetrieblicher Transport	Umfasst den Materialfluss im Betrieb, meist vorgegebene Wege	Umfasst den Materialfluss auf der Baustelle, ändert sich mit laufendem Baufortschritt	50%
Strukturmerkmale der Produktion	Aufbauorganisation	Regelt die Aufteilung von Aufgaben auf verschiedene organisatorische Einheiten. Aufbaustruktur erfolgt nach verschiedenen Prinzipien (z.B. Stab-Linie)	Ähnlich der Stückgüterindustrie	75%
	Ablauforganisation	Regelung der räumlichen und zeitlichen Zusammenarbeit von Mensch und Betriebs- bzw. Arbeitsmittel	Ähnlich der Stückgüterindustrie	75%
	Fertigungstypen	Einzel-, Kleinserien- und Massenfertigung	Fast ausschließlich Einzelfertigung	50%
	Fertigungselemente	Komplex und variierend	Einfach und sich häufig wiederholend	25%
	Arbeitssysteme	Meist ortsgebundene Systeme	Ortsveränderliche Systeme	25%



Konzepte, Methoden und Produktionsstrategien, angepasst aus Santos 1999 und Vonderembse, M. 1996

## Anhang 4B: Industrie-Vorstudien (Abbildung)



# Anhang 6A: Hintergrunddaten, Kennzahlenkonzept für den Stahlbau

Kennzahlenerhebung durch Versand; Ebene 1: MOAB-Steuerung: Zielgröße: Abnahmezuverlässigkeit des bestellten Montageabschnitts durch d. Baustellenmontage messen und erhöhen		KENNZAHL: ABZu (AbnahmeZuverlässigkeit, Ebene 1)			
Datum des Warenausgangs	Formblatteingabe 1.	Formblatteingabe 2.	ABZu (AbnahmeZuverlässigkeit); Erklärung: ok = Terminabruf +/- 1 Tag; Abweichung des auf dem Lieferschein bestellten Termins. NoK = größere Abweichung	Grund für Abweichung: [Auswahlmöglichkeit: Baustop durch Wittereinbruch, verspätete Vorarbeiten, Planungsanomalie, Verzögerung des Baublaufs], schneller Baugeschwindigkeit als erwartet; Verzögerung, Werkshedingt	Montageleiter / Bauleiter
Einheit	Auftragsnummer	Lieferabschnittsnr.	ok=1 oder NoK=0	[Grund für Abweichung muss zwischen Versand und Baustelle beim Abruffelefonat geklärt werden]	Name
Beispiel der Eingabewerte	05.05.2010 06.05.2010 06.05.2010 07.05.2010	XY.BauMA.4352.123.4 XY.BauHo.4322.331.3 ZY.HaBfH.1338.992.1 ZZ.PfHKa.4533.807.3	St.12 Stützen.123.4 St.11 Kranträger.331.5 St.5 Aussteifungselemente.992.1 St.7 Quertträger.807.3	[+/- Tage]	Name
			0	Planungsmangel	Müller
			0	verspätete Vorarbeiten	Müller
			1	-	Mayer
			0	schnellere Baugeschwindigkeit als erwartet	Mayer

Auswertung:	
Kennzahl 1: ABZu (gesamt)	25%
ABZu Müller	0%
ABZu Mayer	50%
max HoAb (gesamt)	10   verspätete Vorarbeiten
max HoAb Müller	10   verspätete Vorarbeiten
max HoAb Mayer	0   -

Umgang mit ABZu-Kennzahl: monatliche Akkumulierung des ABZu-Wertes: 1. gesamt, 2. pro Firma (1+2 an Werksleitung) 3. jedem Bauleiter wird sein Ergebnis und das der anderen per Email zugesendet.  
 Umgang mit HoAb-Kennzahl: Monatlich werden alle "Ausreißer" > 1 Woche Abweichung von der Werksleitung hinterfragt; im Fall von starken Wiederholungen findet eine separate Besprechung zwischen Werk und Baustelle statt.  
 Monatliche Telefonkonferenz zwischen Versand und Bauleitung. Besprechung der Gründe für Abweichungen, Verbesserungsvorschläge und Zielvereinbarungen.

Automatisierungsmöglichkeit: Über einen BarCode können gegebenenfalls alle Informationen automatisiert bei Warenausgang ins System eingelassen werden. Einzige manuelle Eingabe ist der Grund für die Abweichung.

Kosten in MA-Stunden	essen monatlich [€] 40
10	400.000 €
1	40.000 €
10	400.000 €
	840.000 €

Kostenaufwand, für Erhebung, sobald System implementiert ist: 3 min pro Lieferung, bei durchschnittlich 5-10 Lieferungen pro Tag = 15-30 Minuten.  
 1 Stunde Auswertung und Datenaufbereitung monatlich (1 MA im Versand)

1 Stunde Auswertung und Datenaufbereitung (5-10 Personen, Telefonkonferenz)

## Anhang 6B: Kennzahlenkonzept, Indikatoren der Ebene 2 und 3

Ebene 2: Produktionsoptimierung und Verkettung der Einzelstationen; Ebene 3: Qualitäts und Verbesserungskennzahlen									
	Technisches Büro (TB), Planung und Design	Baustelle (Montage)	Versand, Kommissionieren Lagern	Beschichtung	Schweißen	Heften	Zuschnitt	Lagerhaltung, Strahlanlage	Einkauf
<b>Wertschöpfung (= wertschöpfende Leistung) der Arbeitsstationen</b>	Projektbezogen: Materialoptimierung [m <sup>2</sup> /t -> max] oder Produktionsoptimierung [min Anzahl Einzelteilen/t]; TB Arbeit optimierend: Anzahl der fertig- und richtig geplanten & gezeichneten Projekte pro Zeit [P/h] bei gleicher MA-Anzahl	Anzahl montierter Bauteile pro Zeit [HPs/h] oder Anzahl errichteter Tonne pro Zeit [t/h] bei gleicher MA-Anzahl	Fertig (ganz fertig!) gepackter Colli (LKW-Ladeinheit = eine Versandsliste) pro Stunde bei gleicher MA-Anzahl [Col/h]	Beschichtungstonnage pro Stunde [t/h] oder beschichtete Stück pro Stunde [S/h] bei gleicher MA-Anzahl; allerdings ist der Prozess vollautomatisch, einzige manuelle Prod.-steuerung ist die Zeit zur Teileaufhängung und der Aufhängevorgang selbst.	Erstellung der richtigen Schweißnaht in der geforderten Güte, Länge und Dicke in schnellstmöglicher Zeit. [Schweißnahtfläche(SA) = LängxDicke pro Stunde[SA/h]]; Zusatzregel: Die MOAB-Produktionssequenz darf nicht geändert werden! zusätzliche Kennzahl ohne Steuerungseffekt: [t/h]	Punktueller Anschweißen einer Unterposition an die richtige Stelle einer Hauptposition in kürzest möglicher Zeit. [Anzahl Verbindungen VB/h]; Zusatzregel: Die MOAB-Produktionssequenz darf nicht geändert werden! zusätzlicher KPI ohne Steuerungseffekt: [t/h]	1. Taktzeitanforderung: MOAB-Sequenzzeit mit Materialzielvorgabe für Heftschrift; Ist die Tonnage für Heftstand erreicht, wird die Restzeit anderweitig genutzt. 2. Richtig zugeschnittene Teile in der richtigen Sequenz [ET/h]; 3. geringstmöglicher Materialausschuss. (Tonnageoutput / Tonnageinput) in [%];	Zeit zur Entladung eines LKWs [LKW-Entladung/h]; Versorgungsgeschwindigkeit von Kanban-Anforderungskarte bis gestrahtes Teil an der Zuschnittsmaschine bereit liegt [St/min] bei Anforderung; Messung über Shop-Floor-Management System.	Versorgung von ausreichendem richtigen Material in der richtigen Qualität und Güte mit Lieferzuverlässigkeit der Händler, zur gewünschten Zeit mit Ziellagerbestand zu geringst möglichen Kosten.
<b>Leistungskennzahl   Ebene 2</b>	[m <sup>2</sup> /t], [EZ/t pro Projekt], [P/h] pro Mitarbeiter [Design (h) / Projekt]	[HPs/h] pro Mitarbeiter, [t/h] pro Projekt	[Col/h] pro Mitarbeiter/Team [t/h] pro Projekt	[t/h] / pro Projekt	[SA/h]; [t/h] pro Mitarbeiter	[VB/h]; [t/h] pro Mitarbeiter	[Anzahl der vorgegebenen HPs und Ups für nächste Heftschrift]. [ET/h] pro SB-Anlage; [t/h] pro Projekt und Ausschuss [%]	[LKW-Entl. h] [St/min] Zulieferungsgeschw. bei Kanban-Anforderung; pro Mitarbeiter	[OTIF der Zulieferer] in [%]; OTIF = On-Time-In-Full; Lagersatzhäufigkeit.
<b>Zwischenstände (vor Arbeitsstation oder Prozess)</b>	-	[1 Tag Vor-Material für Montageleistung]	[1 Woche Monateleistung] pro Projekt	max 2 Tage Material bis Farbwechsel	0, da Sequenzfluss	max Material für 1 Arbeitsschicht	mindestMaterial: 15min Arbeit; max-Bestand 4 h.	mindestens 1 Woche Material von allen gängigen Produkten	-
<b>Qualitäts-Verbesserungskennzahl   Ebene 3</b>	(Fehleranzahl / Projekt)-Zielwert <10; (Fehleranzahl / Einzelteil) [%] Zielwert <0,1%	Anzahl der Fehlteile; falsche Moab-Bestellung	1. PEA: (vollständig richtige Lieferung / Anzahl der Gesamtlieferungen) [%] 2. Fehlteile pro LKW-Ladung [-];	Anzahl der Qualitätsfehler aus Beschichtung / Monat	[Anzahl falscher Schweißnähte, Güten / MA und Monat]. Rückverfolgung der Gründe.	[Anzahl falsch gehefteter Teile / MA und Monat]; Rückverfolgung der Gründe	[Anzahl der falsch zugeschnittenen Teile / MA und Monat] an jeder Zuschnittstation Rückverfolgung von Gründen.	Anzahl fehlender Teile / Monat; Rückverfolgung der Gründe.	-
<b>Ziel und Wirkung</b>	Optimierung nach den jeweiligen Projektzielkriterien	Schnellerer und besserer Montageeinbau bei gleicher MA-Anzahl	Ladungen werden ganz fertig zusammengestellt; Verringerung der Zykluszeit von Kommissionierung und Beladung	gleichbleibend, kein Steuerungseffekt	Leistungsrückmeldung an Mitarbeiter; Motivation durch Leistungsanerkennung. Bessere Abschätzungsmöglichkeit für die zu planende Dauer eines MOABs	Leistungsrückmeldung an Mitarbeiter; Motivation durch Leistungsanerkennung. Bessere Abschätzungsmöglichkeit für die zu planende Dauer eines MOABs	Richtige Anforderungsgerechte Produktionstaktung; bedarfsgerechte zeitliche Kapazitätsoptimierung und bestmögliche Materialausnutzung; Klare Zielvorgaben für Mitarbeiter, dadurch motivierend.	kürzere Entladungszeiten von LKWs, dadurch verbesserter Service für Zuliefererunternehmen - bessere Kooperation; schnellere Belieferung des Zuschnitts (Servicegedanke)	Verhandlungsbasis für Preisverhandlungen mit Zulieferer. Wer hohen OTIF-Wert erbringt, liefert tatsächlich auch einen guten Service. Dadurch steigt die Zuverlässigkeit der Zulieferer; weniger Materialengpässe und bessere Preise.
<b>Erhebung mittels und durch...</b>	durch Mitarbeiter in Standard-excelformular	händisch ermittelt, täglich vom Montageleiter im Zusammenhang mit Bautagsbuch in Stand.excelformular	durch Mitarbeiter selbst; visualisiert über SFM; Eingabe täglich Teamleiter in Stand.excelformular	händisch, direkt durch Mitarbeiter. Verbuchung ins PPS-System	Information SA/Teil aus PPS-System. Zeitaufnahme durch MA über SFM-System. Teamleiter verbucht zu Schichtende die Werte in Stand.excelformular	Information VA/Teil aus PPS-System. Zeitaufnahme durch MA über SFM-System. Teamleiter verbucht zu Schichtende die Werte in Stand.excelformular	Information der Leistungsvorgabe und Sequenz durch Produktion an Schicht. [ET/h] und [t] direkt im System erfasst. Der Zuschnitt nimmt auch die Belieferungszeit [St/min] der Strahlanlage auf	Selbstmessung der MA, umgesetzt und visualisiert über SFM-Tafel. Die MA nehmen hier auch OTIF der Zulieferer auf.	- keine direkte Erhebung
<b>Umsetzung und Erfolgsfaktor</b>	Disziplin und Konsequenz der Umsetzung; Belohnungsanreiz des besten Projektteams des Monats	Stichpunktartige Zeitmessungen; Disziplin & Konsequente Umsetzung; Zahlen werden konsequent von Geschäftsleitung gefordert	direkte Umsetzung durch SFM-Tafel; nötig dazu ist Disziplin & Konsequente Umsetzung; Zahlen werden konsequent von Werksleitung verfolgt	Regelmäßige SMED-Workshops zur Aufhängungs- und Lagerhaltungsordnung bringen Verbesserung	TB gibt Daten vor; Einführung eines Shop-Floor-Mgt.(SFM)-Systems, Konsequente Zahlenverfolgung durch Produktionsleitung	TB gibt Daten vor; Einführung eines Shop-Floor-Mgt.-Systems, Konsequente Zahlenverfolgung durch Produktionsleitung	Werksleitung verfolgt die monatliche Einhaltung der MOAB-Steuerung; direkte Umsetzung über SFM-System durch Produktionsleitung	Produktionsleitung führt SFM in der Lagerhaltung ein.	-
<b>Kostenaufwand für KPI-Erhebung inklusive Auswertungsmeetings (ohne Nutzen)</b>	11 Mannstunden pro Monat (10 Mantteam): 550€	Zusammen mit KPI (LiZu, VQ), bei 20 Baustellen, pro Monat: 6000€	840€ / Monat, bei 10 LKW-Ladungen pro Tag	-	170 € / Monat und Arbeitsstand (Eingabe und Auswertung)	170 € / Monat und Arbeitsstand (Eingabe und Auswertung)	200 € / Monat und Arbeitsstand	170 € / Monat und Arbeitsstand (Eingabe und Auswertung)	50 € / Monat (Teilnahme an 1h Ergebnisbesprechung)
<b>Nutzenschätzung</b>	5% Einsparpotential	10% schnellerer Montageprozess, Verringerung der Nachlieferungen; Reduzierung der Planungspufferzeiten aufgrund höherer Lieferzuverlässigkeit und Abrufkontrolle; dadurch geringeres Versandlager	50% Zeitreduzierung durch weniger Suchen & Umlagern. Lagerreduzierung; geringeres Versandlager aufgrund höherer Abnahmezuverlässigkeit	5% schnellerer Prozess	> 20% Leistungssteigerung durch Motivation; deutliche Planungsverbesserung durch Voraussicht der Produktionsdauer; 15% weniger Transportzeiten durch geringere ZW-Lager wegen Sequenztaktung	> 20% Leistungssteigerung durch Motivation; deutliche Planungsverbesserung durch Voraussicht der Produktionsdauer; 15% weniger Transportzeiten durch geringere ZW-Lager wegen Sequenztaktung	10% Überkapazität nutzbar für Systemverbesserungen. Zwischenzeiten für Wartungs-Reparaturarbeiten nutzbar (TPM), dadurch 20% Reduzierung der Ausfälle	10% Zeitersparnis in Zulieferung des Zuschnitts. 10% bessere Zuliefererzuverlässigkeit durch OTIF-Messungen und verbesserte Zusammenarbeit bei Entladung	>5% bessere Preise verhandelbar, aufgrund zuverlässiger OTIF-Daten.
<b>Zielgröße (6 Monate)</b>	> 5% Einsparung im Vgl zu heute	> 10% Produktivitätssteigerung durch SFM und Versteigerung; 50% Verringerung der Nachlieferungen	OTIF: 80%; Zusammenstellung einer vollständigen LKW-Ladung < 1h; derzeit 2-3h; 50% Verringerung der Nachlieferungen	5% schnellerer Prozess und Optimierung des vorgelagerten Materialpuffers.	20% Leistungssteigerung, Sequenzierte und vorausschauende Produktionsplanung, 20% weniger Fehler	40% weniger Heftfehler; Umstrukturierung des Transportprozesses dadurch 20% Einsparung	20% Verringerung der Maschinenausfälle; Bedarforientierte Kapazitätsplanung und Auslastung	Belieferungszeit der Zuschnittsstation (max 15 Minuten von Lager bis Maschine).	OTIF Zulieferer: 80%

## **Anhang 6C: Doppelrichtungsverfahren zur Fehlerfindung**

Das Doppelrichtungsverfahren dient zur Rückverfolgung der notwendigen Prozessschritte beim Auftreten eines Fehlers. Mit dieser Methodik wird unmittelbar klar, wie agil eine Unternehmung auf die notwendige Fehlerbehebung reagieren kann, wenn beispielsweise in der Produktion ein Zeichnungsfehler entdeckt wird, oder auf der Baustellenerrichtung Fehlteile auftreten.

Zur Darstellung der **Abhängigkeiten und verbundenen Arbeitsflüsse** wird die Mindmap-Methode nach einer Top-Down Reihenfolge verwendet, um im selben Denkmuster des Organigramms zu bleiben. Hierbei ist der Idealzustand eines funktionierenden fehlerfreien Projektes angenommen. Dies ist eine typische Betrachtungsperspektive beispielsweise von Personalabteilungen und Geschäftsführung, d.h. von denjenigen Organisationseinheiten, die Unternehmensprozesse ursprünglich festgelegt haben. Hintergrundziel des entwickelten *Doppelrichtungsverfahrens* ist, losgelöst vom offiziellen Organigramm ein organisatorisches Gefühl für Problemfelder und Organisationsschnittstellen zu erhalten. Die Doppelrichtungsmethode erstellt die Organisationsverknüpfungen und Abhängigkeiten mittels Mindmap-Pfeildiagrammen **zuerst in Richtung des Flusses, das heißt dem idealen Prozess von Beginn (input) bis Ende (output) in Fließrichtung folgend** (Abbildung D1, Projektbeispiel aus dem Stahlsystembau). Zur **Problemfeldererkennung wird nun die Richtung umgekehrt**, d.h. es wird ein Problemfall imaginär an verschiedenen Stellen eingebaut, und die dadurch entstehenden Prozesswege rückverfolgt, die notwendig sind, um den Problemfall wieder zu beseitigen und dem idealen Prozessablauf von Neuem folgen zu können.

### Doppelrichtungsverfahren: 1. Richtung: Idealfall des Arbeitsablaufs

Beispiel eines vereinfachten Arbeitsprozessablaufs (Organisationsbereichsebene) bei einem Stahlsystembauer (Kraftwerksbau)

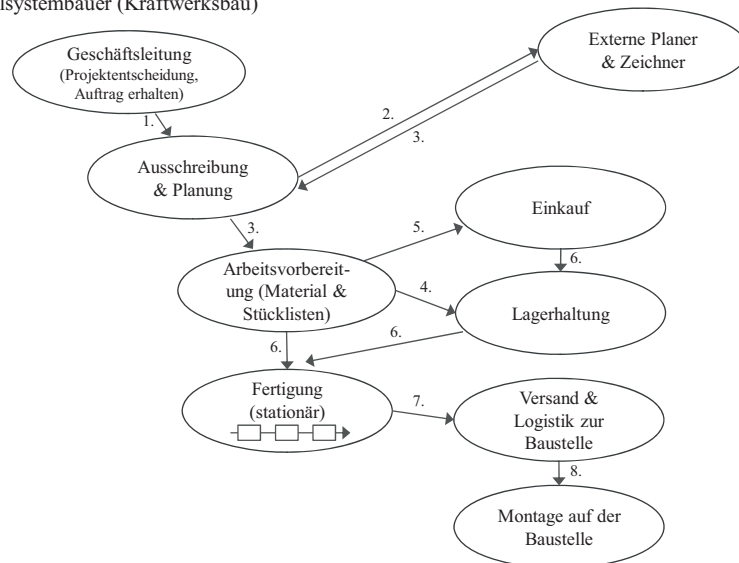


Abbildung D1, Doppelrichtungsverfahren der Arbeitsflussdarstellung in der Organisationsprozessanalyse

Die zweite Sichtweise versetzt den Analysten in die Perspektive häufig auftretender Alltagsrealität in Bezug auf ungeplante Problemstellungen, mit denen die Personen z.B. in der Fertigung konfrontiert sind. Das Doppelrichtungsverfahren zeigt die dann notwendig zu verfolgenden Prozesswege auf und vermittelt ein Gefühl für mögliche Schwachstellen des Wertstroms. Abbildung D2 zeigt als Beispiel die Fehlerrückverfolgungswege bei einem aufgetreten Fehler, der im Zeichnungsplan eines Stahlsystembauers bei der Fertigung eines Stahlkonstruktionsteiles im Kraftwerksbau entdeckt wurde. Das Material kann aus technischen Gründen nicht so gefertigt werden, wie es in der Planung vorgesehen war. Daher sind die Pläne zu ändern. Das Material wurde jedoch aufgrund des spät erkannten Fehlers bereits falsch gebohrt und muss deswegen ausgetauscht werden. Dieses Realbeispiel entstammt einer der Vorstudien und taucht dort mit einer mittleren Häufigkeit von 3-4 Fällen pro Woche auf<sup>57</sup>. Im Doppelrichtungsverfahren werden nun alle Schritte mit gestrichelten Pfeilen rückwärts aufgezeichnet, die nötig sind, um diesen Fehler zu berichtigen. Diese Darstellungsform<sup>58</sup> des Doppelrichtungsverfahrens visualisiert unmittelbar die vielen und langen zusätzlichen

<sup>57</sup> Anhand dieses Vorfalls wurde die Idee des Doppelrichtungsverfahrens von Hofacker entwickelt.

<sup>58</sup> Die zeitliche Komponente ist in der Darstellungsform noch nicht integriert. Wenn die Planung bspw. an externe unterbeauftragte Büros weiter gegeben werden muss (mit anderen Organisationsformen und eventuell unklar definierten Ansprechpartnern) ist leicht vorstellbar, wie schwerfällig die Prozesse werden und wie leicht einzelne Fehler die gesamte Produktion in der Fertigung negativ beeinflussen können.



Prozesswege, die innerhalb dieses Produktionssystem aufgrund eines kleinen Fehlers notwendig sind.

**Doppelrichtungsverfahren: 2. Richtung: Fehlerrückverfolgungswege im Prozess**

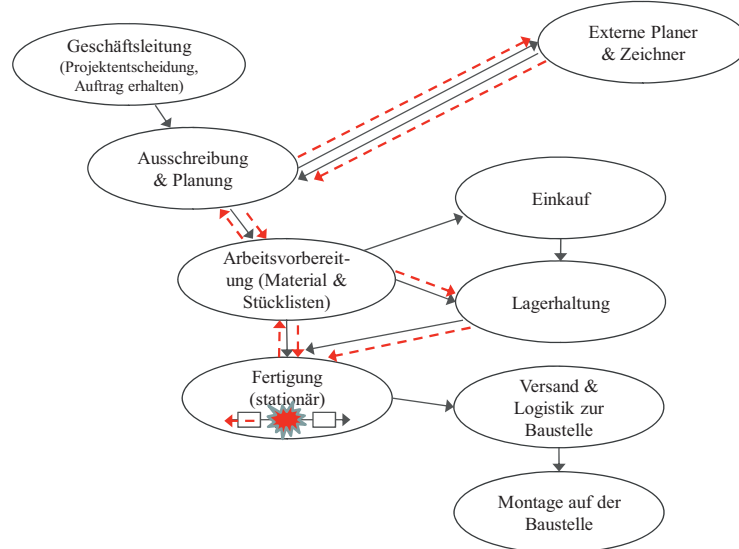
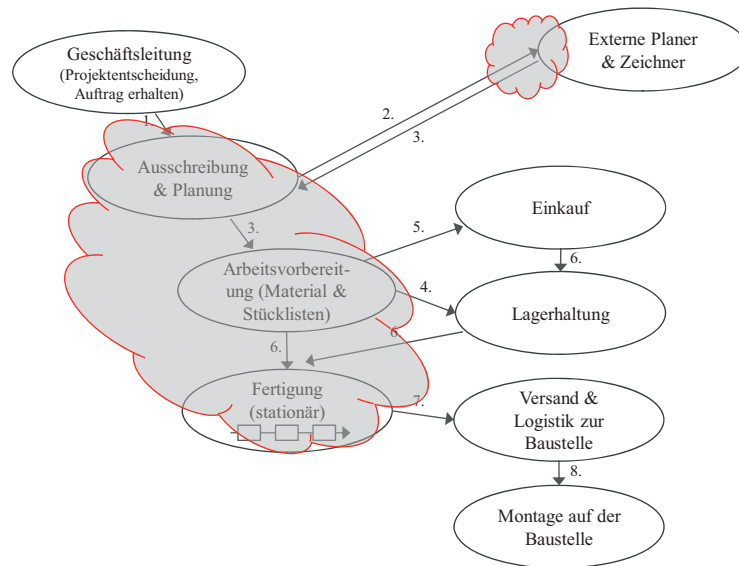


Abbildung D2, Doppelrichtungsverfahren: Fehlerrückverfolgungswege im Prozess

Vertieft innerhalb eines Workshops können die prozessmäßig vermuteten Gefahrenstellen sowie die zahlenmäßig höchsten Organisationsschnittstellen zusätzlich mit dem Symbol „Nebelwolke“ markiert werden (Abbildung D3), um an diesen Stellen später genauere Prozessuntersuchungen durchzuführen. Im Beispiel handelt es sich bei der *Arbeitsvorbereitung* um eine hochgradige Organisationsschnittstelle mit vier Organisationseinheiten und einer Maschinenschnittstelle. Hier finden Informationsübergaben und Handlungsanweisungen an andere Abteilungen statt, und Stücklisten werden über CAD-Steuerung auf Maschinen in der Fertigung direkt übertragen.

### Doppelrichtungsverfahren: 3. Nebelwolkennotation über vermutete Schwachstellen



**Abbildung D3. Nebelwolkennotation der vermuteten Schwachstellenpotentiale**

Jeder am Workshop mitwirkende Mitarbeiter hat dann zwei Nebelwolken-Post-its, die er an diejenige Stelle platzieren kann, an der er eine nähere Analyse möchte und Engpässe vermutet. Die Spielregel ist, dass jeder bei der Analyseumsetzung mithilft und die Zielsetzung zuvor klar vorgegeben ist. Die drei Stellen mit der höchsten „Nebelwolken-post-ist-anzahl“ werden als die kritischen Stellen gewählt, um im Anschluss genauer analysiert und ggf. verbessert zu werden.

*Titelseite:*

### **Auswertung des Organisationsbefragungsmodells**

#### **Version - Kurzfassung (12 Fragen) / Titelseite / Erklärungen**

Das Befragungsmodell dient zur Analyse des Unternehmenskontextes, der Strategie sowie der Organisations-Spezifika im Stahlbau, zur Untersuchung der Zusammenhänge zwischen Abteilungsfunktionen und Produktionsprozessen.

**Teilnehmer:** Zur Durchführung einer Evaluation sind mindestens 5 Personen notwendig, sofern möglich aus unterschiedlichen Abteilungen:

- a. Betriebsleitung
- b. Einkauf
- c. Technisches Büro (Konstruktion & Arbeitsvorbereitung)
- d. Produktion: Fertigung, Beschichtung, Versand
- e. Instandhaltung

Ziel der Analyse ist es, ein schnelles Verständnis der Ist-Situation einer Unternehmung zu erlangen, d.h. deren Kontext (Markt, Strategie, Unternehmensführung, Kunden- und Wertorientierung sowie organisatorische Spezifika im Stahlbau zu ermitteln). Als weiteres Ziel gilt es diese Faktoren standardisiert zu erfassen und auszuwerten. Dies hat mehrere Vorteile: zum einen bewerten die verschiedenen Mitarbeiter aus Ihrer Perspektive das Unternehmen, wodurch unmittelbar Betriebshomogenität oder Heterogenität sichtbar wird. Des Weiteren sind direkte Einblicke in die Verknüpfung von Abteilungen sowie Kenntnisse über aktuelle Leistungsermittlung, Fehlerfindungsprogramme und Verbesserungsmaßnahmen möglich.

Die Analyse gliedert sich in folgende Fragenbereiche: Markt & Strategie, Führung, Kunden, Zulieferer, Wertverständnis, Kennzahlen, Mitarbeiterverständnis von Verschwendung und der Verbesserungssystematik. Der umfassende Fragebogen enthält 20 Fragen und Strategiespiele. Die gekürzte Version ist auf 13 Kernaufgaben beschränkt.

---

## 1. Basisverständnis der wirtschaftlichen Ist-Situation der Firma:

**Frage 1:** Welches Trendszenario (bezüglich Umsatz-Kosten) entspricht der Unternehmung in den letzten 2 Jahren bis heute am ehesten? Dazu sind 12 Diagramme mit unterschiedlichen Kosten-Umsatzfunktionen zur Auswahl gegeben.

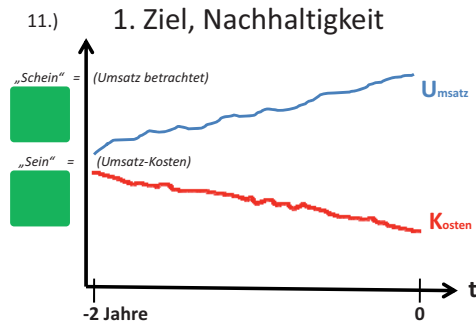
Aufgabe: Der Mitarbeiter soll diejenige Abbildung mit der jeweiligen Trendentwicklung von Umsatz und Kosten des eigenen Unternehmens wählen, das sie für richtig halten. Später werden dann aus den Antworten die beiden Kennzahlen der „Handlungsnotwendigkeit zu Veränderung“ und der „organisatorischen Resistenz“ abgeleitet.

### Ergebnisinterpretation:

Die Visualisierung der Unternehmensfinanzentwicklung als reine Umsatzentwicklung wie in der Baubranche üblich ist sozusagen der „Schein“ nach außen. Wenn beispielsweise GmbHs nur den steigenden Umsatz bekanntgeben wirkt das Unternehmen florierend, wobei sich hinter den Zahlen die Produktionskosten möglicherweise stärker erhöhen als der Umsatz und somit in die Unternehmensrealität sehr schlecht aussieht. „Sein“, ist demnach die Differenz zwischen Umsatz und Kosten. Hierbei sind Kapitalbindungen der Einfachheit halber nicht berücksichtigt. Jedes ausgewählte Diagramm ist daher mit einem Farbenkästchen auf rechter Hand als „Schein“ und „Sein“ mit den Farben Grün (gut), gelb (mittel) und rot (schlecht) bewertet.

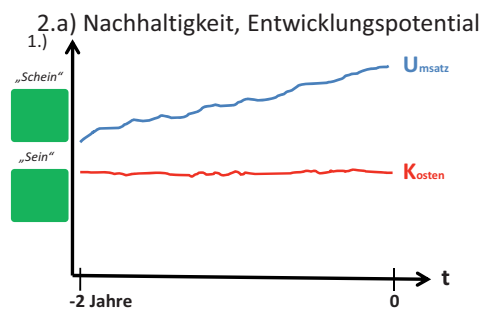
Jedem Diagramm zugeordnet ist die abgeleitete Kennzahl der Handlungsnotwendigkeit. Diese betrachtet die Frage, ob Handlungsnotwendigkeit (HN) der Veränderung basierend auf der durch Mitarbeiter eingeschätzten Umsatz- und Kostenentwicklung des Unternehmens besteht? (Skala 1...5, d.h. von gering bis hoch). Als zweite Kennzahl ist daraus die zu erwartende organisatorische Veränderungsresistenz abgeleitet (Skala 1...5, d.h. von gering bis hoch). Dahinter steckt die Hypothese, dass je weniger Handlungsnotwendigkeit zu bestehen scheint (Unternehmen hat ein gutes Außen- und Selbstbild), umso mehr organisatorische Resistenz ist zu erwarten.

Im Folgenden sind die unterschiedlichen Szenarios mit der jeweiligen Interpretation und Handlungsableitung stichwortartig erklärt. Die Überschrift der jeweiligen Auswertungsgrafik und Farbensymbolik beschreibt, ob sich das Unternehmen bereits in einer guten Zielsituation befindet mit zusätzlichem Entwicklungspotential (d.h. sehr gute wirtschaftliche Ausgangslage, „Sein“-Farbe: Grün), oder ob aufgrund der Finanzkennzahlen direkter Handlungsbedarf (als „Veränderungs-Kann/Soll“, Farbe: gelb / rot) besteht.



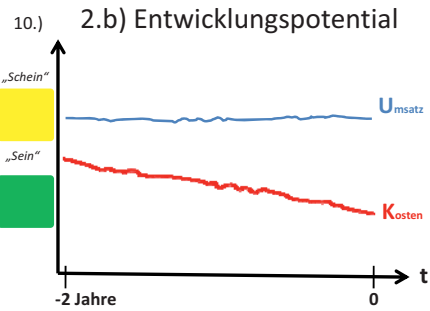
Handlungsnotwendigkeit: 1 (von 1...5); Veränderungsresistenz: 5 (von 1...5)

**Interpretation:** Das Unternehmen hat eine sehr gute wirtschaftliche Entwicklung, (dennoch ist Stabilisierung und Nachhaltigkeit wichtig). Je besser allerdings die wirtschaftliche Ausgangssituation des Unternehmens ist, umso schwieriger ist die Bereitschaft der Mitarbeiter sich für Veränderung einzubringen, da keine Handlungsnotwendigkeit zu bestehen scheint. Ohne Veränderung fehlt jedoch die Weiterentwicklung, d.h. das Unternehmen wird gegenüber sich anderen weiterentwickelnden Unternehmen zurückfallen. Daher ist die größte Herausforderung in Unternehmenssituation von Typ 1 den ständigen Handlungsbedarf nach Verbesserung zu kommunizieren und auf allen Mitarbeiterebenen umzusetzen.



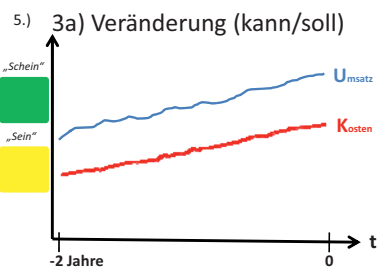
Handlungsnotwendigkeit: 1 (von 1...5); Veränderungsresistenz: 5 (von 1...5)

**Interpretation:** Ziel für Unternehmen der Situation 2.a) ist den Umsatz weiter zu steigern oder zumindest zu halten und zugleich eine Kostenreduzierung oder Kostenkonstanz zu erreichen. Aufgrund des hohen Umsatzes ist die Außendarstellung des Unternehmens gut, d.h. es wird wenig Handlungsnotwendigkeit zu weiterer Veränderung gesehen und dementsprechend wird es den Mitarbeitern schwer fallen die Notwendigkeit zu weiterer Veränderung bezüglich zusätzlicher Verbesserung zu verstehen. Dementsprechend ist die Veränderungsresistenz der Organisation hoch.

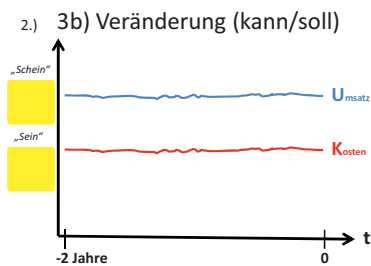


*Handlungsnotwendigkeit: 2 (von 1...5); Veränderungsresistenz: 5 (von 1...5)*

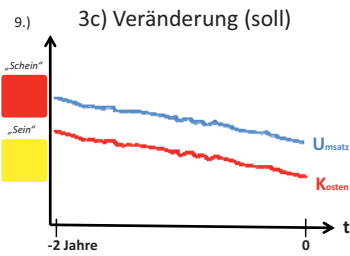
**Interpretation:** Für Unternehmen der Situation 2.b) ist das Streben nach weiterem Entwicklungspotential hinsichtlich Umsatzsteigerung und Kostenkonstanz oder weiterer Kostenreduzierung wichtig. Auch hier wird die Organisationsresistenz für weitere Veränderungen erwartungsgemäß hoch sein, da die stetig gesenkten Kosten innerhalb der Organisation bereits spürbar sind.



*Handlungsnotwendigkeit: 2 (von 1...5); Veränderungsresistenz: 4 (von 1...5)*



*Handlungsnotwendigkeit: 2 (von 1...5); Veränderungsresistenz: 3 (von 1...5)*



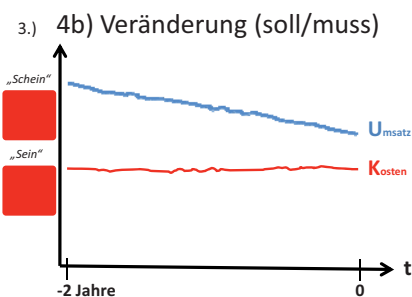
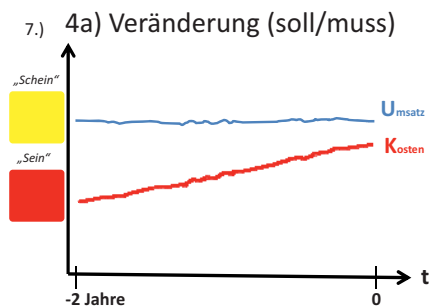
Handlungsnotwendigkeit: 3 (von 1...5); Veränderungsresistenz: 3 (von 1...5)

**Interpretation:** Bei Unternehmen der Situation 3 a) bis c) wird deutlich, dass Veränderung stattfinden sollte. Im Fall 3a ist dies aufgrund der steigenden Umsätze weniger sichtbar, wie im Fall c). Folgender Handlungsbedarf besteht in den drei Fällen:

3.a) Nachhaltigkeit der Umsatzsteigerung, Streben nach Veränderung um Kostenstagnation/Reduzierung zu erreichen.

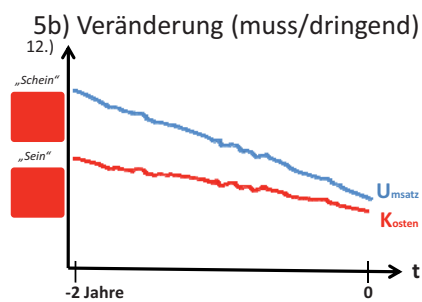
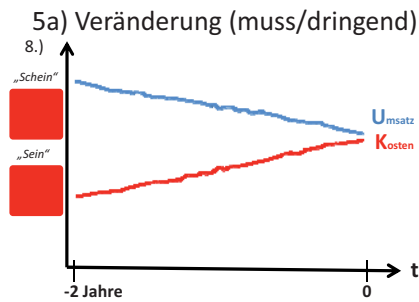
3.b) Veränderungen zur Umsatzsteigerung, sowie Kostenreduzierungen.

3.c) Veränderung sollte auf Umsatzkonstanz/-Steigerung abzielen, bei Kostenkonstanz oder weiterer Reduzierung.



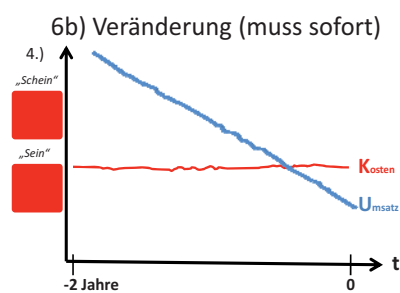
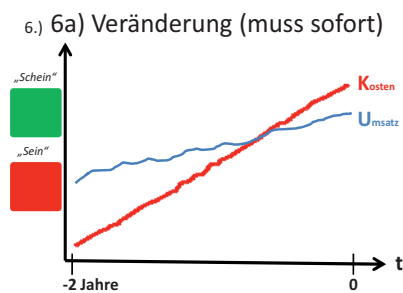
Handlungsnotwendigkeit: 3 (von 1...5); Veränderungsresistenz: 3 (von 1...5)

**Interpretation:** In beiden Fällen (4a und 4b) muss Veränderung geschehen. Im Fall 4b ist dies direkt nach außen sichtbar.



Handlungsnotwendigkeit: 4 (von 1...5); Veränderungsresistenz: 1 (von 1...5)

**Interpretation:** Ein Unternehmen in dieser Situation muss handeln, andernfalls droht das wirtschaftliche Aus. Wenn den Mitarbeitern diese schwierige Lage richtig kommuniziert wird, ist erwartungsgemäß weniger Organisationsresistenz für Veränderung vorhanden. Es muss jedem einleuchten, dass Veränderung unabdingbar ist.



Handlungsnotwendigkeit: 5 (von 1...5); Veränderungsresistenz: 1 (von 1...5)

**Interpretation:** Im Fall 6a und 6b muss sofort Veränderung geschehen um den Firmenfortbestand zu gewährleisten. Wird nur der Umsatz kommuniziert, so erscheint Unternehmen in Fall 6a) nach außen als gutes Unternehmen, während in der Realität aufgrund der schneller wachsenden Kosten die Situation so kritisch wie in Fall 6b ist.

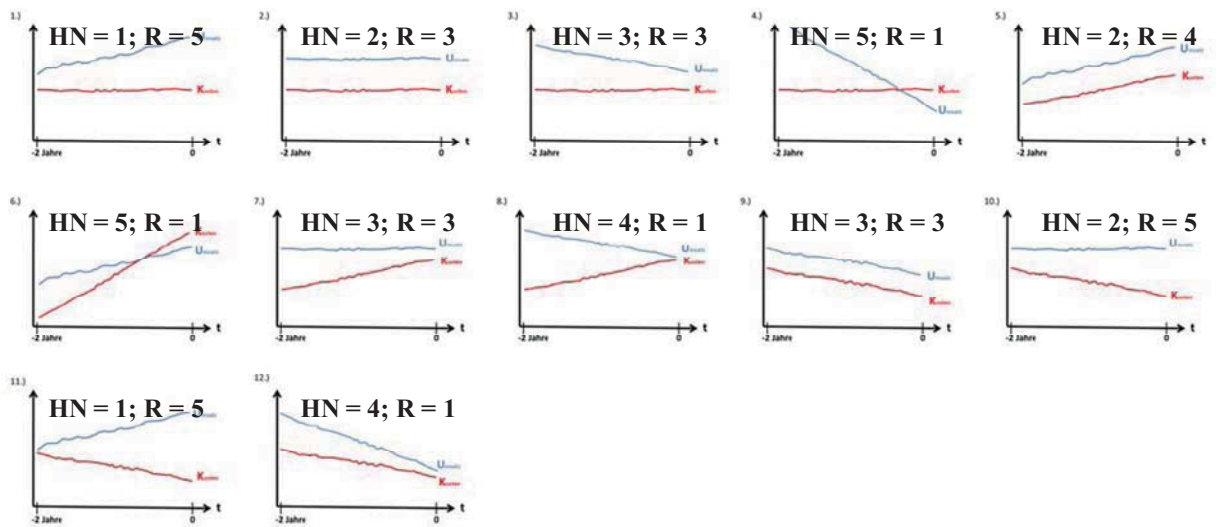
Antwortoption 13): „Keine Ahnung“

Handlungsnotwendigkeit: 3 (von 1...5); Veränderungsresistenz: 5 (von 1...5)

**Interpretation:** Wenn die Verhältnistendenz zwischen Umsatz- und Kosten nicht bekannt ist, spiegelt dies fehlende Zielklarheit oder Identifikation der Mitarbeiter mit der Firma wieder. Die Ausrichtung aller Mitarbeiter auf Gewinnsteigerung sollte der gemeinsame Nenner jeder wirtschaftlich orientierten Unternehmung sein.



Die folgende Grafik dient als Bewertungsübersicht aller 12 Wahldiagramme:



13) HN = 3; R = 5

"Keine Ahnung"

Die Berechnung der daraus abgeleiteten Kennzahlen erfolgt in Anhang 7B.

## 2. Interpretationsschema der Folgefragen bezüglich Marktverhältnisse, externe Faktoren:

**Frage 2a:** Wie sind die Spielregeln am Markt?

- Umkämpft
- Schnell volatil
- Produktspezifisch, Nische

**Frage 2b:** Wie ist ihre Marktposition bezogen auf den größten Marktkonkurrenten?

- Sie sind bereits das größte Unternehmen
- 2-5. Position am Markt
- < 5% Marktanteil

**Frage 2c:** Wie ist Ihrer Meinung nach die Wachstumsperspektive des Unternehmens für die Zukunft (5 Jahre)?

- Wachstum größer 5% durch Akquisition und inneres Wachstum
- Zielgröße erreicht, Stabilisierungsphase
- Verringerung der Unternehmensgröße und stärkere Ausrichtung auf Kernkompetenzen.

/

---

**Frage 2d:** Welche Orientierung entspricht am meisten ihrem Unternehmen?

- Schaffe das beste Produkt (produktorientiertes Unternehmen)
- Produziere stückmäßig am günstigsten (produktionsorientiertes Unternehmen)
- Alle Produkte sind das gleiche, es geht im Wesentlichen darum, so gut wie möglich zu verkaufen (verkaufsorientiertes Unternehmen)

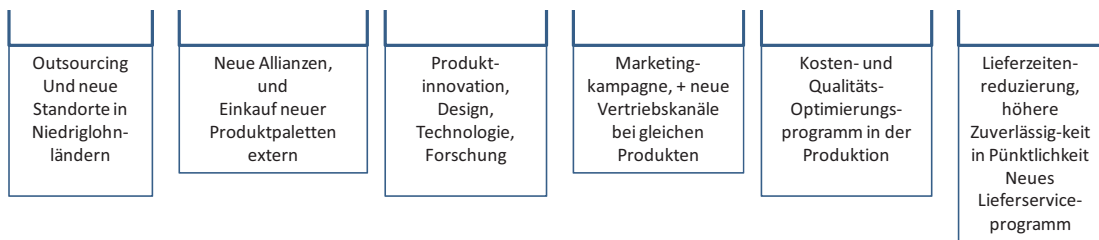
**Zielsetzung und Interpretation:** Hintergrund der entwickelten Fragen ist, die Unternehmenskultur und die von den Mitarbeitern empfundene Ausrichtung des Unternehmens zu erfassen. Wie ist die eigene Perspektive hinsichtlich der Größe am Markt, wie werden die Marktgegebenheiten erlebt und welcher Orientierung entspricht das Unternehmen? Durch die geschlossenen Fragen kann zugleich analysiert werden, in wie fern die Antworten der befragten Personen divergieren oder homogen ausfallen. Dies lässt direkte Rückschlüsse auf die vorherrschende oder fehlende Kommunikation der Unternehmensführung hinsichtlich Unternehmensausrichtung und Orientierung zu.

Anhand dieser 4 Fragen wird die Kennzahl der Homogenität bzw. Heterogenität der Mitarbeiterperspektive auf das Unternehmen errechnet (Anhang 7B).

### 3. Strategie-Zukunftsperspektiven:

**Aufgabe/Spiel:** Sie sind Top-Manager ihrer Firma und bekommen 10 Münzen (Ressourcen) um damit in die Zukunftsstrategie ihres Unternehmens zu investieren.

Damit eine Strategie einen Effekt hat, müssen mindestens 3 Münzen gesetzt werden. Es können aber auch mehr gesetzt werden, was den Effekt deutlich erhöht. Betrachten Sie heute Ihr Unternehmen. Wie würden Sie Ihre 10 Ressourcen investieren, um Ihr Unternehmen zukunftsgerichtet (5-10 Jahresperspektive) zu führen?

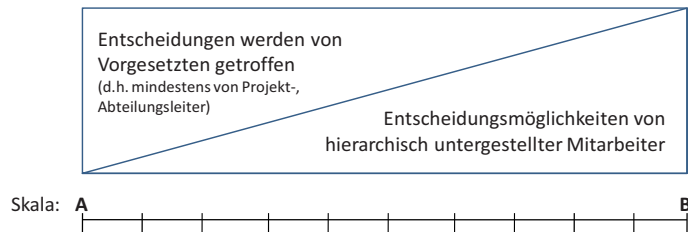


**Zielsetzung und Interpretation:** Aus der Antwort der verschiedenen Teilnehmer unterschiedlicher Abteilungen ist sichtbar. Zum Beispiel würden die Mitarbeiter den Investitionsschwerpunkt auf Kosten- und Qualitätsoptimierungsprogramme in der Produktion legen. Gegebenenfalls liefern sie damit selbst ein Argument, um später in solche Kampagnen zu investieren, die ggf. auch sie selbst betreffen. Ein solches Ergebnis der Organisationsumfrage ist sozusagen ein „Türöffner“ um Produktionsoptimierungsstudien und Programme durchzuführen, denn die eigenen Mitarbeiter (auch aus der Produktion) halten dies für den besten Weg. Zugleich spiegelt es wie die vorigen Fragen Einsichten über gleichgesinnte Zukunftsperspektiven oder unterschiedliche Ansichten.

#### 4. Führungssystem, Unternehmenskultur, Entscheidungen:

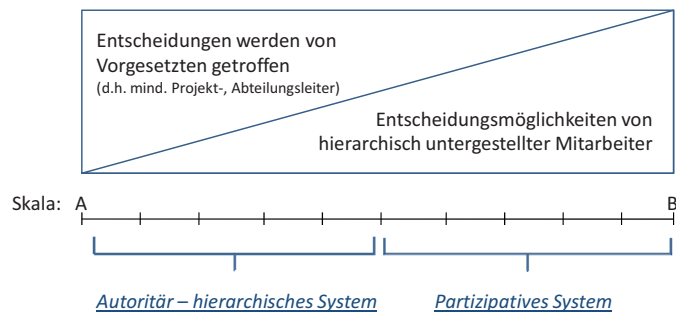
Frage: In welche Art von Führungsstil würden Sie Ihre Firma einordnen?

Kreuzen Sie bitte auf der Skala zwischen A und B Ihre Sichtweise des momentanen Führungsentscheidungsstils an.



#### Interpretation und Zielsetzung:

##### Klassifikation von Führungsstilen nach Ihrem Partizipationsgrad



Innerhalb der Auswertung wird die Selbsteinschätzung des Mitarbeiters mit den Ergebnissen der restlichen Befragten innerhalb der Gruppe ausgegeben. Die Zielsetzung eines partizipativ geführten Unternehmens fördert anreizorientierte Produktions- und Logistiksteuerung, sowie Mitarbeiterinitiative und Programme der kontinuierlichen Verbesserung.

## 5. Unternehmensprinzipien und Werte:

Frage: Wie würden Sie die 3 Unternehmensprinzipien (Wertekodex) ihrer Firma benennen?

Wie wird diesen Punkten Rechnung getragen?

- indirekt, z.B. durch Marketing
- durch Investition
- durch monetäre Mitarbeiteranreize
- durch Auszeichnungen
- Sonstiges: \_\_\_\_\_

**Zielsetzung und Interpretation:** Inwiefern kennen die Personen und identifizieren sie sich mit Werten und sozialer Darstellung des Unternehmens? Inwiefern sind bereits Potential / Schwierigkeiten absehbar, um Mitarbeiter zu integrieren, was mit Sozialbewusstsein zusammen hängt. Vielleicht sind bereits Anreizprogramme zur Verbesserung bestehend.

## 6. Kundenkenntnis:

**Was zählt für Ihre Kern-Kunden am meisten?**

Aufgabe: Ordnen Sie die 4 angegebenen Möglichkeiten nach Ihrer Priorität für ihre Kunden der Reihe nach an (1. = höchste Priorität, 4. niedrigste Priorität)

- Zeit (kürzeste von Auftragseingang bis Lieferung & Zuverlässigkeit)
  - Qualität
  - Kosten
  - Service & Individualität (Beratung, Betreuung)
- 
- Kundenpriorität ist nicht bekannt

**Hintergrund und Zielsetzung:** Haben die Mitarbeiter eine klare Vorstellung hinsichtlich der Frage, was für die Kern-Kunden am meisten zählt? Besteht auch bei den Mitarbeitern in der Produktion eine klare „Kundenperspektive“?

---

## 7. Zulieferservice:

Frage: Wie betrachten Sie den Service, den Ihnen Ihre Zulieferer anbieten aus der Perspektive des Kunden?

**Hintergrund und Zielsetzung:** Die Mitarbeiter sollen die Perspektive erhalten, sich innerhalb einer Versorgungskette zu befinden, und realistisch den ihnen erbrachten Service beurteilen.

## 8. Kennzahlen und Messung der Zielsetzung in den einzelnen Abteilungen:

Frage: Mit welchen Kennzahlen wird derzeit in den einzelnen Bereichen die Leistung ermittelt?

- Wie lautet Ihre Abteilung?
- Wird derzeit eine systematische Leistungsermittlung durchgeführt? (ja / nein)
- Wenn Leistungsermittlung stattfindet, um welche Kennzahl handelt es sich?

**Hintergrund und Interpretation:** Die Antworten sind direkt relevant, um zu erkunden, ob ein funktionierendes Kennzahlensystem bereits besteht, oder ob sich Bedarf ankündigt ein solches zu entwickeln. Gleichzeitig sensibilisiert die Frage die Mitarbeiter indem implizit konstatiert wird, dass in jedem Bereich Leistung systematisch ermittelt werden kann oder werden soll. Alle bereits erfassten Kennzahlen können zur quantitativen Produktionsanalyse direkt genutzt werden, und benötigen keiner neuen Erhebung. Aus Frage 9 abgeleitet folgt bei bestehenden Leistungskennzahlen die Untersuchung, was mit den erhobenen Kennzahlen geschieht, wie sie genutzt sind, mit welchem Effekt und welchen notwendigen Folgehandlungen.

## 9. Ermittlung und Reduzierung der Fehlerzahlen (z.B. Fehlteile, Qualitätsmängel usw.):

Frage: Wie werden derzeit Fehler in den einzelnen Bereichen gefunden, zu den Ursachen rückverfolgt und ggf. statistisch erfasst, um Verbesserung erreichen zu können?

- Derzeit besteht keine systematische Erhebung der aufgetretenen Fehler, oder ist nicht bekannt.
- Fehler werden ermittelt und mit der folgenden Kennzahl rückverfolgt:...

**Hintergrund und Interpretation:** Die Interpretation basiert auf demselben Prinzip wie Frage 9, jedoch mit der Ausrichtung auf die Fehlerfindung (5W-Programme). und basierend auf der Hypothese, dass Qualitätsverbesserung nur durch stetige Prozesse stattfinden kann, d.h. durch die Unterstützung von systematischen Fehlerfindungsprogrammen, die über Kennzahlen in allen

Abteilungen eingesetzt werden können. Ziel ist eine „positive Fehlerfindungskultur“ im Unternehmen zu schaffen als Basis und Ausrichtung auf kontinuierliche Verbesserung.

Gleichzeitig sensibilisiert die Frage ebenfalls die Mitarbeiter, dass in jedem Bereich Fehler systematisch ermittelt werden können oder ggf. werden sollen. Daraus abgeleitet folgt bei vorhandenen Fehlerkennzahlen die Untersuchung, was mit den erhobenen Daten geschieht, wie sie genutzt sind, mit welchem Effekt und mit welchen notwendigen Folgehandlungen.

#### **10. Engpassermittlung im Unternehmen, bezüglich Durchfluss:**

Frage: Wo vermuten Sie die höchste Wahrscheinlichkeit, dass ein Produktions- oder Logistikkengpass im Unternehmen entsteht? Kreuzen Sie bitte eine Möglichkeit an.

- an einer Maschinenschnittstelle, aufgrund von Maschinendefekten
  - an einer Organisationsschnittstelle mit Maschineneinsatz
  - an einer mehrfachen Organisationsschnittstelle zwischen Abteilungen
  - an keinen Schnittstellen, sondern direkt an einzelnen Arbeitsstationen
  - an IT-Schnittstellen.
- 
- Warum vermuten Sie hier den Engpass?

**Hintergrund und Zielsetzung der Frage:** Die Frage greift direkt eine versteckte Hypothese der Forschungsarbeit auf, dass Engpässe in Produktion- und Logistik vorwiegend an organisatorischen Schnittstellen auftreten. Die Frage nach den Gründen ist ebenfalls den Antworten der eigenen Mitarbeiter aus den unterschiedlichen Abteilungen überlassen.

#### **11. Verschwendung, Muda:**

Frage: Wo geht Ihrer Meinung nach derzeit im Unternehmen viel "Wert" verloren?

Bitte schreiben Sie stichwortartig Ihre Antwort und wenn möglich eine kurze Begründung für Ihre Einschätzung:

**Hintergrund und Zielsetzung:** Die entscheidende Frage innerhalb der lean-Bewegung nach „vorliegender Verschwendung“ wird als offene Frage an die Befragten weitergegeben. Dabei dürfen keine Namen fallen, es geht auch nicht um Schuldzuweisung und die Personen bleiben

/

---

anonym. Auch die Frage nach den Gründen überlässt der Fragebogen somit zunächst den Antworten der eigenen Mitarbeiter aus den unterschiedlichen Abteilungen. Dies basiert auf der These, dass die Mitarbeiter (sofern nicht „unternehmensblind“) am besten die Gründe für Verschwendung kennen. Die Frage basiert auf dem Hintergrund aus Psychologieansatz und Theory of Constraints [Gol-‘91]: „intuitiv sind die meisten Probleme bereits bekannt, sie müssen nur artikuliert werden!“

Mit Hilfe dieser offenen Frage können Potentialstellen der Verschwendung identifiziert werden, ohne überhaupt das Unternehmen als externer Beobachter zu kennen. Diese sind dann über Messungen näher zu untersuchen um zu verifizieren ob die Einschätzungen richtig sind.

## **12. Selbstverständnis von kontinuierlicher Verbesserung:**

Frage: Wie ist die Definition von „Verbesserung“ in Ihrer Organisation einzuschätzen?

Wählen Sie aus, was bei Ihnen in der Abteilung am ehesten entspricht:

- als Zusatzaktivität zu meinem eigentlichen Job.
- Verbesserung ist ein periodisches Zusatzprojekt (eine Kampagne)
- Ich sehe Verbesserung als legitime Arbeit (notwendiger Teil der täglichen Arbeit)
- Verbesserung ist die Aufgabe einer zentralen Aktivität / Organisationseinheit.

**Hintergrund und Zielsetzung:** Die Befragung endet mit dem Ausblick auf Verbesserung, d.h. der Frage, wie der einzelne Mitarbeiter seine eigene Rolle im Zusammenhang mit dem Einbringen von Verbesserungsansätzen in die Firma definiert. Besteht eine Homogenität der Antworten und entsprechen die Antworten der Wunschvorstellung der Unternehmensstrategie der Geschäftsführung? Wenn nicht, welche Schritte und Maßnahmen können folgen um ein gewünschtes Grundsatzverständnis von Verbesserung zu schaffen? Die Antwort der Definition der eigenen Rolle hinsichtlich Unternehmensverbesserung bildet die Ausgangsbasis für spätere Umsetzung und Weiterführung von Verbesserungsmaßnahmen.



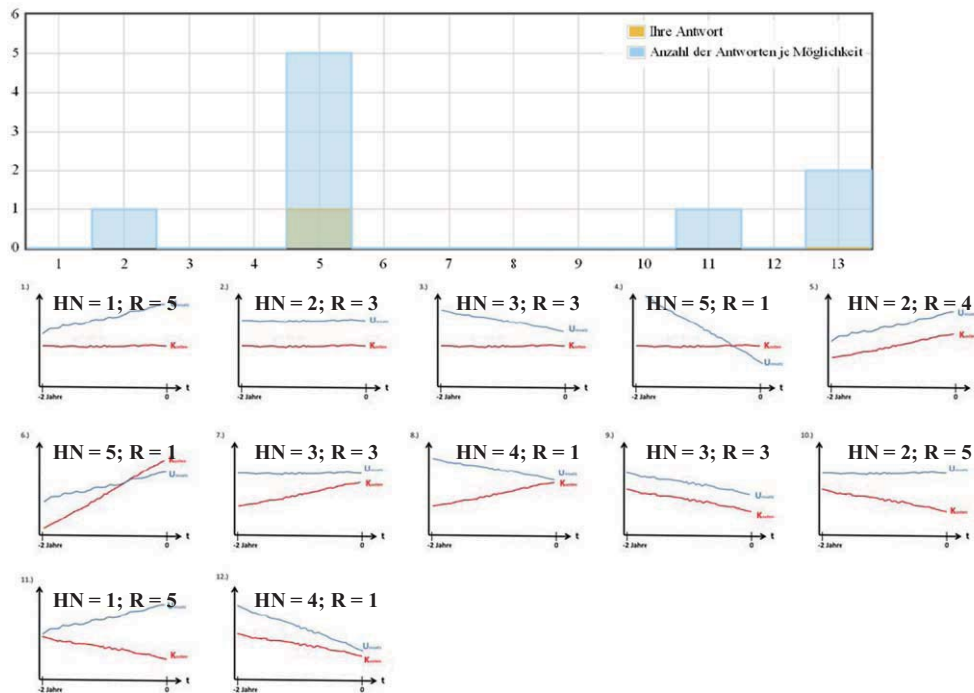
## Anhang 7B: Berechnung der abgeleiteten Kennzahlen

Insgesamt werden drei organisatorische Kennzahlen aus den Antworten des Befragungsmodells abgeleitet:

1. Handlungsnotwendigkeit der Veränderung (HN)
2. Zu erwartende organisatorische Resistenz gegen Veränderung (R)
3. Heterogenität oder Homogenität der Mitarbeiterperspektiven.

Die Berechnung der ersten beiden Kennzahlen basiert auf der in Anhang 7A vorgestellten Bewertungsskala der jeweiligen Umsatz-Kostenentwicklungs-diagramme. Als Beispiel sind die Ergebnisse dieser Frage aus Fallstudie 2 im Folgenden dargestellt.

Welches Trendszenario (bezüglich Umsatz-Kosten) entspricht der Unternehmung in den letzten 2 Jahren bis heute am ehesten?



13) HN = 3; R = 5  
"Keine Ahnung"

Zur Berechnung der Organisation Kennzahlen (HN) und (R) werden wird der Mittelwert der Antworten gebildet. In diesem Fall entspricht es wie in der folgenden Tabelle dargestellt einem HN-Wert von 2,11 und einem R-Wert von 4,22.

Antworten	Handlungsnotwendigkeit d. Veränderung (HN) (gering 1...5 hoch)	zu erwartende organisatorische Resistenz ( R ) (gering 1...5 hoch)
1	2	3
2	2	4
3	2	4
4	2	4
5	2	4
6	2	4
7	1	5
8	3	5
9	3	5
Summe	19	38
Durchschnitt	<i>2,11</i>	<i>4,22</i>

Die Aussage dieser beiden Kennzahlen ist folgende: Das Unternehmen steht nach außen hinsichtlich Umsatz und Kostenentwicklung gut da. Deswegen ist die Handlungsnotwendigkeit für Veränderung basierend auf der durch Mitarbeiter eingeschätzten Umsatz- und Kostenentwicklung des Unternehmens mit der Gesamtwertung 2,11 bei einer Skala von 1 bis 5 sehr niedrig.

Zugleich zeigt die zweite daraus abgeleitete Kennzahl, dass erwartungsgemäß in einem solchen Unternehmen die organisatorische Veränderungsresistenz mit einer Gesamtwertung von 4,22 bei einer Skala von 1 bis 5 hoch ausfällt.

Das dahinterstehende Prinzip ist nicht nur in Unternehmensorganisationen sondern auch in der angewandten Psychologie bekannt: je schlechter die erlebte Ausgangssituation, umso mehr Bereitschaft und Einsicht zu notwendiger Veränderung. Je besser die Ausgangssituation, umso höher ist die zu erwartende organisatorische Resistenz, da weniger Einsicht vorhanden sein wird, weswegen Veränderung nötig ist. Dieses Phänomen ist bereits in der Bibel bekannt: Lukas 3,15, „die Gesunden bedürfen des Arztes nicht“.

**Die Berechnung der dritten organisatorischen Kennzahl (Heterogenität / Homogenität der Mitarbeiterperspektive)** setzt sich zusammen aus den Antworten der Fragen 2a, 2b, 2c, 2d und 12. Dabei wird der jeweils höchste gleichgenannte prozentuale Antwortwert aufsummiert und gemittelt. Wenn beispielsweise alle Befragten die Spielregeln am Markt gleich einschätzen, so wird der Wert 1,0 in die Rechnung einbezogen. In der folgenden Tabelle sind die ist die Beispielberechnung mit Werten aus Fallstudie 2 durchgeführt.

Berechnung der Heterogenität-Homogenität der Mitarbeiterperspektive	
<i>Fragen:</i>	<i>Antworten der jeweil höchsten Prozentzahl übereinstimmender Antworten:</i>
Spielregeln am Markt	1,00
eigene Marktposition	0,67
Wachstumsperspektive	0,50
Orientierung des Unternehmens	0,83
Selbstverständnis KVP	0,66
<b>gemittelter Durchschnitt</b>	<b>0,732</b>

**Ergebnis und Interpretation:** Basierend auf den Übereinstimmungen der Antworten der Teilnehmer zu den fünf geschlossenen Fragen bezüglich Marktgegebenheiten, Wachstumsperspektive, Marktposition, Orientierung des Unternehmens und Selbstverständnis der kontinuierlichen Verbesserung ist das Ergebnis hier mit 0,732 auf einer Skala von Null bis Eins tendenziell homogen ausgerichtet:

Heterogenität: (0)..... <b>0,732</b> .....(1,0) Homogenität.
--

Das heißt, je kleiner die ermittelte Kennzahl ausfällt, umso weniger kann von einer „gemeinsamen“ Unternehmensperspektive der Mitarbeiter gesprochen werden. Im Unternehmen der 2. Fallstudie ist eine gute Homogenität der Mitarbeiterperspektive vorhanden. Je nach Managementbestrebung kann durch verbesserte Kommunikation diese noch weiter homogenisiert werden.

## Anhang 7C: Direktes Ergebnisse der Organisationsbefragung, Case 1

Die ausgewerteten Ergebnisse basieren auf den Eingaben von 6 Teilnehmern.

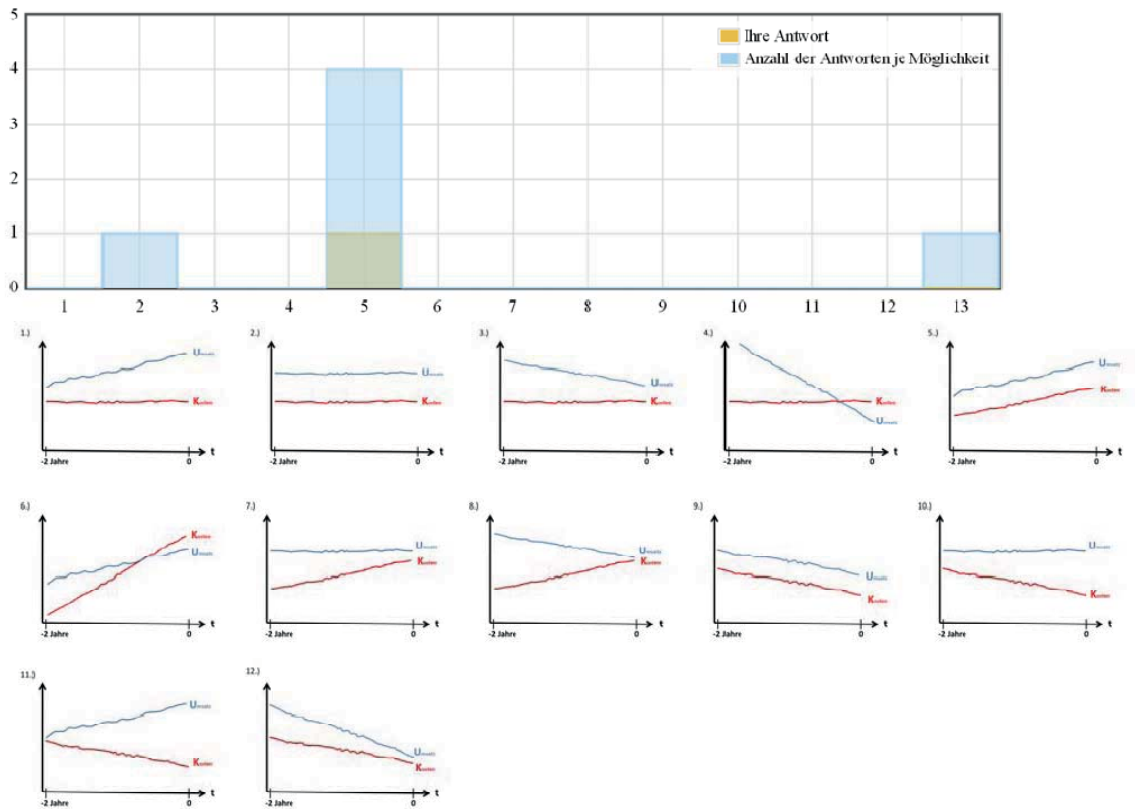
**Legende:**

*x-Achse: Nummer der zugehörigen Antwort*

*y-Achse: Anzahl der Antworten zur zugehörigen Antwortmöglichkeit*

Fragebogen: 1

Welches Trendszenario (bezüglich Umsatz-Kosten) entspricht der Unternehmung in den letzten 2 Jahren bis heute am ehesten?

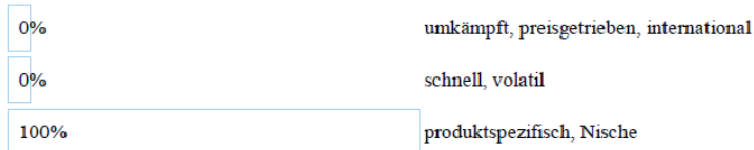


13)

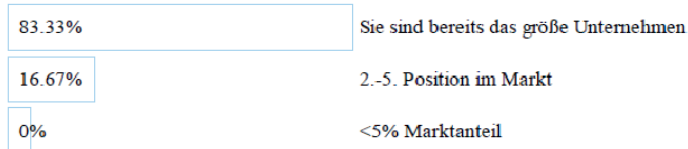
"Keine Ahnung"

Fragebogen: 2

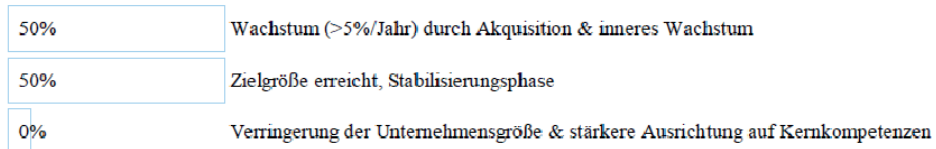
**Wie bewerten Sie die Spielregeln am Markt?**



**Wie ist ihre Marktposition bezogen auf den größten Marktkonkurrenten?**



**Wie ist ihrer Meinung nach die Wachstumsperspektive des Unternehmens für die Zukunft (5 Jahre)**

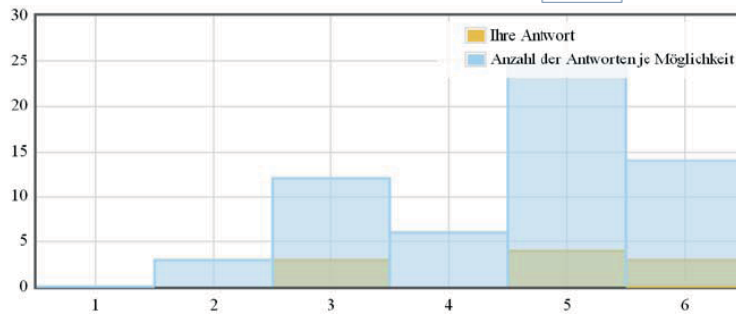


**Erklärung dafür:**

## Fragebogen: 3

**Aufgabe/Spiel:** Sie als Top-Manager bekommen 10 Münzen (Ressourcen) um damit in Ihre Zukunftsstrategie des Unternehmens zu investieren. Betrachten Sie heute Ihr Unternehmen. Wie würden Sie Ihre 10 Ressourcen investieren, um Ihr Unternehmen zukunftsgerichtet (5-10 Jahresperspektive) zu führen?

Damit eine Strategie einen Effekt hat, müssen mindestens 3 Münzen gesetzt werden. Es können aber auch mehr gesetzt werden, was den Effekt deutlich erhöht.



1. Outsourcing Und neue Standorte in Niedriglohnländern
2. Neue Allianzen, und Einkauf neuer Produktpaletten extern
3. Produktinnovation, Design, Technologie, Forschung
4. Marketingkampagne, + neue Vertriebskanäle bei gleichen Produkten
5. Kosten- und Qualitäts-Optimierungsprogramm in der Produktion
6. Lieferzeitenreduzierung, höhere Zuverlässigkeit in Pünktlichkeit Neues Lieferserviceprogramm

## Fragebogen: 4

**Welche Orientierung entspricht am meisten Ihrem Unternehmen?**

83.33%

schaffe das beste Produkt  
[produktorientiertes Unternehmen]

16.67%

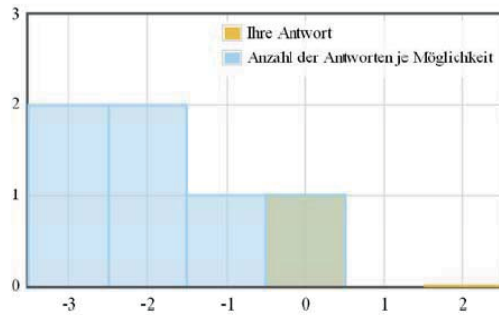
produziere stückmäßig am günstigsten, z.B. durch große Produktionszyklen und Standardisierung  
[produktionsorientiertes Unternehmen]

0%

alle Produkte sind dasselbe, es geht im wesentlichen darum so gut wie möglich (hart) zu verkaufen;  
[verkaufsorientiertes Unternehmen]

Fragebogen: 5

In welche Art von Führungsstil würden Sie Ihre Firma einordnen?



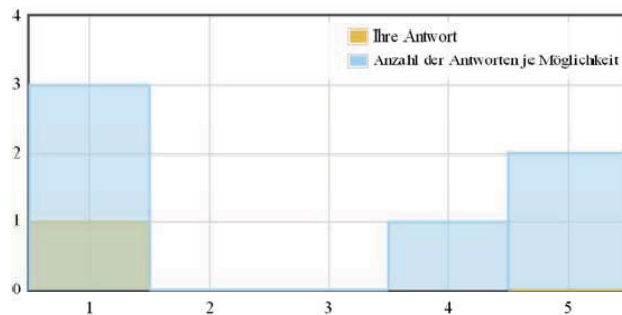
1. Entscheidungen werden von Vorgesetzten getroffen (d.h. mindestens von Projekt &, Abteilungsleiter)
2. Entscheidungsmöglichkeiten von hierarchisch untergestellter Mitarbeiter

Fragebogen: 6

Frage: Wie würden Sie die Unternehmensprinzipien (Wertekodex) ihrer Firma benennen?

- Qualität Mitarbeiterloyalität Zuverlässigkeit
- Qualität, Stärke, Gute Firma
- Qualitätsstandards, Zuverlässigkeit, Innovation
- Der Kunde ist König, Zuverlässigkeit und Qualität
- Innovation, Qualität und gutes Betriebsklima
- Qualität, Kundenorientierung, Innovation

Und wie wird diesen Rechnung getragen?

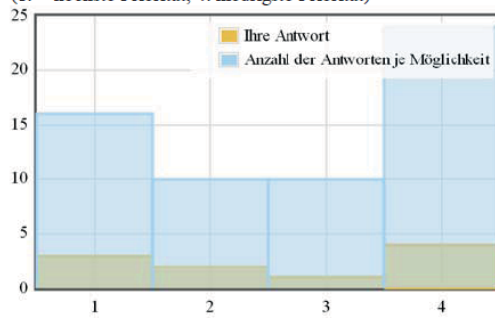


1. indirekt, z.B. durch Marketing
2. durch Investition
3. durch monetäre Mitarbeiteranreize
4. durch Auszeichnungen
5. Sonstiges:

## Fragebogen: 7

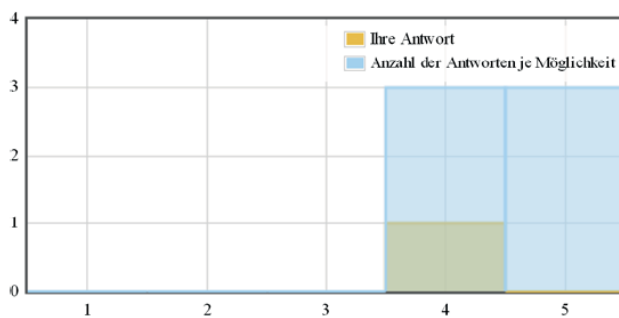
**Was zählt für Ihre Kern-Kunden am meisten?**

Ordnen Sie die 4 angegebenen Möglichkeiten nach Ihrer Priorität für ihre Kunden der Reihe nach an.  
(1. = höchste Priorität, 4. niedrigste Priorität)



1. Zeit (kürzeste von Auftragsingang bis Lieferung & Zuverlässigkeit)
2. Qualität
3. Kosten
4. Service und Individualität

## Fragebogen: 8

**Wie betrachten Sie den Service, den Ihnen Ihre Zulieferer anbieten aus der Perspektive des Kunden?**

1. Hohe Zuverlässigkeit bezüglich Lieferzeiten
2. Ungenügende Zuverlässigkeit bezüglich zugesagten Lieferzeiten
3. Es bestehen besondere Serviceangebote
4. Die Zulieferer bieten weniger Service als wir unseren Kunden
5. Nicht bekannt



Fragebogen: 9

**Auswertung dieser Frage bezieht sich nur auf den Bereich: Arbeitsvorbereitung**

**Mit welchen Kennzahlen wird derzeit in Ihrem Bereich die Leistung ermittelt?**

Notice: Undefined variable: answeres in /var/www/web483/html/survey/classes.php on line 209 Warning: array\_keys(): The first argument should be an array in /var/www/web483/html/survey/classes.php on line 209 Warning: Wrong parameter count for max() in /var/www/web483/html/survey/classes.php on line 209 Warning: ksort() expects parameter 1 to be array, null given in /var/www/web483/html/survey/classes.php on line 212 Warning: array\_sum(): The argument should be an array in /var/www/web483/html/survey/graph.php on line 60

0% Derzeit keine Leistungsermittlung / nicht bekannt

0% Leistung wird ermittelt, über die Kennzahl(en):

**Haben Sie in Ihrem Unternehmen die Balanced ScoreCard eingeführt?**

Notice: Undefined variable: answeres in /var/www/web483/html/survey/classes.php on line 209 Warning: array\_keys(): The first argument should be an array in /var/www/web483/html/survey/classes.php on line 209 Warning: Wrong parameter count for max() in /var/www/web483/html/survey/classes.php on line 209 Warning: ksort() expects parameter 1 to be array, null given in /var/www/web483/html/survey/classes.php on line 212 Warning: array\_sum(): The argument should be an array in /var/www/web483/html/survey/graph.php on line 60

0% ja, erfolgreich

0% ja, aber mit mäßigem Erfolg

0% nein

**Was fehlt dabei noch?**

Fragebogen: 10

**Wie werden derzeit Fehler in Ihrem Bereich gefunden, zu den Ursachen rückverfolgt und ggf statistisch erfasst, um Verbesserung erreichen zu können?**

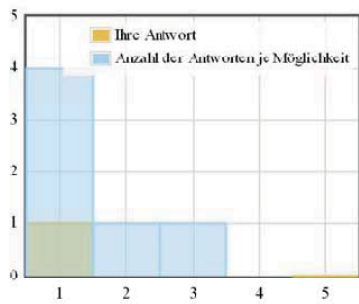
100% Derzeit keine systematische Erhebung der aufgetretenen Fehler / nicht bekannt.

0% Fehler werden ermittelt und rückverfolgt.

**Mittels welcher Systematik funktioniert dies?**

## Fragebogen: 11

Wo vermuten Sie die höchste Wahrscheinlichkeit, dass ein Produktions- oder Logistikengpass im Unternehmen entsteht?



1. An einer mehrfachen Organisationsschnittstelle zwischen Abteilungen
2. An einer Organisationsschnittstelle mit Maschineneinsatz
3. An einer Maschinenschnittstelle, aufgrund von Maschinendefekten
4. An IT-Schnittstellen
5. An keinen Schnittstellen, sondern direkt an einzelnen Arbeitsstationen

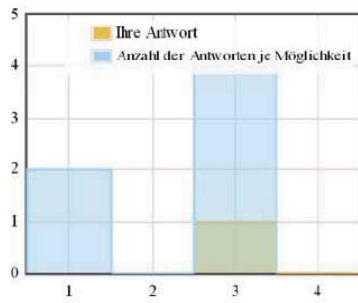
Warum vermuten Sie hier den Engpass?

- Mangelnde Kommunikation und Absprachen. Es handelt sich hier um die Zuschnittsmaschinen
- Schwierige Kommunikation mit den vielen verschiedenen Abteilungen, Produktionsplanung, Lagermeister (Vormaterial), Qualitätskontrolle und nachgelagerten Arbeitsstationen ist schwierig zu steuern. Der Engpass ist vermutlich an der 1. und 3. Zuschnittsmaschine, da keine Kapazitätserhöhung mehr möglich ist.
- Weil einige Maschinen sehr oft gewartet werden, und trotzdem oft ausfallen.
- Mangelnde Absprachen und falsche Kommunikation
- In der Produktion, bei den Zuschnittsmaschinen, denn diese sind nicht in der Lage, rechtzeitig die geforderten Teile zu produzieren.
- Kommunikationsschwierigkeiten und / oder unterschiedliche Zielsetzungen

Verschwendung: Wo geht Ihrer Meinung nach derzeit im Unternehmen viel "Wert" verloren (ohne Namen)?

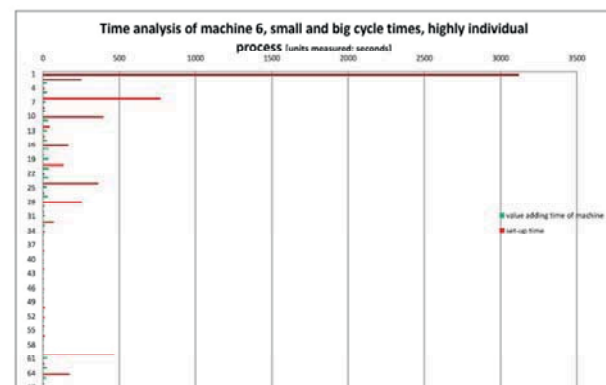
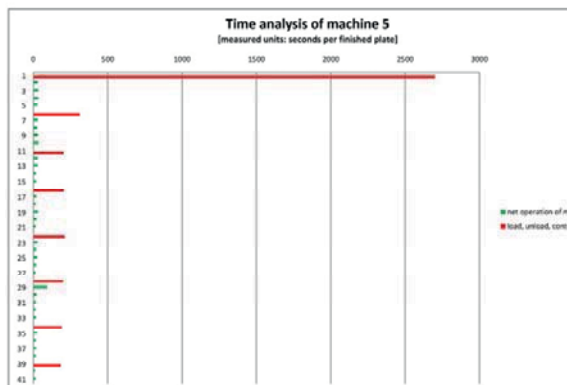
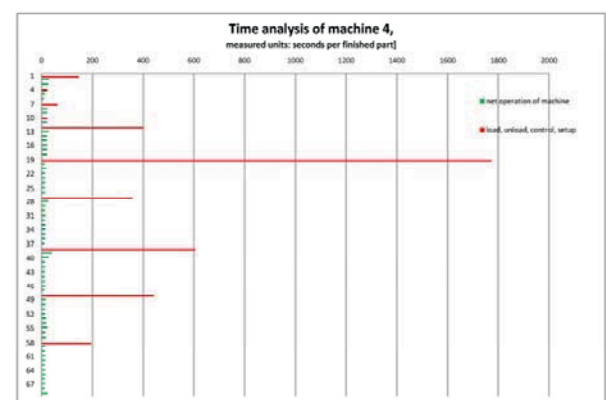
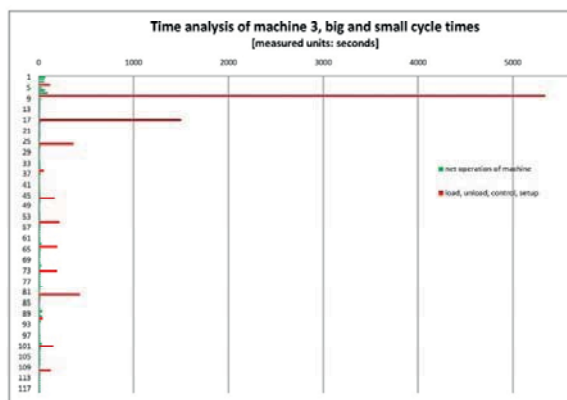
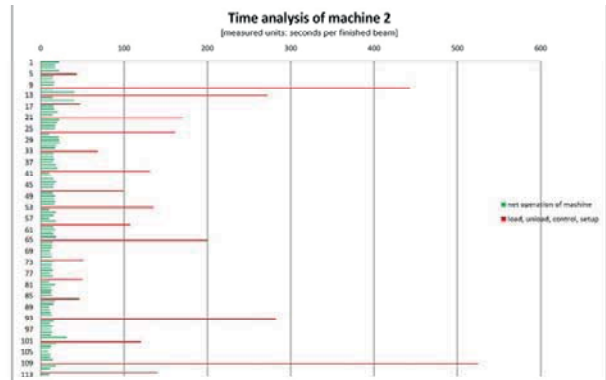
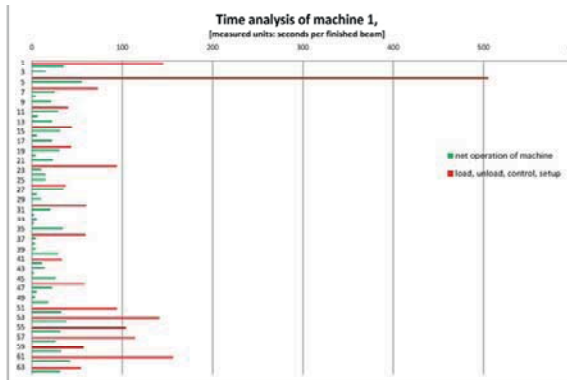
- Viel Verschwendung liegt vor im Zuschnitt und durch interne Transporte
- möglicherweise im Materialzuschnitt?
- In der Lagerhaltung, zwischen Fertigung und Verzinkungsanlage. Hier muss nochmals eine Qualitätskontrolle durchgeführt werden, alles geschieht manuell und oft muss man Teile suchen, da keine klare Ordnung besteht
- Internes Transportsystem ist nicht optimal, dadurch sind viele Zwischenbestände.
- In der Abstimmung zwischen Planung und Fertigung, und zusätzlich wenn die Fertigung Fehler macht.
- Im Zuschnitt und Transport

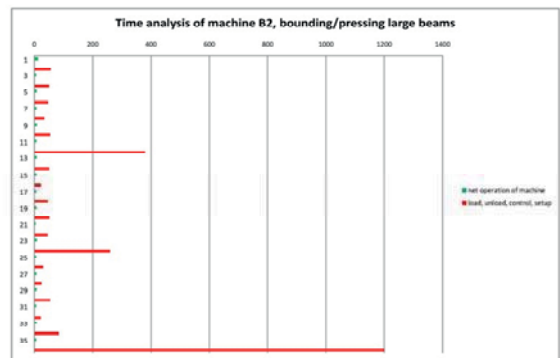
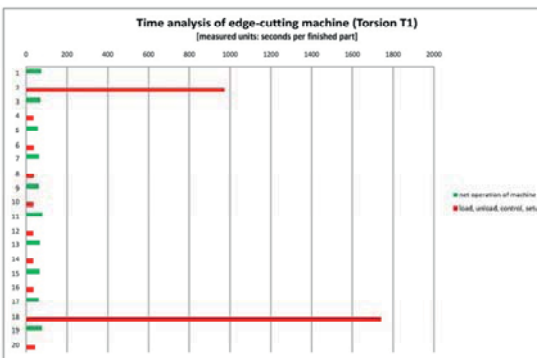
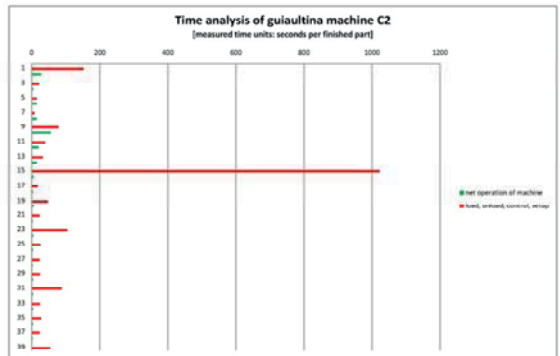
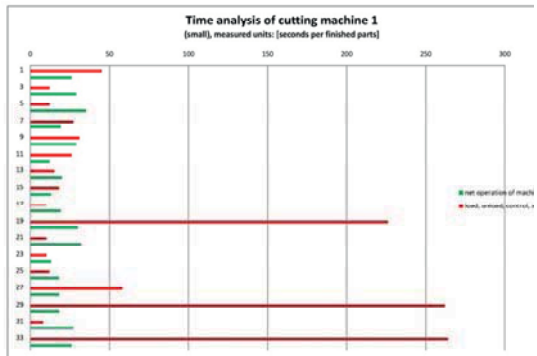
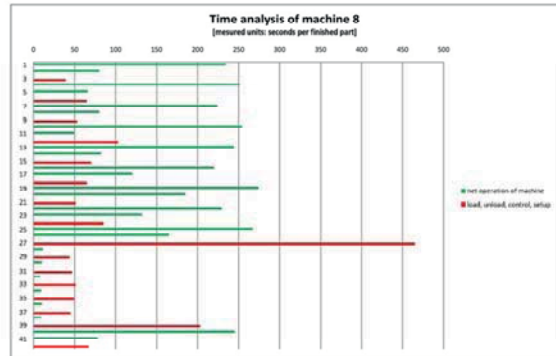
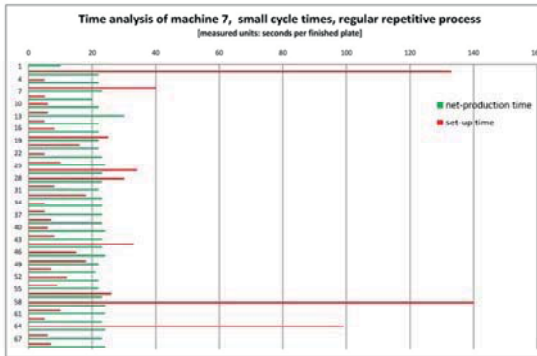
Wie ist ihre Ansicht zum Thema Verbesserung / Wählen Sie aus, was bei Ihnen in der Abteilung am ehesten entspricht:



1. als Zusatzaktivität zu meinem eigentlichen Job.
2. Verbesserung ist ein periodisches Zusatzprojekt (eine Kampagne)
3. Ich sehe Verbesserung als legitime Arbeit (notwendiger Teil der täglichen Arbeit)
4. Verbesserung ist die Aufgabe einer zentralen Aktivität/Organisationseinheit.

## Anhang 7D: Abbildungen der Prozessdetailmessungen, Case 1





## Anhang 7E: Auswertung und Engpassberechnung, Case 1

Innerhalb der Prozessmessungen kann die jeweilige Vorbestandszeit über die Zykluszeiten (Wertschöpfung und Vorbereitungszeit je Zyklus) und deren Schwankungen ermittelt werden. Die Höhe der indirekten Vorbestandswartezeit ist ein Indikator für einen bestehenden Engpass. Innerhalb der Fallstudie 1 beschränkt sich die Analyse auf das Fertigungswerk, da die Baustellenerrichtung organisatorisch entkoppelt durch Subunternehmer erfolgt.

Berechnung der direkten Vorbestandswartezeit und der indirekten Vorbestandszeit mit Schwankungsfaktor

Nr.	Station M 1 [sec]	Station M 2 [sec]	Station C 1 [sec]	Station T 1 [sec]	Station C 2 [sec]
1	555	121	71	104	179
2	128	503	41	94	25
3	90	427	47	99	28
4	101	235	46	96	22
5	101	236	60	113	133
6	151	179	38	100	59
7	77	229	35	99	46
8	110	186	31	1801	20
9	122	215	29	118	52
10	73	178	256		25
11	111	279	42		108
12	142	127	23		28
13	173	129	30		25
14	142	123	76		27
15	145	360	280		91
16	83	228	35		27
17	188	611	290		30
18	96				26
19					79
Varianz	11583	19828	8566	320465	1986
Standabweichung [s]	105	137	90	534	43
Standabweichung [h]	0,029	0,038	0,025	0,148	0,012
<b>Schwankungsfaktor =</b>					
<b>1+ Standabw [h]</b>	<b>1,03</b>	<b>1,04</b>	<b>1,02</b>	<b>1,15</b>	<b>1,01</b>
WIP vor Station	125	119	939	1035	1140
durchschnittlicher Durchsatz (Zykluszeit in Sec für 1 Teil)	144	257	84	262	54
direkte Vorbestandswartezeit [h]	<b>5,0</b>	<b>8,5</b>	<b>21,9</b>	<b>75,4</b>	<b>17,2</b>
indirekte Vorbestandswartezeit [h] mit Schwankungsfaktor	<b>5,1</b>	<b>8,8</b>	<b>22,5</b>	<b>86,6</b>	<b>17,4</b>

## Verknüpfungsmatrix der Organisationsbefragung und der Prozessanalyseergebnisse:

Verknüpfungsmatrix, CASE 1: Organisation, Kennzahlen, Prozessmessung	Lagerhaltung	Zuschnitt M1	Zuschnitt M2	man. Schrägschnitt C1	man. Schrägschnitt C2	Biegen T1
Produktionssteuerung	X	X	X	X	X	X
Technisches Büro		X	X	X	X	X
Einkauf	X					
<i>Organisations-einheiten des Produktionsprozess. Messdaten:</i>	Bestand[t] ~ 1500	X	X		X	X
<i>[X] ist die organisatorische Abhängigkeit, z.B. beeinflusst Lagerhaltung direkt den Zuschnitt, d.h. der Zuschnitt ist von der Lagerhaltung abhängig.</i>		Q [St/h] = 25 Schwankungsfaktor = 1,03 Vorbestandswartzeit [h] = 5,1 VA = 31% NVA = 69%	Q [St/h] = 14 Schwankungsfaktor = 1,04 Vorbestandswartzeit [h] = 8,8 VA = 32% NVA = 68%	X		
Zuschnitt M1						
Zuschnitt M2				X		
Schrägschn. C1				Q [St/h] = 43 Schwankungsfaktor = 1,02 Vorbestandswartzeit [h] = 22,5 VA = 27% NVA = 73%		
Schrägschn. C2					X	
Biegen T1					Q [St/h] = 14 Schwankungsfaktor = 1,15 Vorbestandswartzeit [h] = 86,6 VA = 9% NVA = 91%	X
<b>Organisations-schnittstellen Einflußsumme:</b>	2	3	3	3	4	4
<i>Hinweis aus Organisations-befragung</i>	71% vermuteter Engpässe an mehrfachen organisatorischen Schnittstellen, 14% vermuten Sie an Orga-Schnittstelle mit Maschineneinsatz, 14% direkt an Maschinen					
bestehende Kennzahlen:	Bestehende Kennzahlen: keine Verbesserungskennzahlen, keine Fehlerkennzahlen, keine Leistungskennzahlen vorhanden - außer maschinell bei M1 und M2 t/h					
Orga-Kennzahl A:	Organisatorische Handlungsnotwendigkeit der Veränderung: 2,17 (von max 5,0), zu erwartende organisatorische Resistenz 4,0 (von max. 5,0)					
Orga-Kennzahl B:	Heterogenität (0) / Homogenität (1,0) der Mitarbeiterperspektive: 0,75					
Orga-Kennzahl C:	Zukunftsinvestition: Mitarbeiter würden als strategische Ausrichtung des Unternehmens vor allem in Kosten- und Qualitätsoptimierungsprogramme investieren					
Orga-Kennzahl D:	Hinweise von MA auf bestehende Verschwendung (muda) im System: Verschwendung im Zuschnitt, zu viele interne Transporte, internes Transportsystem suboptimal, schlechte Abstimmung zwischen Planung und Fertigung, viel Suchzeit im Lager					
<b>Zusammenfassung, Handlungsvorschlag:</b>	Ein Hauptaugenmerk sollte auf die Arbeitsstationen C1 und C2 gelegt werden. Zum einen weisen sie eine hohe organisatorische Schnittstelle auf und zugleich ist die Vorbestandswartzeit im Vergleich zu allen übrigen Stationen sehr hoch. Dies deutet auf einen Engpass des Produktionssystems hin. Aus der Mitarbeiterbefragung kommen weitere Hinweise auf bestehende Verschwendung durch hohe Suchzeiten. Diese sind innerhalb der niedrigen gemessenen Anteile der Wertschöpfungszeiten sichtbar. Die Mitarbeiterperspektive der Befragten ist mit 0,75 von 1,0 homogen zu betrachten und die Mitarbeiter würden strategisch in eine verbesserte Produktionssystematik investieren. Dies sollte auch KPIs beinhalten um Wertschöpfung und Prozessschwankungen zu visualisieren.					

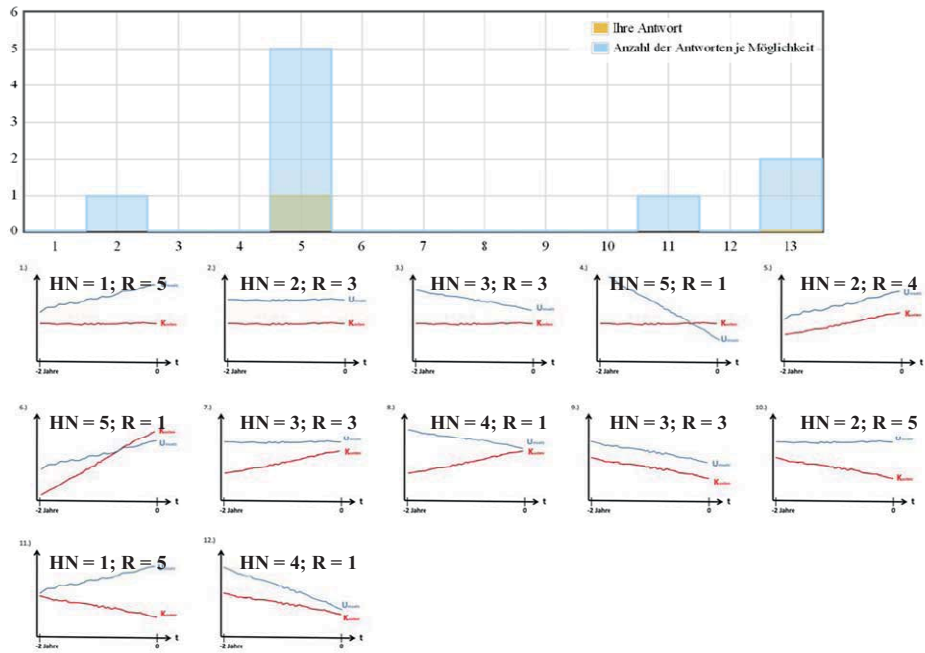
## Anhang 7F: Direkte Ergebnisse der Organisationsbefragung, Case 2

Die ausgewerteten Ergebnisse basieren auf den Eingaben von 9 Teilnehmern.

**Legende:**  
 x-Achse: Nummer der zugehörigen Antwort  
 y-Achse: Anzahl der Antworten zur zugehörigen Antwortmöglichkeit

Fragebogen: 1

Welches Trendszenario (bezüglich Umsatz-Kosten) entspricht der Unternehmung in den letzten 2 Jahren bis heute am ehesten?



13) HN = 3; R = 5

"Keine Ahnung"



**Wie bewerten Sie die Spielregeln am Markt?**

<input type="checkbox"/> 0%	unkämpft, preisgetrieben, international
<input type="checkbox"/> 0%	schnell, volatil
<input checked="" type="checkbox"/> 100%	produktspezifisch, Nische

**Wie ist ihre Marktposition bezogen auf den größten Marktkonkurrenten?**

<input checked="" type="checkbox"/> 66.67%	Sie sind bereits das größte Unternehmen
<input type="checkbox"/> 33.33%	2.-5. Position im Markt
<input type="checkbox"/> 0%	<5% Marktanteil

**Wie ist Ihrer Meinung nach die Wachstumsperspektive des Unternehmens für die Zukunft (5 Jahre)**

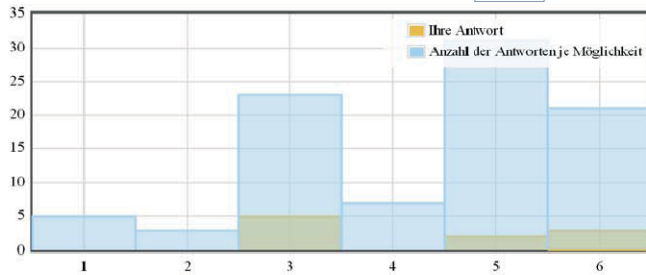
<input checked="" type="checkbox"/> 44.44%	Wachstum (>5%/Jahr) durch Akquisition & inneres Wachstum
<input checked="" type="checkbox"/> 55.56%	Zielgröße erreicht, Stabilisierungsphase
<input type="checkbox"/> 0%	Verringerung der Unternehmensgröße & stärkere Ausrichtung auf Kernkompetenzen

**Erklärung dafür**

## Fragebogen: 3

**Aufgabe/Spiel:** Sie als Top-Manager bekommen 10 Münzen (Ressourcen) um damit in Ihre Zukunftsstrategie des Unternehmens zu investieren. Betrachten Sie heute Ihr Unternehmen. Wie würden Sie Ihre 10 Ressourcen investieren, um Ihr Unternehmen zukunftsgerichtet (5-10 Jahresperspektive) zu führen?

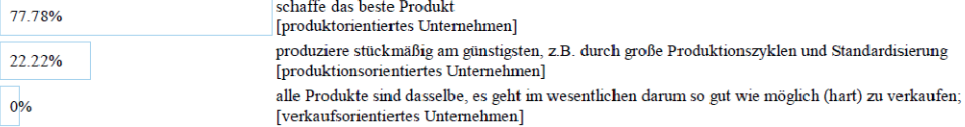
Damit eine Strategie einen Effekt hat, müssen mindestens 3 Münzen gesetzt werden. Es können aber auch mehr gesetzt werden, was den Effekt deutlich erhöht.



1. Outsourcing und neue Standorte in Niedriglohnländern
2. Neue Allianzen, und Einkauf neuer Produktpaletten extern
3. Produktinnovation, Design, Technologie, Forschung
4. Marketingkampagne, + neue Vertriebskanäle bei gleichen Produkten
5. Kosten- und Qualitäts-Optimierungsprogramm in der Produktion
6. Lieferzeitenreduzierung, höhere Zuverlässigkeit in Pünktlichkeit Neues Lieferserviceprogramm

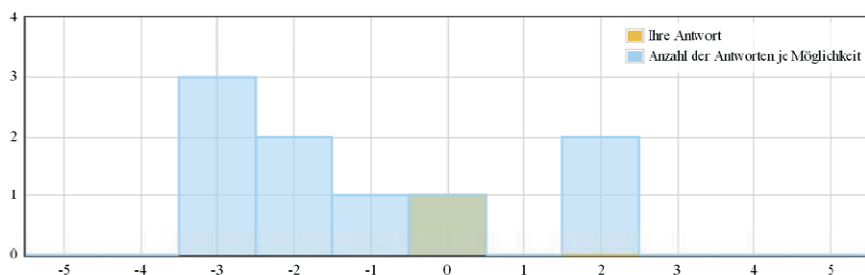
## Fragebogen: 4

Welche Orientierung entspricht am meisten Ihrem Unternehmen?



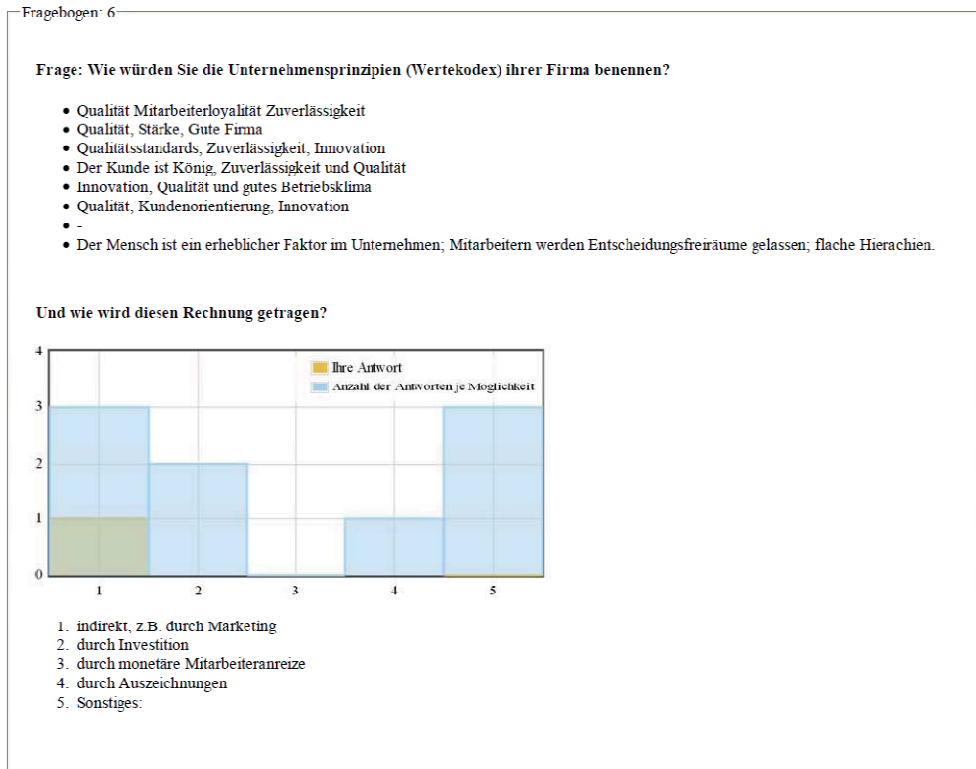
## Fragebogen: 5

In welche Art von Führungsstil würden Sie Ihre Firma einordnen?



- (-5) Entscheidungen werden von Vorgesetzten getroffen (d.h. mindestens von Projekt- & Abteilungsleiter)
- (+5) Entscheidungsmöglichkeiten von hierarchisch untergestellter Mitarbeiter

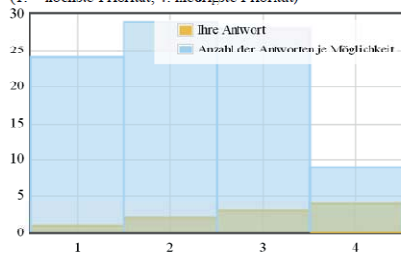
Das graphisch dargestellte Ergebnis zeigt eine leichte Neigung zu einem hierarchischen Führungsstil. Handlungsansätze zu einer Veränderung des Führungsstils können dann durch die Geschäftsführung beispielsweise über Kommunikationsworkshops oder andere Maßnahmen eingeleitet werden. Auch für spätere Umsetzungsmaßnahmen der Prozessverbesserung ist es wichtig zu berücksichtigen, wie der derzeitige Führungsstil erlebt wird.



Fragebogen: 7

## Was zählt für Ihre Kern-Kunden am meisten?

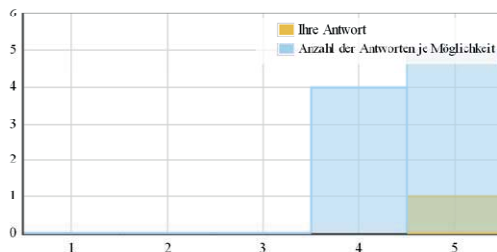
Ordnen Sie die 4 angegebenen Möglichkeiten nach Ihrer Priorität für ihre Kunden der Reihe nach an.  
(1. = höchste Priorität, 4. niedrigste Priorität)



1. Zeit (kürzeste von Auftragsingang bis Lieferung & Zuverlässigkeit)
2. Qualität
3. Kosten
4. Service und Individualität

Fragebogen: 8

## Wie betrachten Sie den Service, den Ihnen Ihre Zulieferer anbieten aus der Perspektive des Kunden?



1. Hohe Zuverlässigkeit bezüglich Lieferzeiten
2. Ungenügende Zuverlässigkeit bezüglich zugesagten Lieferzeiten
3. Es bestehen besondere Serviceangebote
4. Die Zulieferer bieten weniger Service als wir unseren Kunden
5. Nicht bekannt

Hinweis: Den befragten Mitarbeitern fiel es schwer, eine klare Priorität hinsichtlich der Kundenwünsche zu Zeit, Qualität, Kosten und Service zu vergeben. Entweder haben die Kunden der Firma unterschiedliche Prioritäten, und daher die Frage nicht eindeutig zu beantworten, oder die Mitarbeiter haben keine Kenntnisse über die wichtigsten Prioritäten ihrer Kunden. Im zweiten Fall müsste eine bessere Kommunikation firmenintern stattfinden, damit die Kundenperspektive auch im Fertigungswerk und auf der Baustelle klarer vorhanden ist.

Die Antworten des zweiten Fragenteils zeigen, dass den meisten befragten Mitarbeitern nicht bekannt ist, wie der Lieferservice ausfällt, oder eine eher schlechte Beurteilung der Zulieferer abgegeben wird. Wenn dieser Lieferservice auch quantifizierbar ist, sollte die 5W-Methode die Gründe für diese Beurteilung hinterfragen.

Fragebogen: 9

Auswertung dieser Frage bezieht sich nur auf den Bereich: Beschichtung

Mit welchen Kennzahlen wird derzeit in Ihrem Bereich die Leistung ermittelt?

66.67% Derzeitig keine Leistungsermittlung / nicht bekannt

33.33% Leistung wird ermittelt, über die Kennzahl(en):

- (Mitarbeiter \* PI) / 25
- in der Produktion wird Leistung nur über den Gesamtbereich ermittelt.

Haben Sie in Ihrem Unternehmen die Balanced ScoreCard eingeführt?

0% ja, erfolgreich

33.33% ja, aber mit mäßigem Erfolg

66.67% nein

Was fehlt dabei noch?

- exakte Kostenanalyse

Fragebogen: 10

Wie werden derzeit Fehler in Ihrem Bereich gefunden, zu den Ursachen rückverfolgt und ggf statistisch erfasst, um Verbesserung erreichen zu können?

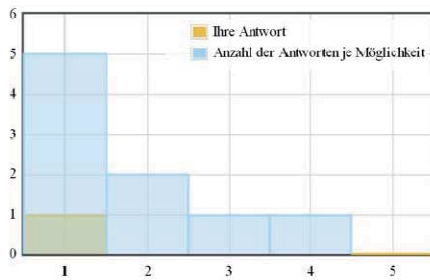
88.89% Derzeitig keine systematische Erhebung der aufgetretenen Fehler / nicht bekannt.

11.11% Fehler werden ermittelt und rückverfolgt.

Mittels welcher Systematik funktioniert dies?

## Fragebogen: 11

Wo vermuten Sie die höchste Wahrscheinlichkeit, dass ein Produktions- oder Logistikkengpass im Unternehmen entsteht?



1. An einer mehrfachen Organisationsschnittstelle zwischen Abteilungen
2. An einer Organisationsschnittstelle mit Maschineneinsatz
3. An einer Maschinenschnittstelle, aufgrund von Maschinendefekten
4. An IT-Schnittstellen
5. An keinen Schnittstellen, sondern direkt an einzelnen Arbeitsstationen

Warum vermuten Sie hier den Engpass?

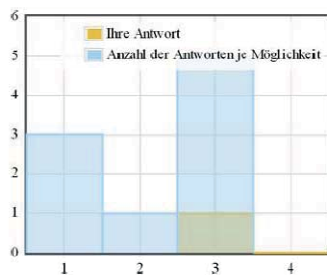
- Mangelnde Kommunikation und Absprachen. Es handelt sich hier um die Zuschnittsmaschinen
- Schwierige Kommunikation mit den vielen verschiedenen Abteilungen. Produktionsplanung, Lagermeister (Vormaterial), Qualitätskontrolle und nachgelagerten Arbeitsstationen ist schwierig zu steuern. Der Engpass ist vermutlich an der 1. und 3. Zuschnittsmaschine, da keine Kapazitätserhöhung mehr möglich ist.
- Weil einige Maschinen sehr oft gewartet werden, und trotzdem oft ausfallen.
- Mangelnde Absprachen und falsche Kommunikation
- In der Produktion, bei den Zuschnittsmaschinen, denn diese sind nicht in der Lage, rechtzeitig die geforderten Teile zu produzieren.
- Kommunikationsschwierigkeiten und / oder unterschiedliche Zielsetzungen
- mangelnde Kommunikation
- Der Engpass befindet sich im Zuschnitt, da hier schon die maximale Kapazität im 3-Schichtbetrieb erreicht ist.

Verschwendung: Wo geht Ihrer Meinung nach derzeit im Unternehmen viel "Wert" verloren (ohne Namen)?

- Viel Verschwendung liegt vor im Zuschnitt und durch interne Transporte
- möglicherweise im Materialzuschnitt?
- In der Lagerhaltung, zwischen Fertigung und Verzinkungsanlage. Hier muss nochmals eine Qualitätskontrolle durchgeführt werden, alles geschieht manuell und oft muss man Teile suchen, da keine klare Ordnung besteht.
- Internes Transportsystem ist nicht optimal, dadurch sind viele Zwischenbestände.
- In der Abstimmung zwischen Planung und Fertigung, und zusätzlich wenn die Fertigung Fehler macht.
- Im Zuschnitt und Transport
- Im Versand geht Wert verloren, aufgrund des Auslagerns von fertigem Material auf andere externe Lager, da das eigene Versandlager zu voll ist, d.h. zu wenig Lagerfläche hat.
- Verschwendung entsteht durch nicht exakt bestimmte und ungepflegte Abläufe. (Terminketten, falsche Abläufe, Auswirkungen auf eigene Subunternehmer in der Montage).

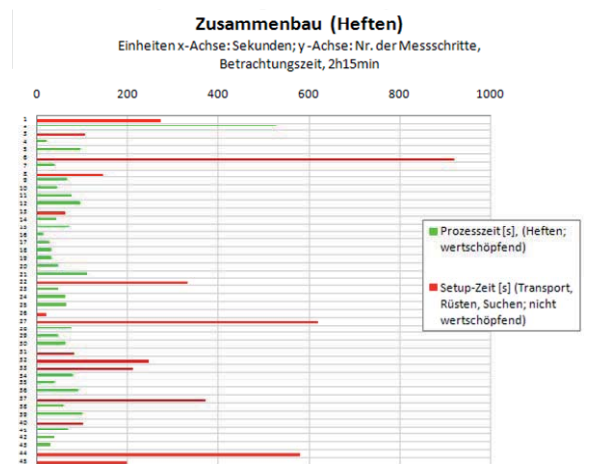
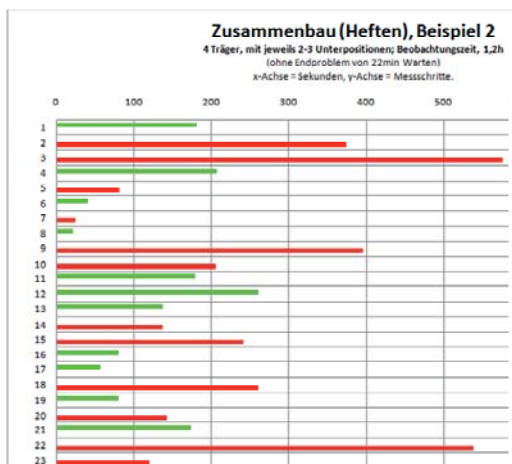
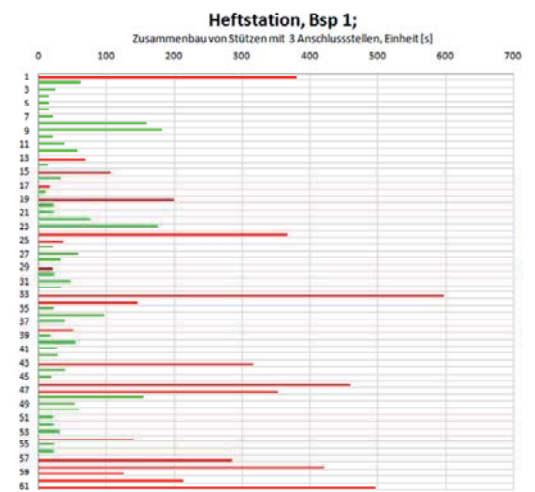
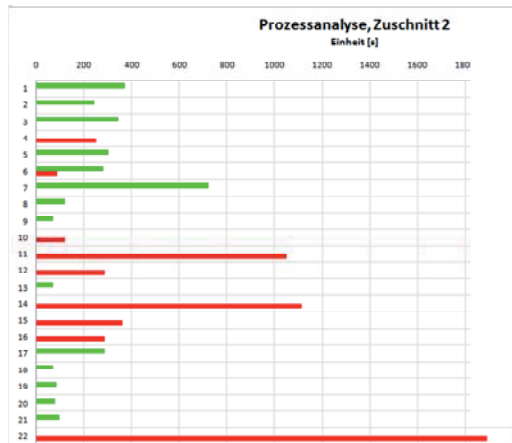
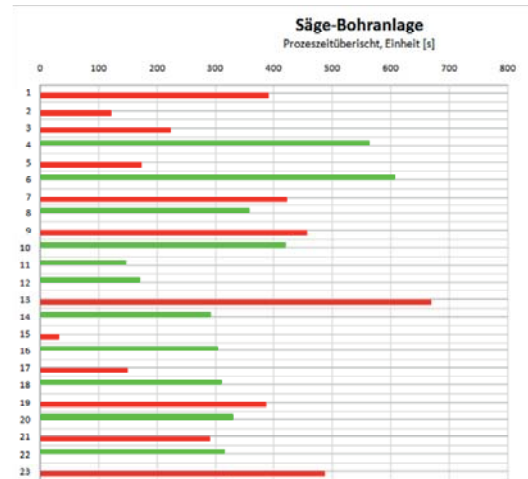
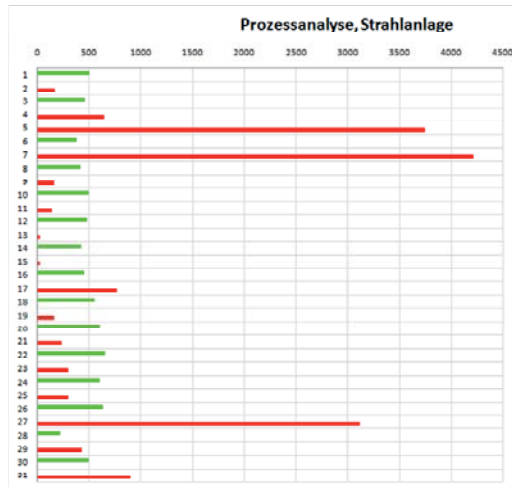
## Fragebogen: 12

Wie ist ihre Ansicht zum Thema Verbesserung / Wählen Sie aus, was bei Ihnen in der Abteilung am ehesten entspricht:



1. als Zusatzaktivität zu meinem eigentlichen Job.
2. Verbesserung ist ein periodisches Zusatzprojekt (eine Kampagne)
3. Ich sehe Verbesserung als legitime Arbeit (notwendiger Teil der täglichen Arbeit)
4. Verbesserung ist die Aufgabe einer zentralen Aktivität/Organisationseinheit.

## Anhang 7G: Abbildungen der Prozessdetailmessungen, Case 2



## Anhang 7H: Engpassberechnung und Verknüpfungsmatrix, Case 2

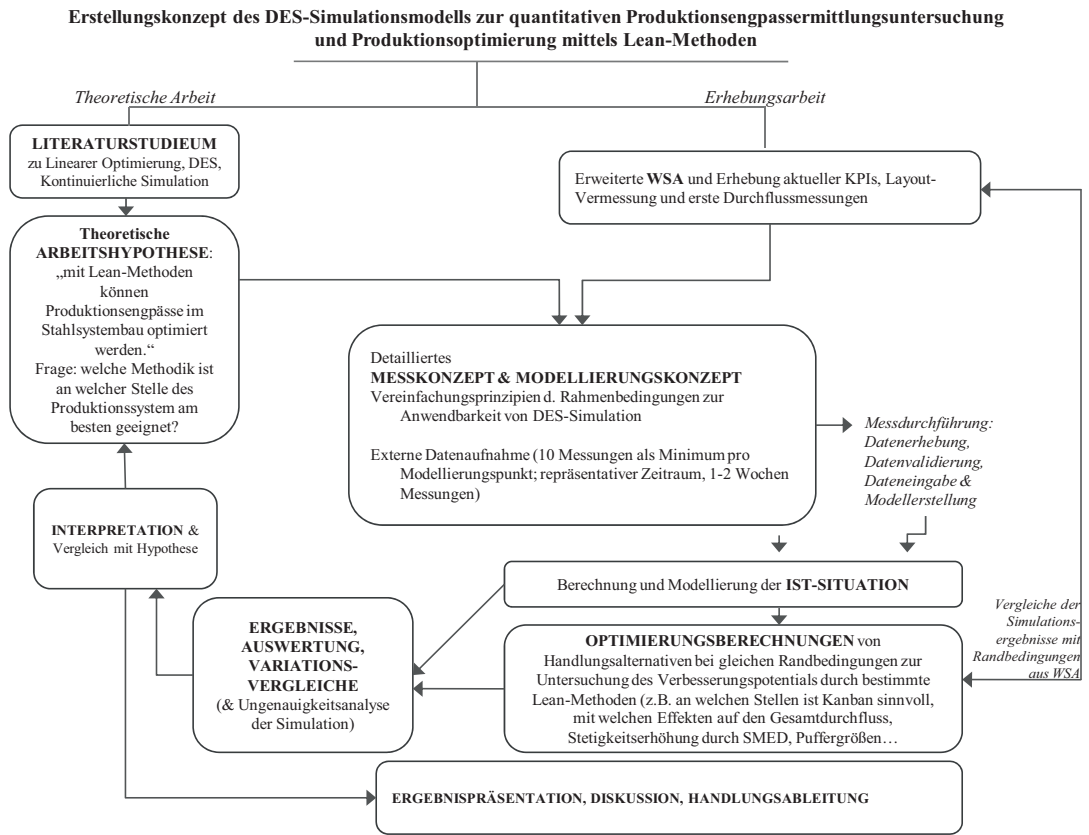
Quantitative Prozessanalyse und Berechnung der direkten Vorbestandswartzeit und der theoretischen Vorbestandszeit mit Schwankungsfaktor									
Nr. an Messzyklen	Lager / Zuschnitt	Zuschnitt (SB + FDB)	Hefen (H1+H2)	Schweißen	Beschichten	Kommissionieren	Baustelle, Errichten (M1+M2)		
1	-	1297	523	1737	über Traversen	12780	1373		
2		779	524	2120			1041		
3		779	523	2016			871		
4		875	524	2198			1227		
5		984	433				1070		
6		322	433				615		
7		452	1159				642		
8		696	1256				696		
9		620	1904				495		
10		1123	920				1576		
11		1203	1570				529		
12		666					498		
13		1027					326		
14		1403					1517		
15		2046					677		
16		2212					1145		
Gesamte Beobachtungszeit									
Tonnen		16484	9769	8071	12269	12780	14298		
Durchsatz Q [t/h]		2,204	6,341	1,84	8,25	16,5	6,035		
value-adding		0,48	2,34	0,82	2,42	4,65	1,52		
non-value-adding		44%	30%	63%	n.a.	23%	43%		
Varianz		56%	70%	37%	n.a.	77%	57%		
Standardabweichung [sekunden]									
		271868	265276	40590	n.a.	n.a.	153947		
Standardabweichung [Stunden]		521	515	201	n.a.	n.a.	392		
Schwankungsfaktor		0,145	0,143	0,056	n.a.	n.a.	0,109		
WIP (vor Station, [t])	1200	4	94	10	41	498	96		
WIP (vor Station, [St])		7	297	31		6967	223		
direkte Vorbestandswartzeit [h]		8,31	40,23	12,46	16,94	n.a.	63,11		
indirekte Vorbestandswartzeit (mit Schwankungsfaktor) [h]		9,51	45,98	13,16	n.a.	n.a.	69,98		



Verknüpfungsmatrix der Ergebnisse, Fallstudie 2:

<b>Verknüpfungsmatrix:</b> Organisation, Kennzahlen, Prozessmessung		Lagerhaltung	Zuschnitt	Heften	Schweißen	Beschichten	Kommissionieren	Versand/Transp.	Baustelle
Organisations- einheiten, zentral:	Produktionssteuerung  Technisches Büro  Einkauf	X  X	X  X	X  X	X  X	X  X	X  X	X  X	
Organisations- einheiten des Produktionsprozess, Messdaten:	Lagerhaltung  Zuschnitt  Heften  Schweißen  Beschichten  Packen  Transport  Baustelle	Bestand [i] ~ 1200	Q [i h] = 0,48 Schwankung = 1,145 Vorbestands- Warezeit [h] = 9,51 VA = 44% NVA = 56%	Q [i h] = 2,34 Schwankung = 1,143 Vorbestands- Warezeit [h] = 45,98 VA = 30% NVA = 70%	Q [i h] = 1,84 Schwankung = 1,056 Vorbestands- Warezeit [h] = 13,16 VA = 63% NVA = 37%	Q [i h] = 2,423 Schwankung = n.a. direkte Vorbestands- Warezeit [h] = 16,94	Q [i h] = 4,64 Schwankung = n.a. Vorbestandswarezeit [h] = n.a. VA = 23% NVA = 77%	Bestand [i] ~ 496	Q [i h] = 1,52 Schwankung = 1,109 Vorbestands- Warezeit [h] = 69,98 VA = 43% NVA = 57%
<b>Organisations-schnittstellen Einflusssumme:</b>		2	3	4	3	2	3	1	1
<i>Hinweis aus Organisations- befragung</i>	vermuteter Engpass;  bestehende Kennzahlen:  Orga-Kennzahl A;  Orga-Kennzahl B;  Orga-Kennzahl C;  Orga-Kennzahl D;	55% der Befragten vermuten Engpässe an mehrfachen organisatorischen Schnittstellen, 22% vermuten Sie an Orga-Schnittstelle mit Maschineneinsatz.  Bestehende Kennzahlen: keine Verbesserungskennzahlen, keine Fehlerkennzahlen, keine Leistungskennzahlen vorhanden - außer t/h  Organisatorische Handlungsnotwendigkeit der Veränderung: 2,11 (von max 5,0), zu erwartende organisatorische Resistenz 4,22 (von max. 5,0)  Heterogenität (0) / Homogenität (1,0) der Mitarbeiterperspektive: 0,732  Zukunftsinvestition: Mitarbeiter würden als strategische Ausrichtung des Unternehmens vor allem in Kosten- und Qualitätsoptimierungsprogramme investieren  Hinweise von MA auf bestehende Verschwendung (muda) im System: Kommunikation an orga.-Schnittstellen, viele Transporte, falsche Konstruktionszeichnungen, fehlende Zielsetzung der Geschäftsführung							
<b>Zusammenfassung, Handlungsvorschlag:</b>		<b>Es bestehen hohe-Schwankungen der Vorbestände und Durchlaufzeiten x hohe organisatorische Schnittstelle an d. Heftständen x Mitarbeiterhinweise verdeutlichen die Schwierigkeit der Absprache und Koordination -&gt; Notwendigkeit der Kommunikationsverbesserung (z.B. mit LPS), Schnittstellenreduzierung sinnvoll, Kennzahleneinführung zur Transparenzerhöhung und Steuerung, Management sollte hinsichtlich Zielführung und Veränderungsberbereitschaft der Mitarbeiter klarer handeln.</b>							

# Anhang 8A: Vorgehenskonzept zur Erstellung der Simulationsstudien



**Erstellungskonzept des Simulationsmodells**

## Anhang 8B: Modelleingabewerte, Simulation der Ist-Situation

Ist-Situation: Eingabewerte, basierend auf Messdaten			
<b>Wareneingangslager:</b>			
Kapazität		1200 Teile	
Eingang: Kontinuierliche Nachlieferung; Annahme, es muss immer genügend Material vorhanden sein.			
<b>Strahlanlage:</b>	<b>Zeiten:</b>	<b>Prozesszeit</b>	<b>NVA-Zeit</b>
	Min.	02:18	00:10
	Max.	06:54	1:10:15
	Mittelwert	04:04	08:52
	Standardabw.	01:31	01:38:07
<b>Zuschnitt 1:</b>	<b>Zeiten:</b>	<b>Prozesszeit</b>	<b>NVA-Zeit</b>
	Min.	07:18	00:00
	Max.	30,18	36,42
	Mittelwert	17:14	15:48
	Standardabw.	06:43	25,01
<b>Zuschnitt 2:</b>	<b>Zeiten:</b>	<b>Prozesszeit</b>	<b>NVA-Zeit</b>
	Min.	03:24	00:00
	Max.	65,00	2:40:42
	Mittelwert	14:09	24,25
	Standardabw.	17:57	24,00
Pufferkapazität zwischen Zuschnitt und Hefständen: 3 x 150 Teile			
<b>Zuschnitt, Ups (klein):</b>	<b>Zeiten:</b>	<b>Prozesszeit</b>	<b>NVA-Zeit</b>
	Min.	00:03	00:00
	Max.	01:02	2,00
	Mittelwert	00:08	00:40
	Standardabw.	-	-
Pufferkapazität Kleinteile: 500 Teile			
Annahme: Kleinteile sind modelliert als Verbrauchsgut, die den Hauptpositionen angeheftet werden, sind daher immer vorgelagert			
<b>Hefstation 1= 3:</b>	<b>Zeiten:</b>	<b>Prozesszeit</b>	<b>NVA-Zeit</b>
	Min.	01:41	04:29
	Max.	03:59	20:45
	Mittelwert	02:41	06:45
	Standardabw.	(zu wenig Messwerte der Zykluszeiten für Normalverteilung)	
<b>Hefstation 2:</b>	<b>Zeiten:</b>	<b>Prozesszeit</b>	<b>NVA-Zeit</b>
	Min.	04:49	02:51
	Max.	07:30	33,45
	Mittelwert	06:32	14:14
Arbeitsaktion an Hefständen: Pro Hefstand werden 6-8 Unterpositionen an eine Hauptposition gebaut, und es entsteht ein neues Bauteilmodul.			
Pufferkapazität zwischen Heften und Schweißen: 3x 50 Teile (Hauptpositionen)			
<b>Schweißen 1-3:</b>	<b>Zeiten:</b>	<b>Prozesszeit</b>	<b>NVA-Zeit</b>
	Min.	17:26	10:58
	Max.	24:22	14:57
	Mittelwert	21:06	12:32
	Standardabw.	00:10	0,15
			Rüstzeit
			07:00
			13:00
			10:00
			-
Pufferkapazität zwischen Schweißständen und Beschichtungsanlage: 200 Teile			
<b>Beschichtung:</b>	<b>Zeiten:</b>	<b>Prozesszeit</b>	<b>NVA-Zeit</b>
	Min.	05:02	
	Max.	06:04	
	Mittelwert	06:00	06:16
	Standardabw.	-	
Versandlager: Kapazität 1500 Teile			
<b>Kommissionieren:</b>	<b>Zeiten:</b>	<b>Prozesszeit</b>	<b>NVA-Zeit</b>
	Min.	00:59	03:21
	Max.	01:38	5,36
	Mittelwert	01:14	04:12
	Standardabw.	-	-
<b>LKW-Beladen</b>	<b>Zeiten:</b>	<b>Prozesszeit</b>	<b>NVA-Zeit</b>
	Min.	15:00	-
	Max.	1,45:00	-
	Mittelwert	55,00	-
	Standardabw.	-	-
Transportzeit zur Baustelle: keine Zeitangabe, da Distanzabhängig. Diese Transportzeit ist nicht im Modell enthalten.			
<b>LKW-Entladen:</b>	<b>Zeiten:</b>	<b>Prozesszeit</b>	<b>NVA-Zeit</b>
	Min.	30,00	-
	Max.	1,00:00	-
	Mittelwert	45,00	-
	Standardabw.	-	-
Zwischenpuffer auf der Baustelle: Kapazität 200 Teile			
<b>Montage, Baustelle 1:</b>	<b>Zeiten:</b>	<b>Prozesszeit</b>	<b>NVA-Zeit</b>
	Min.	02:20	01:53
	Max.	09:31	13,52
	Mittelwert	05:29	09:29
	Standardabw.	-	-
<b>Montage, B.2:</b>	<b>Zeiten:</b>	<b>Prozesszeit</b>	<b>NVA-Zeit</b>
	Min.	02:53	01:25
	Max.	16:35	14,30
	Mittelwert	05:52	08:21
	Standardabw.	-	-

---

## Lebenslauf: Alexander Hofacker

Cand. Dr.-Ing., MBA, MSc.

Email: [Alexander\\_Hofacker@yahoo.de](mailto:Alexander_Hofacker@yahoo.de)

Geburtsdatum 29.03.1979

Geburtsort: Ulm, Deutschland



---

### Praxis und Berufserfahrung

- Seit 05/2008 **Wissenschaftlicher Mitarbeiter** am Institut für Technologie und Management im Baubetrieb, TMB, Universität Karlsruhe/KIT, Bereich Lean-Management im Bauwesen; Produktionsoptimierung in der Stahlsystembaufertigung, Vertieferebetreuung und Lehrkoordination.
- 01/07- 04/2008 **Projektleiter im Supply Chain Management**, ArcelorMittal, Flachstahlsektor Europa; Bereich SAP-Systemarchitektur, Transfers, Flexibilität & Zuverlässigkeit.
- 09 - 12/2006 **Krisenmanager und Mediator** zwischen Stahlwerken bei grösseren Produktions-problemen (z.B. Brand, Streik); Arcelorgruppe, Flachstahlsektor Europa.
- 10/05 -08/2006 **Jungberater** von CDI, beauftragt für die Arcelorgruppe im Bereich Flachstahl in Luxembourg-Zentrale, Abteilung Kundenservice und Planung.
- 11/01 – 04/2004 **Wissenschaftliche Hilfskraft** an der Universität Karlsruhe TH, beim Institut IWG und IFH; Bereich: Turbinentechnik, Unterstützung in Lehre, Konferenzen etc.
- 10 – 12/2002 **Praktikum in Neuseeland** bei der “Natural Resources Engineering Group”, Lincoln University in Christchurch; Bereich: River engineering, Datenauswertung.
- 08 - 09/2000 **Baustellenpraktikum**, bei Baresel AG in Sindelfingen; konstruktiver Hochbau;
- 10/98 -12/99 **Zivildienst in Brasilien**, Sozialarbeit in einem Drogenrehabilitationszentrum, Organisation: Christliche Fachkräfte International (CFI).

## Ausbildung

---

- Seit 10/2006 **Forschungstätigkeit am KIT (Karlsruhe Institute of Technology); Promotion;** Bereich: Lean Production /Lean Construction, Produktionsoptimierung in der Einzel- und Kleinserienfertigung im Stahlbau.
- 09/05 – 07/2006 **MBA,** Master of Business and Administration, Young Professional Management Program, Collège des Ingénieurs, Paris; Schwerpunkt: Management und Betriebswirtschaft (BWL).
- 06/ 2005 **Diplom-Ingenieur** Universität Karlsruhe (TH), Gesamtnote: sehr gut (1,5). Diplomarbeit in Zusammenarbeit mit Fichtner Consulting GmbH, Thema: Optimierung der Ausbauwassermenge von Wasserkraftanlagen unter technischen und wirtschaftlichen Aspekten, Auszeichnung: Ludwig-Lenz-Stiftungspreis.
- 06 – 12/2004 **Auslandssemester in Brasilien,** UFPR-Universität, Curitiba, Bereich: Projektmanagement, Beschaffung und Hydraulic Engineering; Abschluss zum Master of Science, MSc. (Mestrado) in 2008 (Stipendium, DAAD)
- 02 - 07/2003 **Auslandssemester in Australien,** UTS, University of Technology Sydney (Stipendium “Landesstiftung Baden Württemberg”).
- 2000 - 2005 **Diplomstudium** im Bauingenieurwesen, Universität Karlsruhe (TH)
- 1989 - 1998 **Abitur** am “Schickhardt-Gymnasium” Herrenberg, Gesamtnote 1,9.