



MARCO BINNINGER

Untersuchungen zum Arbeitsfluss in
getakteten Bauproduktionssystemen aus
Perspektive von Generalunternehmern



Scientific
Publishing

Marco Binniger

**Untersuchungen zum Arbeitsfluss in getakteten
Bauproduktionssystemen aus Perspektive von
Generalunternehmern**

Karlsruher Reihe Technologie und Management im Baubetrieb
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Technologie und Management im Baubetrieb

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Kfm. Shervin Haghsheno (Hrsg.)
Prof. Dr.-Ing. Sascha Gentes (Hrsg.)

Heft 75

Das Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB) befasst sich in Forschung und Lehre mit dem gesamten Bereich des Baubetriebs von der Maschinen- und Verfahrenstechnik bis hin zum Management der Projekte, Facilities und Unternehmen.
Weitere Informationen und Kontakte unter www.tmb.kit.edu

Eine Übersicht der Forschungsberichte finden Sie am Ende des Buches.

Untersuchungen zum Arbeitsfluss in getakteten Bauproduktionssystemen aus Perspektive von Generalunter- nehmern

von
Marco Binninger

Karlsruher Institut für Technologie
Institut für Technologie und Management im Baubetrieb

Untersuchungen zum Arbeitsfluss in getakteten
Bauproduktionssystemen aus Perspektive von
Generalunternehmern

Zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs von
der KIT-Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften
des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) genehmigte Dissertation

von Dipl.-Ing. Marco Binninger

Tag der mündlichen Prüfung: 22. Januar 2021
Erster Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Kfm. Shervin Haghsheno
Zweiter Gutachter: Prof. Dr.-Ing Fritz Berner

Impressum



Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
KIT Scientific Publishing
Straße am Forum 2
D-76131 Karlsruhe

KIT Scientific Publishing is a registered trademark
of Karlsruhe Institute of Technology.
Reprint using the book cover is not allowed.

www.ksp.kit.edu



*This document – excluding parts marked otherwise, the cover, pictures and graphs –
is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
(CC BY 4.0): <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>*



*The cover page is licensed under a Creative Commons
Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-ND 4.0):
<https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/deed.en>*

Print on Demand 2022 – Gedruckt auf FSC-zertifiziertem Papier

ISSN 2363-8222
ISBN 978-3-7315-1137-3
DOI 10.5445/KSP/1000139278

Vorwort des Hauptreferenten

Mit der vorliegenden Dissertation verfolgt Herr Marco Binninger das Ziel, einen Beitrag zur Verbesserung des Arbeitsflusses in Bauproduktionssystemen von Generalunternehmern unter Anwendung der Methode der Taktplanung und Taktsteuerung (TPTS) zu leisten.

Die Motivation für die Forschungsarbeit leitet Herr Binninger zunächst daraus ab, dass sich seit vielen Jahrzehnten die Produktivitätsentwicklung in der Bauwirtschaft im Vergleich zu anderen Industriezweigen negativ entwickelt hat. Während in Unternehmen anderer Industrien die Gestaltung von Produktionssystemen mit einem Fokus auf die Verbesserung des Arbeitsflusses immer mehr zum Standard wird, steht das Bauwesen hier noch am Anfang der Entwicklung. Die ersten projektbezogenen Erfahrungen im Bauwesen mit dem Einsatz von Methoden der Produktionsplanung und -steuerung, die oft aus der Lean Management Philosophie inspiriert sind, bilden den Ausgangspunkt für die Arbeit. Auch erste Ansätze in Bauunternehmen, Produktionssysteme für die Gesamtorganisation zu entwickeln, können in der Praxis konstatiert werden. Aktuell beschäftigen sich jedoch noch wenige wissenschaftliche Arbeiten mit dieser Thematik. Insbesondere sind keine Ansätze vorhanden, die es ermöglichen einen Fluss in getakteten Bauproduktionssystemen zu bewerten, um daraus systematisch Verbesserungen ableiten zu können. Hier setzt die Arbeit von Herrn Binninger an.

Herr Binninger entwickelt mit seiner Arbeit an mehreren Stellen neue Erkenntnisse, die eine wichtige Grundlage für die Weiterentwicklung der Forschung im Bauprozessmanagement darstellen. Es werden unterschiedliche Ausgestaltungsmöglichkeiten der Integration des Takts in Bauproduktionssystemen systematisiert. Die Entwicklung und Ordnung von zahlreichen Steuerungsmöglichkeiten bei störenden Einflüssen hat hierbei eine hohe Anwendungsrelevanz. Erstmals steht zudem ein System für die Bewertung der Qualität des Arbeitsflusses am Bau zur Verfügung, das auf Basis der Betrachtung unterschiedlicher Perspektiven entwickelt wurde. Mittels empirischer

Untersuchungen anhand realer Projekte konnten Teileigenschaften des Arbeitsflusses vertieft diskutiert werden. Ferner werden in der Arbeit konkrete Handlungsempfehlungen erarbeitet, die als Grundlage zur Verbesserung der Ausgestaltung von getakteten Produktionssystemen dienen können.

Die Arbeit von Herrn Binninger zeichnet sich besonders dadurch aus, dass es ihm gelungen ist, ein Forschungsfeld zu identifizieren, das im Rahmen des zunehmenden Interesses an dem Themengebiet Lean Construction und dem zunehmenden Einsatz der Methode Taktplanung und Taktsteuerung in der Praxis bislang noch wenig Gegenstand wissenschaftlicher Betrachtungen ist. Die Arbeit greift ein hochaktuelles Thema auf, das in der Baupraxis auf großes Interesse stoßen wird. Hervorzuheben ist hierbei die Möglichkeit anhand empirischer Daten von Praxisprojekten die theoretischen Überlegungen zur Gestaltung von getakteten Bauproduktionssystemen zu untermauern.

Ich danke Herrn Binninger dafür, dass er mit der vorliegenden Arbeit einen wichtigen Beitrag zur Erkenntnisgewinnung auf dem Forschungsfeld des Bauprozessmanagements leistet. Zugleich danke ich ihm für seine langjährige Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Technologie und Management im Baubetrieb am KIT. Er war eine wichtige Stütze in Lehre und Forschung und die Zusammenarbeit mit ihm habe ich persönlich immer als sehr bereichernd empfunden.

Karlsruhe, im Juni 2021

Prof. Dr. Shervin Haghsheno

Vorwort des Verfassers

Als ich mich im Dezember 2014 schließlich von den Vorteilen der wissenschaftlichen Karriere überzeugen ließ, wusste ich noch nicht wie schwierig der Weg noch wird. Was mich antrieb, ist die Passion und Faszination für dieses inhaltliche Themenfeld.

Ich befasse mich bereits seit 2010 mit der Lean Construction Bewegung. Dabei sind für mich der Takt und der Fluss zentrale Elemente einer Produktion. Die Produktion wird durch diese Elemente strukturiert und Verschwendung ersichtlich. Deshalb stelle ich mir regelmäßig die Frage, weshalb diese Produktionsweise nicht der Industriestandard im Bauen ist. Die Antwort ist vielschichtig und reicht von kulturellen Aspekten, über technische Themen bis hin zur Komplexitätsfrage. Mein Anspruch ist es nicht mit dieser Arbeit die Gründe zu erforschen oder sogar zu beseitigen. Vielmehr soll die Arbeit für themenfremde Leser einen Einblick in die Taktung geben und die Verbindung zum Arbeitsfluss herstellen.

Wer bereits eine funktionierende Taktung auf der Baustelle erlebt hat, wird meine Faszination für das Thema nachvollziehen können. Ein strukturiertes äußeres Erscheinungsbild, klare Zuständigkeiten, vollkommene Transparenz, die Ruhe im Ablauf, gezielte Kommunikation, kein Chaos, etc. sind nur einige positive Eigenschaften einer solchen Abwicklungsweise. Der Unterschied zur klassischen Baustelle ist sofort spürbar. Vertiefte Forschungen auf diesem Gebiet sind rar und deshalb ist es mir persönlich sehr wichtig hier einen weiteren Schritt zu gehen.

Die Arbeit untersucht das Produktionsprinzip Fluss im Kontext einer getakteten Bauproduktion. Dabei werden die quantitativen und qualitativen Zusammenhänge hergestellt und Verbesserungsmöglichkeiten hinsichtlich des Flusses abgeleitet.

Speziell die quantitativen Untersuchungen waren nur möglich, indem mir ein Praxisszenario die notwendigen Daten lieferte. Mit der weisenburger bau

GmbH habe ich perfekte Voraussetzungen gefunden. Ein großer Dank gilt Herrn Wolfbeiß für das Vertrauen.

Ich kann mich noch sehr gut an das erste Gespräch mit Herrn Professor Haghsheno erinnern. Dies war der Schlüsselmoment, um mich von der wissenschaftlichen Laufbahn überzeugen zu lassen. Ein großer Dank für diesen Anstoß und die Freiheiten während der letzten sechs Jahre. Die Möglichkeiten, die sich daraus ergeben haben, wurden gewinnbringend genutzt. An dieser Stelle will ich dem Team Lean am KIT für die tolle Zeit, interessanten Diskussionen und unvergesslichen Momente danken. Es freut mich sehr, dass dieses Team weiterhin besteht.

Ein ganz herzlicher Dank gilt Herrn Janosch Dlouhy. Während aufreibenden Diskussionen zum Themenfeld Taktung, hat sich eine Freundschaft entwickelt. Er hat mich regelmäßig motiviert und thematisch gefordert. Ohne ihn wäre die fachliche Tiefe nicht erreicht worden.

Meiner Frau, Sandra Binnerer, will ich an dieser Stelle besonders danken. Sie hat mich in dieser Zeit begleitet, mich mental unterstützt und mir Rückhalt gegeben.

Karlsruhe, im Juni 2021

Dipl.-Ing Marco Binnerer

Kurzfassung

Produktionssysteme nehmen in der Baubranche eine immer wichtigere Rolle ein. Gerade in Zeiten von hoher Nachfrage, positiver Konjunktur und mangelnden Ressourcen kann ein passendes Produktionssystem die entscheidende Marktdifferenzierung bieten. Ein Produktionssystem basiert auf Produktionsprinzipien. Historisch gesehen spielt besonders das Prinzip des Flusses eine entscheidende Rolle. Ein Arbeitsfluss bildet Wiederholungen im Prozess ab und sorgt für Ruhe und Routine in der Arbeitshandlung. Die Arbeitseffizienz steigt, folglich erhöhen sich auch die Produktivität sowie die Qualität.

Die Grundidee des Flusses in der stationären Produktion ist maßgeblich durch Henry Ford geprägt, dessen Grundsatz es ist, die Produkte physisch auf einem Band durch die Produktion fließen zu lassen (Ford u. a. 1988). In der stationären Industrie wird zur Erzeugung eines Flusses häufig das Takt Prinzip eingesetzt, wodurch sich das Produkt am Ende des Taktzyklus an der nächsten Station befindet.

Bezogen auf das Bauwesen muss dieser Ansatz umgekehrt werden, da das Produkt (bsp. Wohnung) örtlich fixiert ist. Hierbei bewegen sich die Gewerke in einem festen Rhythmus durch das Bauwerk. Diese Idee der Baustellentaktung entwickelte sich nicht erst in den letzten Jahren und es entstanden diverse Umsetzungsformen. Im deutschsprachigen Raum entwickelte sich die Methode ‚Taktplanung und -steuerung‘ (TPTS) und wurde 2013 durch die Dissertation von Kaiser vollumfänglich veröffentlicht. Kaiser (vgl. 2013, S. 92) beschreibt TPTS als Unterpunkt eines ganzheitlichen Produktionssystems. Haghsheno et al. (2015) teilen die TPTS Methode in die Strömung ‚Gestaltung und Steuerung von Produktionssystemen‘ ein. 2016 wird die TPTS Methode am KIT weiterentwickelt und um ein Modell mit drei Ebenen für verschiedene Detailstufen des Prozesses ergänzt (Dlouhy u. a. 2016b). Der letzte Entwicklungsstand dieser Methode wird in der vorliegenden Arbeit wissenschaftlich hinsichtlich des Flusses untersucht. Zunächst wird der Fluss im Kontext der Methode definiert, anschließend werden die Ansichten sowie Kennzahlen zur Betrachtung beschrieben. Das Zwischenergebnis bildet

ein System zur Betrachtung und Beurteilung des Flusses in getakteten Bauproduktionssystemen. Mit Hilfe des Systems werden Daten aus 50 realen Projekten eines Bauproduktionssystems, die mit Hilfe der TPTS Methode umgesetzt wurden, hinsichtlich des Flusses analysiert. Ziel ist es, eine Aussage zum heutigen Stand der Flussqualität in getakteten Projekten zu treffen und Verbesserungspunkte abzuleiten. Die Flussqualität in getakteten Projekten wird dabei primär auf die Eigenschaft Kontinuität reduziert und in die beiden Perspektiven Produkt und Arbeitskraft gegliedert.

In der Praxis kann die Arbeitsflusseffizienz aus der Produktperspektive von 14,9 % auf 54,0 % angehoben werden. Dies entspricht einer Steigerung von rund 39 Prozentpunkten. Die Analyse zeigt ein mögliches theoretisches Potenzial von bis zu 80,0 % in der Produktperspektive auf. Somit könnte die Durchlaufzeit aus Sicht des Produktes stark reduziert werden. Aus Sicht der Arbeitskraft kann die Arbeitsflusseffizienz von 34,0 % auf 88,2 % gesteigert werden. Folglich sind Ressourcen besser ausgelastet und Kosten werden eingespart. Zur Nutzung des aufgezeigten Potenzials werden drei Verbesserungsansätze abgeleitet und mit konkreten Möglichkeiten beschrieben.

Abstract

Production systems play always a bigger role in construction industry. Especially in times of high demand, economic growth and lack of resources, a suitable production system can offer decisive market differentiation. A production system is based on production principles. Historically, the principle of flow had a crucial role. A workflow causes repetitions in the process and provides certainty and routine for the workforce. Work efficiency increases: as a result, also productivity and quality.

In stationary production Henry Ford decisively shaped the basic idea of flow. His principle was to physically let the products flow on a belt through production (Ford u. a. 1988). In stationary industry, the takt principle is often used to generate a flow, which places the product at the next station at the end of the taktcycle.

In terms of construction, this approach must be reversed because location of products (e.g. flat) is fixed. Here, the trades move in a fixed rhythm through the building. The idea of takt in construction hasn't developed in recent years and in the course of the formation has arisen various implementation forms. In German-speaking countries, the method 'Takt Planning and Control' was developed and was fully published in 2013 by Kaiser in his dissertation. Kaiser (vgl. 2013, S. 92) describes TPTS as a subsection of a holistic production system. Haghsheno et al. (2015) divide the TPTS method into the flow of "design and control of production systems". In 2016, the TPTS method was further developed at KIT and supplemented by a model with three levels for different detail levels of the process (Dlouhy u. a. 2016b).

The last development stage of this method concerning the flow will be scientifically examined in the present work. First, the flow will be defined in the context of the method, then the views and measures, as well as key figures are described for consideration. The intermediate result is a system for viewing and assessing flow in takt construction projects. Using the system, data from 50 real projects where the TPTS method was implemented, will be analyzed

regarding the flow. The aim is to make a statement on the current state of flow quality in takt projects and to conduct points for improvement. The flow quality in takt projects is reduced primarily to the property continuity and divided into the two perspectives product and labor.

In practice, the workflow efficiency from the product perspective can be raised from 14.9 % to 54.0 %. This corresponds to an increase of approximately 39 percentage points. The analysis shows from that perspective a possible theoretical potential of up to 80.0 %. Consequently, the lead time could be greatly reduced. From the point of view of the labor, the work flow efficiency can be increased from 34.0 % to 88.2 %. As a result, resources are better utilized and costs can be saved.

To use the indicated potential, three optimization approaches are derived and described with concrete possibilities.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort des Hauptreferenten	i
Vorwort des Verfassers.....	iii
Kurzfassung	v
Abstract.....	vii
Abbildungsverzeichnis	xv
Tabellenverzeichnis	xix
Abkürzungsverzeichnis.....	xxi
1 Einführung	1
1.1 Ausgangssituation.....	1
1.2 Problemstellung	5
1.3 Zielsetzung und Forschungsfrage	6
1.4 Stand der Forschung	7
1.5 Methodisches Vorgehen und Struktur der Arbeit	8
2 Grundlagen zu Bauproduktionssystemen.....	13
2.1 Vorbemerkung	13
2.2 Produktionssysteme	13
2.2.1 Grundlagen zu Produktionssystemen	13
2.2.2 Die stationäre Produktion und deren wichtigste Entwicklungsstufen	15
2.2.3 Kategorisierung der stationären Produktion	19
2.3 Bauproduktionssysteme	22
2.3.1 Besonderheiten der Bauproduktion	22
2.3.2 Der schlüsselfertige Innenausbau	26
2.3.3 Die Entwicklung zu Lean Construction.....	27
2.3.4 Bauablaufplanung und deren Darstellungsformen	28
2.3.5 Rolle des GUs in der Bauproduktion.....	34
2.4 Fluss und Takt im (Bau-)Produktionssystem.....	35
2.4.1 Fluss in der stationären Produktion	35

2.4.2	Flussperspektiven in der stationären Produktion	38
2.4.3	Takt in der stationären Produktion	40
2.4.4	Funktion des Taktprinzips	43
2.4.5	Takt in der Bauproduktion.....	45
2.4.6	Fluss in der Bauproduktion	47
2.4.7	Flussperspektiven in der Bauproduktion	48
2.4.8	Eigenschaften und Messbarkeit des Flusses in der Bauproduktion	50
2.5	Zwischenfazit.....	51
3	Die Methode Taktplanung und Taktsteuerung.....	53
3.1	Vorbemerkung	53
3.2	Entwicklung der Taktung als Methode	53
3.2.1	Taktung mit dem Zyklogramm.....	54
3.2.2	Even Flow Production, Short Interval Production Scheduling und Week Beat Scheduling.....	55
3.2.3	Takt Time Planning	57
3.2.4	Taktplanung und Taktsteuerung	57
3.2.5	Zusammenfassung und Gegenüberstellung	59
3.3	Taktplanung	61
3.3.1	Übersicht	61
3.3.2	Ermittlung der Grunddaten.....	64
3.3.3	Festlegung der Taktbereiche.....	66
3.3.4	Festlegung der Taktzeit	68
3.3.5	Harmonisierung.....	70
3.4	Taktsteuerung	73
3.4.1	Übersicht	73
3.4.2	Steuerungsmöglichkeiten	74
3.4.3	Steuerung der Arbeitspakete aus Ressourcen- perspektive	78
3.4.4	Steuerung der Arbeitspakete aus Produktperspektive	80
3.5	Der Taktplan: Darstellungsform, Messbarkeit und Umgang	82
3.5.1	Übersicht	82
3.5.2	Darstellungsform Taktplan.....	82

3.5.3	Messbarkeit des Taktplans	84
3.5.4	Einsatz des Taktplans im 3-Ebenen-Modell	86
3.5.5	Mikroebene als Schnittstelle zur Wertschöpfung	86
3.6	Zwischenfazit.....	88
4	Arbeitsflussbewertungssystem für getaktete	
	Bauproduktionssysteme	89
4.1	Vorbemerkung	89
4.2	Aufbau des Bewertungssystems	90
4.2.1	Übersicht	90
4.2.2	Flussperspektiven auf den Taktplan	90
4.2.3	Flusseigenschaften im Taktplan	93
4.2.4	Aufbau des Arbeitsflussbewertungssystems.....	94
4.3	Beschreibung der Untersuchungsfelder	95
4.3.1	Definition der Untersuchungsfelder	95
4.3.2	Eingrenzung der Untersuchungsfelder	96
4.4	Auswirkungen der Untersuchungsfelder auf den Taktplan.....	97
4.5	Auswirkungen der Messgrößen auf den Arbeitsfluss	99
4.6	Kennzahlen zur Messung des Arbeitsflusses	100
4.6.1	Vorbemerkung.....	100
4.6.2	Untersuchungsfeld 1: Rhythmus aus der Arbeitskraftperspektive	101
4.6.3	Untersuchungsfeld 2 - Rhythmus aus der Produktperspektive	103
4.6.4	Untersuchungsfeld 3 - Gleichmäßigkeit aus der Arbeitskraftperspektive	103
4.6.5	Untersuchungsfeld 5 - Kontinuität aus der Arbeitskraftperspektive:	105
4.6.6	Untersuchungsfeld 6 - Kontinuität aus der Produktperspektive	108
4.7	Zusammenfassung	111
5	Auswertungen zum getakteten Bauproduktionssystem	113
5.1	Vorbemerkung	113
5.2	Bewertungsrahmen	114

5.2.1	Ausgewähltes Unternehmen und Rolle des Verfassers	114
5.2.2	Umsetzung im Unternehmen	115
5.2.3	Datenaufbau	117
5.2.4	Auswahl der Projekte	119
5.3	Auswertung der Eigenschaft ‚Rhythmus‘	124
5.3.1	Rhythmus der Vorgangslänge	124
5.3.2	Schlussfolgerung zum Rhythmus in der Vorgangsdauer.....	125
5.4	Auswertung der Eigenschaft ‚Gleichmäßigkeit‘	126
5.4.1	Gleichmäßige Einteilung der Taktbereiche	126
5.4.2	Schlussfolgerung zur gleichmäßigen Einteilung der Taktbereiche	128
5.5	Auswertung der Eigenschaft ‚Kontinuität‘	129
5.5.1	Flusseffizienz aus beiden Perspektiven	129
5.5.2	Schlussfolgerung zur Flusseffizienz	132
5.6	Zusammenfassung der Auswertung getakteter Projekte	133
6	Verbesserung der Kontinuität	135
6.1	Vorbemerkung	135
6.2	Einfluss der Taktzeit auf die Kontinuität	135
6.3	Füllung der Waggons.....	143
6.4	Analyse der Differenz zwischen Soll und Ist.....	153
6.4.1	Beeinflussende Mechanismen	153
6.4.2	Störungsgründe.....	165
6.5	Zusammenfassung und Ableitung von Verbesserungsansätzen	170
6.5.1	Vorbemerkungen	170
6.5.2	Verbesserungsansatz 1: Verkleinerung der Takte	170
6.5.3	Verbesserungsansatz 2: Erhöhung des Füllgrades	176
6.5.4	Verbesserungsansatz 3: Zusammenarbeit.....	182
6.5.5	Übersicht der Verbesserungsmöglichkeiten	186
6.5.6	Potenzialermittlung	187
6.6	Praktische Anwendung der Flusseffizienzen	190
6.6.1	Vorbemerkung.....	190

6.6.2	Fallbetrachtungen und Wichtung.....	191
6.6.3	Beispiel der Formelanwendung	194
7	Abschluss	195
7.1	Zusammenfassung und Beantwortung der Forschungsfrage	195
7.2	Kritische Auseinandersetzung	200
7.3	Ausblick.....	202
	Literaturverzeichnis.....	207
	Anhang	225

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Produktivitätsentwicklung verschiedener Branchen.....	2
Abbildung 2: Forschungsübersicht.....	9
Abbildung 3: Aufbau eines ganzheitlichen Produktionssystems.....	15
Abbildung 4: Entwicklungsstufen der stationären Produktion.....	16
Abbildung 5: Gegenüberstellung der Fertigungsprinzipien und Fertigungsarten	20
Abbildung 6: Darstellungsform Balkenplan / Gantt-Chart mit Verknüpfung	30
Abbildung 7: Darstellungsform Liniendiagramm als Ort-Zeit- Diagramm	32
Abbildung 8: Prinzipien des Lean Thinking.....	36
Abbildung 9: Struktur der stationären Produktion.....	38
Abbildung 10: Effizienzmatrix.....	39
Abbildung 11: Auswirkungen von Störungen (Schwankung und Abweichung) (vgl. Frandson u. a. 2014, S. 577).....	44
Abbildung 12: Produktionsstrategien	46
Abbildung 13: Zyklischer Zusammenhang der drei Flüsse im PPO Modell.....	49
Abbildung 14: Eigenschaften Rhythmus, Gleichmäßigkeit und Kontinuität	50
Abbildung 15: Entwicklungsschritte der Taktung als Methode im Bauwesen	54
Abbildung 16: 3-Ebenen-Modell zur Strukturierung von Bauprozessen	58
Abbildung 17: Schritte der Taktplanung	62
Abbildung 18: Zugdarstellung mit Waggons inkl. Arbeitsverteilungsdiagramm.....	63

Abbildung 19: Beispiel zur Festlegung der Taktbereiche	67
Abbildung 20: Arbeitsverteilungsdiagramm	71
Abbildung 21: Waggonisierung mit Auslastung	72
Abbildung 22: Schematische Darstellung von Soll-Taktplan und Ist-Taktplan	74
Abbildung 23: Beispiel einer Abweichung von der Taktzeit	78
Abbildung 24: Verbindung des Taktplans zum Balken- und Liniendiagramm	82
Abbildung 25: Schematisches Beispiel eines Taktplans	84
Abbildung 26: Taktplan und geplanter Verlauf der Arbeitsleistung mit An- und Auslaufkurve	85
Abbildung 27: Perspektiven auf den Arbeitsfluss im Taktplan	90
Abbildung 28: Eigenschaften aus der Arbeitskraftperspektive im Taktplan	98
Abbildung 29: Eigenschaften aus der Produktperspektive im Taktplan	99
Abbildung 30: Messgrößen auf die einzelnen Flusseigenschaften	100
Abbildung 31: Berechnungsbeispiel Vorgangsdauer	102
Abbildung 32: Beispiel zur Gleichmäßigkeit aus Arbeitskraftperspektive	104
Abbildung 33: Fiktives Beispielprojekt für Kontinuität aus der Arbeitskraftperspektive	107
Abbildung 34: Fiktives Beispielprojekt für Kontinuität aus der Produktperspektive	110
Abbildung 35: 3-Ebenen-Modell aus Sicht des betrachteten Generalunternehmers	115
Abbildung 36: Datenstruktur der Ablaufplanung in Bezug zum 3-Ebenen-Modell	118
Abbildung 37: Schematische Darstellung des Taktplans im Soll- (links) und Ist-Zustand (rechts)	119

Abbildung 38: Zweistufige Filterung der Projekte zur Datenanalyse	120
Abbildung 39: Anzahl der Projekte im Verlauf der Jahre	122
Abbildung 40: Aufteilung der Projekte nach Nutzungstypen.....	123
Abbildung 41: Normierter Variationskoeffizient der Vorgangsdauer im Soll- und Ist-Zustand	124
Abbildung 42: Gleichmäßigkeit aus Arbeitskraftperspektive – Normierter Variationskoeffizient der Taktbereichsfläche	127
Abbildung 43: Arbeitsflusseffizienzmatrix der ausgewerteten Projekte	131
Abbildung 44: Arbeitsflusseffizienzmatrix mit verschiedenen Taktzeiten.....	136
Abbildung 45: Beispiel - Normierung der Matrixachsen zur Flusseffizienzauswertung.....	139
Abbildung 46: Einfluss der absoluten Betrachtung der Taktplanachsen auf die Kontinuität	142
Abbildung 47: Füllgrad der Waggons	144
Abbildung 48: Durchschnittlicher Füllgrad der Waggons für alle untersuchten Projekte in %	146
Abbildung 49: Position der Flusseffizienzen in der Effizienzmatrix	150
Abbildung 50: Schematische Darstellung einer Waggonisierung in einem Zug	151
Abbildung 51: Beispielhafte Analyse eines Taktplans hinsichtlich der Messgröße ‚ungefüllte Waggons‘	154
Abbildung 52: Mechanismus Verschiebung.....	156
Abbildung 53: Mechanismus Zugstopp.....	158
Abbildung 54: Mechanismus Blockabfertigung.....	159
Abbildung 55: Mechanismus Waggonentfalls	161
Abbildung 56: Mechanismus Waggonergänzung.....	161

Abbildung 57: Mechanismus Zugsequenzsplit mit lokaler Auswirkung.....	162
Abbildung 58: Mechanismus Waggonsplit	163
Abbildung 59: Mechanismus Waggonwechsel	164
Abbildung 60: Störungsgründe zugeordnet zu den Kategorien	167
Abbildung 61: Kombinationen der Achseinteilung	171
Abbildung 62: Taktbereichsreduzierung und Taktzeitverkürzung	172
Abbildung 63: Taktplan mit ausgewiesenem Workable Backlog	177
Abbildung 64: Beispiel einer Gewerkegrenzen-Auflösung.....	180
Abbildung 65: Übersicht der Verbesserungsansätze	187
Abbildung 66: Beispieltaktpläne zur Ermittlung des Gesamtpotenzials	187
Abbildung 67: Darstellung der Arbeitsflusseffizienzen im aktuellen und Ziel-Zustand.....	190
Abbildung 68: Übersicht des Vorgehens.....	197
Abbildung 69: Zusammenfassung der Verbesserungsansätze inkl. der Verbesserungsmöglichkeiten	199
Abbildung 70: Übersicht der Bauablaufplanung inkl. der Darstellungsart des Taktplans	203

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Erweitertes Eignungsdiagramm und Einteilung der Bauablaufplanung inkl. Vor- und Nachteile der Darstellungsform	33
Tabelle 2: Vergleich der einzelnen Strömungen	60
Tabelle 3: Steuerungsmöglichkeiten	75
Tabelle 4: Aufbau des Arbeitsflussbewertungssystems	94
Tabelle 5: Definition der Untersuchungsfelder	95
Tabelle 6: Arbeitsflussbewertungssystem mit Untersuchungsfeldern	97
Tabelle 7: Einteilung der Kontinuität	108
Tabelle 8: Arbeitsflussbewertungssystem mit zugehörigen Kennzahlen	111
Tabelle 9: Zusammenfassung der Thesen	112
Tabelle 10: Übersicht der Flusseffizienzen und deren Veränderungen in Prozentpunkten	130
Tabelle 11: Übersicht der Flusseffizienzen nach Taktzeiten	137
Tabelle 12: Übersicht der Flusseffizienzen aus Produktperspektive	140
Tabelle 13: Übersicht negative Ausreißer auf Mikroebene	147
Tabelle 14: Arbeitsflusseffizienzen auf Mikro- und Normebene	149
Tabelle 15: Anordnung der Arbeitspakete im Waggon	152
Tabelle 16: Auswirkungen der beeinflussenden Mechanismen auf die Kontinuität	164
Tabelle 17: Kategorien der Störungsgründe	166
Tabelle 18: Verhalten der Waggonanzahl und Leerwaggons bezogen auf die Taktzeit	174

Abkürzungsverzeichnis

Allgemeine Abkürzungen

AAS	Auftrags- und Ausführungssystem
AE	Arbeitsflusseffizienz
AKP	Arbeitskraftperspektive
AP	Arbeitspaket
ARH	Arbeitszeit-Richtwerte Hochbau
AS	Arbeitsschritt
BGB	Bürgerliches Gesetzbuch
BL	Bauleitung / Bauleiter
BPS	Bauprozesssystem
bzgl.	bezüglich
CRISP-DM	Cross Industry Standard Process for Data Mining
CTTP	Collaborative Takt Time Planning
d.h.	das heißt
EFP	Even Flow Production
etc.	et cetera
e.V.	eingetragener Verein
f.	folgend
ggf.	gegebenenfalls
GLCI	German Lean Construction Institut e.V.
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung

GPS	Global Positioning System
GU	Generalunternehmer
GU-A	Generalunternehmer - Ausführung
GU-A,A	Generalunternehmer - Ausführungsplanung, Ausführung
GU-E,A	Generalunternehmer - Entwurfsplanung, Ausführung
GÜ	Generalübernehmer
IGLC	International Group for Lean Construction
inkl.	inklusive
IPD	Integrated Project Delivery
JIT	Just-in-time
k. A.	Keine Angaben
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
LC	Lean Construction
LCI	Lean Construction Institut
LM	Lean Management
NU	Nachunternehmer
OAS	Operatives Ausführungssystem
OEM	Original Equipment Manufacturer
o. J.	ohne Jahresangabe
POP	Produktperspektive
PPO	Portfolio, Prozess und Operation
S.	Seite
SAB	Standardarbeitsblatt
SIPS	Short Interval Production Scheduling

SRE	Standardraumeinheit
TFV	Transformation-Flow-Value
TPS	Toyota Produktionssystem
TPTS	Taktplanung und Taktsteuerung
TTP	Takt Time Planning
TU	Totalunternehmer
TÜ	Totalübernehmer
UdSSR	Union der Sozialistischen Sowjetrepubliken
u. a.	unter anderem
US	United States
u. ä.	und ähnlich
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
vgl.	Vergleich
VOB	Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen
z. B.	zum Beispiel

Symbole und Formelzeichen

AF	Auslastungsfaktor
AT	Arbeitstag
AW	Aufwandswert
F	Taktbereichsfläche
FG	Füllgrad
h	Stunde
m	Anzahl der Taktbereiche

m ²	Quadratmeter
MA	Mitarbeiter
n	Anzahl der Vorgänge
s ²	Standardabweichung
sec	Sekunden
Stk.	Stück
T	Gesamtbauzeit
TB	Taktbereich
TZ	Taktzeit
V	Arbeitsinhalt
VD	Vorgangsdauer
ϑ	Variationskoeffizient
ϑ*	Normierter Variationskoeffizient

1 Einführung

1.1 Ausgangssituation

Seit dem Ende der Weltwirtschaftskrise 2009, ausgelöst durch die Finanzkrise im US-Immobilien Sektor 2007 (vgl. Bundeszentrale für politische Bildung 2017), befindet sich die Baubranche¹ in Deutschland im Aufschwung und verzeichnete bis zum Jahr 2019 ein jährliches Wachstum (vgl. Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. 2018, S. 5 f.). In Deutschland hat das Wachstum dieser Branche eine hohe wirtschaftspolitische Relevanz (vgl. Brömer 2015, S.1), da der erwirtschaftete Anteil am Bruttoinlandsprodukt bei fast 10 % liegt (vgl. Hauf und Schäfer o. J., S. 105). Die Umsatzentwicklung der deutschen Baubranche belief sich 2019 auf 135 Mrd. €, dies entspricht einem nominellen Umsatzwachstum von 6,7 % bezogen auf das Jahr 2018. Für 2020 wird ein positiver Anstieg erwartet. (vgl. Zentralverband Deutsches Baugewerbe 2020) Neben dem Umsatzwachstum stiegen auch die Mitarbeiterzahlen kontinuierlich an. 2018 zählte die Baubranche rund 830.000 Mitarbeiter (vgl. Pakleppa 2018). Für 2019 erfolgte ein Anstieg um mehr als 4 % auf über 870.000 Erwerbstätige (vgl. Zentralverband Deutsches Baugewerbe 2020).

Die hohe Nachfrage und positive Konjunktur ziehen weitere Effekte nach sich: Auftragnehmer müssen sich derzeit nicht intensiv um Aufträge bemühen, sondern sehen sich in der komfortablen Lage geeignete Projekte auswählen zu können. Diese Aussage trifft auf die komplette Zulieferkette zu. Bedingt durch die hohe Nachfrage entsteht eine Ressourcenknappheit an qualifizierten Fachkräften (vgl. Frankfurter Allgemeine o. J.; vgl. Hauptverband der deutschen Bauindustrie e.V. o. J.). Auftraggeber müssen sich somit verstärkt um die Ressourcen bemühen.

¹ Unter der Baubranche wird ein Wirtschaftszweig verstanden, dessen Leistungen direkt auf die Herstellung oder den Erhalt von Bauwerken gerichtet sind (vgl. Brömer 2015, S. 11).

Gepaart mit der seit Jahren fehlenden Produktivitätssteigerung in der Baubranche im Vergleich mit anderen Industrien (vgl. Schneider 2013), entsteht eine Differenz zwischen Nachfrage und Angebot. Andere Branchen standen vor ähnlichen Ausgangssituationen und es gelang ihnen, durch eine Produktivitätssteigerung die Nachfrage zu decken. Abbildung 1 zeigt die Produktivitätsentwicklung einzelner Branchen seit 1947. Die Baubranche weist einen stagnierenden Verlauf auf, wohingegen die durchschnittliche Produktivität seit Mitte des letzten Jahrhunderts bis heute um das über Dreifache angestiegen ist. Die Entwicklung der Produktivität zeichnet sich in verschiedenen Branchen sehr unterschiedlich ab. In einigen Industriezweigen kam es zu sehr starken Produktivitätsanstiegen. Beispielsweise wurde im Einzelhandelsbereich ein Produktivitätsanstieg von über 800 % erzielt. Im verarbeitenden Gewerbe, allen voran der stationären Industrie, kam es zu einem Anstieg von ca. 860 %. Die Agrarwirtschaft erhöhte als Spitzenreiter ihre Produktivität seit 1947 um den Faktor 16,1. (vgl. Barbosa u. a. 2017, S. 23)

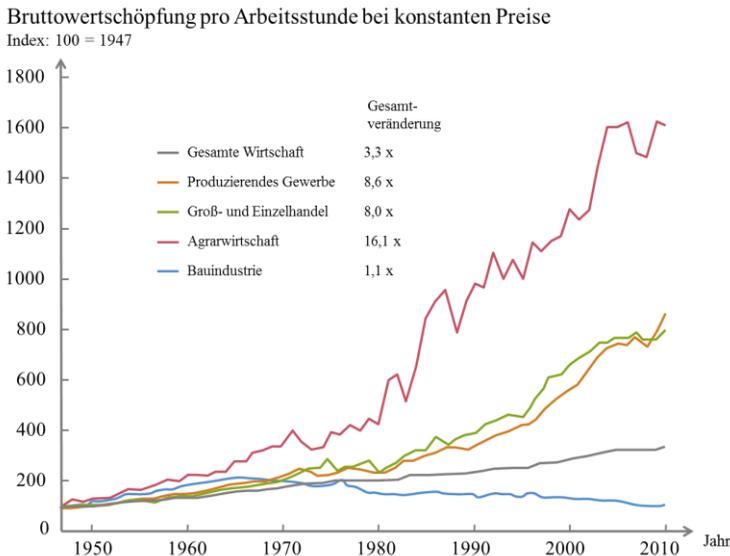


Abbildung 1: Produktivitätsentwicklung verschiedener Branchen
(vgl. Barbosa u. a. 2017, S. 23)

Die Produktivitätsentwicklungen der einzelnen Branchen basieren auf unterschiedliche Ursachen. In der Agrarwirtschaft treibt die Kombination aus Automatisierung, Digitalisierung und biotechnologischem Fortschritt die Entwicklung voran. Früher waren mehrere Personen zur Ernte eines Kornfeldes notwendig, heute überwacht eine Person aus der Entfernung über das Global Positioning System (kurz GPS) mehrere größere sowie vollautomatische Maschinen. Im Einzelhandelsbereich revolutionierten Einkaufsgemeinschaften und Großhändler wie beispielsweise ALDI die Branche, indem sie die Zulieferkette neu definierten und die eigenen Prozesse optimierten. In der stationären Produktion waren die industriellen Entwicklungsstufen maßgeblich für die Produktivitätssteigerung verantwortlich: Angefangen vom Fließband in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts über die Automatisierung bis hin zur Industrie 4.0. (vgl. Barbosa u. a. 2017, S. 23) Heutzutage bildet ein effizientes Produktionssystem die Basis der stationären Industrie.

In der Baubranche blieben Produktivitätssteigerungen in dieser Größe aus (vgl. Schneider 2013; Barbosa u. a. 2017). Gab es in den sechziger und siebziger Jahren einen leichten Anstieg, so hat sich dieser egalisiert und nur zu einer leichten Steigerung der Produktivität geführt. Einige Quellen zeigen sogar eine negative Entwicklung der Produktivität auf. (vgl. Niebel 2017, S. 84) Jedoch haben alle Studien gemeinsam, dass sich die Baubranche hinsichtlich der Produktivität schlechter entwickelt als andere Branchen. Forscher der Aarhus Universität (vgl. Neve u. a. 2020, S. 5) bestätigen diese Ergebnisse hinsichtlich der fehlenden Produktivität in der Baubranche und führen das Fehlen eines Produktionssystems als Hauptgrund an.

Produktionssysteme sind in vielen anderen Branchen, speziell in der Automobilindustrie ein Standard. Das wohl bekannteste Produktionssystem ist das Toyota Produktionssystem² (TPS), das im gleichnamigen Automobilunternehmen in Japan entwickelt wurde (vgl. Ohno 2013). Basierend auf diesem System wurde der Produktionsansatz des Lean Managements (LM) definiert.

² Unter der Abkürzung TPS wird das Produktionssystem von Toyota beschrieben, dass maßgeblich durch Taiichi Ohno entwickelt wurde (vgl. Ohno 2013) und durch das Buch 'The machine that changed the world' (vgl. Womack u. a. 1991) weltweit bekannt wurde.

Dieser Ansatz ist heute in der stationären Industrie, speziell in der Automobilindustrie, weit verbreitet. Unter dem Begriff Lean Construction (LC) wird diese Theorie mit dem Ziel, ein schlankes Bauproduktionssystem entstehen zu lassen, auf die Baubranche übertragen. (GLCI 2018) Durch die Eliminierung von Verschwendung und den dadurch erreichten geringeren Ressourceneinsatz kann ein kostengünstigeres und dennoch qualitativ hochwertiges Ergebnis erzielt werden. Produktionssysteme basieren auf klaren Regeln, sie sind an definierten Prinzipien ausgerichtet und beinhalten Methoden und Werkzeuge.

Das wahrscheinlich bekannteste Produktionsprinzip ist die Orientierung an einem Produktionsfluss (vgl. Liker 2004, S.119; Womack 2004). Dies bedeutet, dass sich das zu bearbeitende Werkstück in Bewegung befindet und an den Arbeitern vorbei durch die Produktion fließt. Der Fluss der Arbeit, im weiteren Textverlauf auch kurz als Arbeitsfluss bezeichnet, sorgt für eine Wiederholung einzelner Prozessbausteine, die zu einer Routine führen. Die daraus erzielten Erfahrungseffekte in den Abläufen sorgen für eine systematisierte Produktivitätssteigerung. (vgl. Lehtovaara u. a. 2020, S. 1).

Der Fluss kann durch einen Rhythmus, auch Taktschlag genannt, erzeugt werden. Zu jedem Taktschlag kann der Produktionsstatus abgeglichen werden. Dies vereinfacht die Planung und Steuerung innerhalb der Bauproduktion. Der Takt kann somit maßgeblich auf den Fluss einwirken und dieser hat bekanntlich starke Auswirkungen auf die Produktivität.

Im Kontext der Baubranche bewegt sich nicht das Werkstück, sondern die Arbeiter über die Baustelle. Dennoch kann von einem Arbeitsfluss gesprochen werden. Mit Hilfe von speziellen Vorgehensweisen kann ein Takt in der Bauproduktion erzeugt werden, der wiederum den Fluss organisiert. Der Autor wählt die Methode ‚Taktplanung und Taktsteuerung‘ (TPTS), die speziell im deutschsprachigen Raum entwickelt wurde. Die Methode TPTS stellt eine mögliche Lösung für die beschriebene Problemsituation im Bauwesen dar, weshalb sie weltweit immer mehr an Bedeutung erlangt.

In dieser Arbeit wird daher ein getaktetes Bauproduktionssystem hinsichtlich des Flusses untersucht. Für die Entstehung eines Taktes und Organisation eines

Arbeitsflusses ist maßgeblich das Bauunternehmen zuständig. Die Untersuchung wird aus der Perspektive eines Bauunternehmens, hier am Beispiel eines Generalunternehmers³ (GU), durchgeführt. Dieser ist am ehesten mit einem klassischen Original Equipment Manufacturer⁴ (OEM) aus der stationären Industrie vergleichbar. Anhand einer ausgewählten Fallstudie werden Projektdaten aus einem getakteten Bauproduktionssystem untersucht. Dabei findet eine Fokussierung auf die Daten des schlüsselfertigen Innenbaus der einzelnen Projekte statt, da hier die beste Datenqualität in der Fallstudie vorhanden ist und die Taktung durchgängig Anwendung erfährt.

1.2 Problemstellung

Ein Arbeitsfluss sorgt für eine Produktivitätssteigerung und der Takt kann bei der Integration eines Flusses helfen (vgl. Lehtovaara u. a. 2020, S. 1). Um diese Schlussfolge zu beweisen, muss zunächst der Zusammenhang zwischen einer Taktintegration und einem Fluss in einem Bauproduktionssystem hergestellt werden.

Sind die qualitativen Zusammenhänge bekannt, so werden die Parameter der Taktung für den entstehenden Arbeitsfluss ausgelegt. Um die quantitativen Effekte genau bewerten zu können, wird zunächst eine Maßeinheit entwickelt. Anhand dieser ist anschließend die Qualität des entstehenden Arbeitsflusses bewerten. Mit dieser Maßeinheit können projektübergreifende Aussagen zum Ist-Zustand des Flusses in getakteten Bauproduktionssystemen getroffen werden. Sind zudem die quantitativen und qualitativen Abhängigkeiten zwischen den Prinzipien Fluss und Takt bekannt, so ist die Basis, das System durch gezielte Verbesserungen weiterzuentwickeln, gelegt.

Aktuell besteht nicht die Möglichkeit einen Fluss in getakteten Bauproduktionssystemen einheitlich zu bewerten. Zudem liegen keine Erkenntnisse zur

³ Die Abgrenzung des Generalunternehmers findet in dieser Arbeit auf Basis von Racky (1997) statt. Die Rolle des GUs in dieser Arbeit wird im Kapitel 2 genauer abgegrenzt.

⁴ Ein OEM im Kontext Automobilbranche ist ein Autohersteller als Unternehmen, das Einzelteile zu einem fertigen Produkt kombiniert und auf dem Markt anbietet. (vgl. Wallentowitz u. a. 2008, S.1)

gezielten und systematischen Verbesserung vor. Einzelne Grundlagen und Ansätze zur Bewertung des Flusses im Allgemeinen sind bereits vorhanden und stehen für die Übertragung auf getaktete Bauproduktionssysteme zur Verfügung. Ein Bewertungsmodell soll die Qualität des Arbeitsflusses in getakteten Bauproduktionssystemen vergleichbar und bewertbar machen, um somit systematisch einzelne Potenziale aufzuzeigen und gezielt zu heben.

1.3 Zielsetzung und Forschungsfrage

Die vorliegende Arbeit untersucht die TPTS Methode hinsichtlich des Arbeitsflusses in Bauproduktionssystemen. Ziel ist die Verbesserung des Arbeitsflusses. Sollte diese Annahme der Effizienzentwicklung durch einen Fluss stimmen, wird sich das Gesamtprojektergebnis langfristig positiv entwickeln. Der Generalunternehmer steht wegen seiner entscheidenden Rolle im Bauproduktionssystem im Fokus.

Aus dieser Problemstellung und Zielsetzung heraus ergibt sich folgende Forschungsfrage für die wissenschaftliche Arbeit:

Wie kann die Qualität des Arbeitsflusses in getakteten Bauproduktionssystemen aus Sicht eines Generalunternehmers verbessert werden?

Auf die Forschungsfrage wird mit Hilfe der vier folgenden Subforschungsfragen hingeleitet:

- ⇒ Welche Bedeutung haben die Prinzipien Takt und Fluss in (Bau-)Produktionssystemen?
- ⇒ Wie können die Prinzipien Fluss und Takt in ein Bauproduktionssystem integriert werden?
- ⇒ Wie kann die Qualität des Arbeitsflusses in getakteten Bauproduktionssystemen gemessen werden?
- ⇒ Wie ist der Zustand der Arbeitsflussqualität in einem heutigen Bauproduktionssystem?

1.4 Stand der Forschung

TPTS als Methode des LC kam vor einigen Jahren erstmals in der Baupraxis zum Einsatz und wird heute im deutschsprachigen Raum von zahlreichen Generalunternehmer wie beispielsweise Ed. Züblin AG, Implenia AG, Strabag AG, Köster GmbH, August Prien GmbH & Co. KG, Kamü Bau GmbH oder weisenburger bau GmbH, umgesetzt⁵. Das Interesse im internationalen Umfeld an der TPTS Methode wächst und der Bedarf nach Lösungsansätzen zur konkreten Umsetzung steigt. In den bisherigen Veröffentlichungen werden die Grundlagen und Vorgehensweise erläutert sowie einige praktische Beispiele zur Umsetzung genannt. So verweist Kaiser (vgl. 2013) bereits auf ausgeführte Beispiele und beschreibt die Methode in zehn Schritten. Weitere wissenschaftliche Veröffentlichungen im internationalen Umfeld gehen ebenfalls verstärkt auf die Beschreibung der Vorgehensweise, eines Projektbeispiels oder auf die Abgrenzung der Methode gegenüber vergleichbaren Ansätzen ein (Emdanat u. a. 2016; Fiallo C und Howell 2012; Frandson u. a. 2013, 2014, 2015; Heinonen und Seppänen 2016; Linnik u. a. 2013; Seppänen 2014; Tommelein 2017, 2017; Vatne und Drevland 2016). Aussagen über Ergebnisse und Effekte der Umsetzung werden nur in einzelnen Projekten beschrieben und sind kaum veröffentlicht. Eine umfassende und detaillierte Betrachtung über mehrere Projekte hinweg sowie eine wissenschaftliche Analyse der Methode hinsichtlich ihrer Effekte existieren nicht.

Aus einer getakteten Bauproduktion kann ein effizienter Arbeitsfluss entstehen. Der Arbeitsfluss wurde als grundlegende Eigenschaft im Allgemeinen und in Bauproduktionssystemen bereits wissenschaftlich untersucht. Koskela et al. (vgl. 2007) beschreiben den Fluss als wesentlichen Baustein im Transformation-Flow-Value-System (TFV). Es existieren bereits erste Untersuchungen zu verschiedenen Flussperspektiven (Modig und Åhlström 2015; Sacks 2016) und zu einzelnen flussbezogenen Kennzahlen wie beispielsweise von Sacks et al. (vgl. 2017). Eine detaillierte Untersuchung zum Arbeitsfluss und

⁵ Die Liste der Nennungen hat keinen Anspruch auf Vollständigkeit und basiert auf den Erfahrungen des Verfassers und dem Austausch mit den jeweiligen Unternehmen.

dessen Verhalten in einem getakteten Bauproduktionssystem fand bisher jedoch nicht statt. Eine erste wissenschaftliche Ausarbeitung in der Kombination eines getakteten Produktionssystems und des Arbeitsflusses wurden durch Lehtovaara et al. (2020) veröffentlicht. Diese Veröffentlichung bildet lediglich einen theoretischen Zusammenhang zwischen Takt und Arbeitsfluss ab. Somit kann bisher keine Aussage getroffen werden, inwiefern eine Taktintegration den Arbeitsfluss verbessert. Darüber hinaus gibt es keine Empfehlung wie der Fluss in getakteten Produktionssystemen verbessert werden kann.

1.5 Methodisches Vorgehen und Struktur der Arbeit

Die vorliegende Arbeit ist in sieben Kapitel eingeteilt. Abbildung 2 ist in vier Spalten eingeteilt und fasst den Aufbau sowie die methodische Vorgehensweise der Arbeit grafisch in einer Forschungsübersicht zusammen. Die beiden mittleren Spalten bilden die wichtigsten inhaltlichen Bausteine und die Zuordnung zu den einzelnen Kapiteln ab. In der linken Spalte der Abbildung ist der angewandte methodische Ansatz dargestellt. In der rechten Spalte werden die (Sub-)Forschungsfragen den einzelnen Kapiteln zugeordnet.

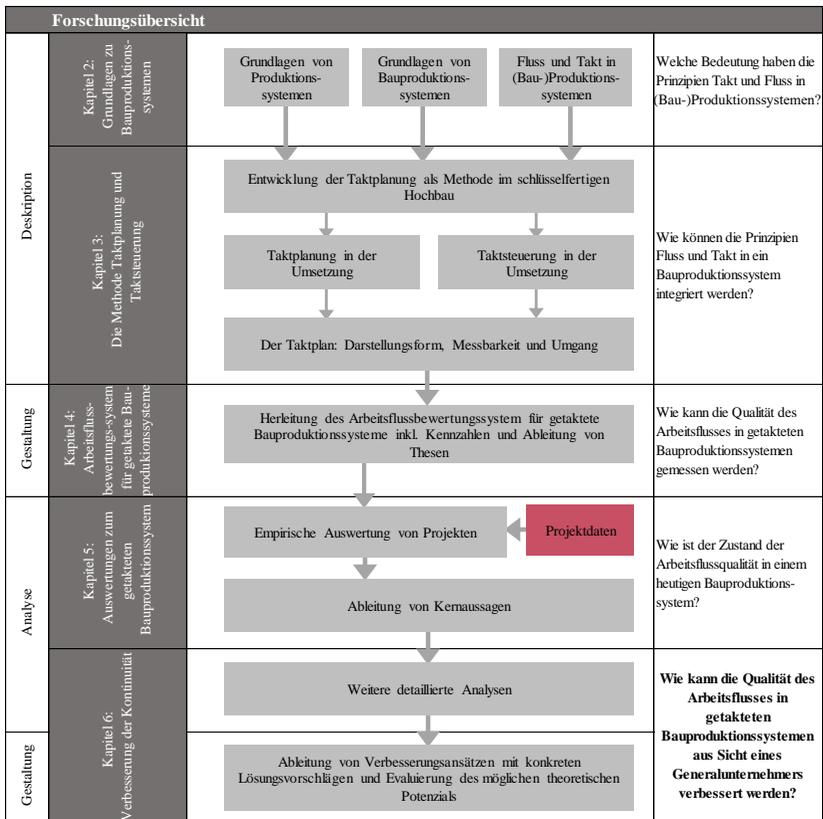


Abbildung 2: Forschungsübersicht

Im ersten Kapitel wird die einleitende Thematik dargelegt. Insbesondere erfolgt die Beschreibung der Ausgangssituation, die Problemstellung, die Zielsetzung, der Forschungsstand und die Vorgehensweise und der Aufbau der Arbeit.

Das zweite Kapitel beschreibt die Grundlage der Prinzipien Takt und Fluss in der Produktion. Zunächst werden allgemeingültige Begrifflichkeiten und Theorien zu Takt und Fluss aus der Produktionswirtschaft anhand vorhandener Literatur abgeleitet, bevor näher auf die Besonderheiten der Bauproduktion eingegangen wird. Das zweite Kapitel beantwortet die Subforschungsfrage

‚welche Bedeutung haben die Prinzipien Takt und Fluss in (Bau-)Produktionssystemen?‘.

Im dritten Kapitel werden weitere Grundlagen zur Anwendung der TPTS Methode in Bezug auf die Integration des Flusses und Taktes gelegt. Die zu untersuchende Methode wird abgegrenzt und beschrieben. Das Kapitel beantwortet die Frage ‚wie die Prinzipien Takt und Fluss in ein getaktetes Bauproduktionssystem integriert werden können?‘. Die Kapitel 2 und 3 basieren auf einer Literaturrecherche und haben einen deskriptiven Charakter.

Aufbauend auf den Grundlagen wird im vierten Kapitel ein Arbeitsflussbewertungssystem für getaktete Bauproduktionssysteme hergeleitet. Auf Basis der theoretischen Grundlagen aus Kapitel 2 und 3 kombiniert der Verfasser vorhandene Ansätze und bildet daraus ein eigen entwickeltes Bewertungssystem, wodurch das Kapitel gestaltende Elemente annimmt. Dem Bewertungssystem werden Kennzahlen hinterlegt. Hierbei wird der Frage nachgegangen, inwieweit ‚die Qualität des Arbeitsflusses in getakteten Bauproduktionssystemen gemessen werden kann?‘. Es werden fünf Thesen abgeleitet, die als Ausgangsbasis für die Auswertung im anschließenden Kapitel dienen.

Im fünften Kapitel werden mit Hilfe des Bewertungssystems 50 ausgewählte Projekte eines getakteten Bauproduktionssystems aus der Praxis empirisch analysiert. Das Vorgehen zur Datenerhebung und Verarbeitung ist an die CRISP-DM Methode aus dem Bereich Data Mining angelehnt. CRISP-DM steht für Cross Industry Standard Process for Data Mining. Bereits in Kapitel vier werden die ersten Schritte der CRISP-DM Methode ausgeführt und im fünften Kapitel abgeschlossen. (vgl. Jannaschk 2018, S.14 ff.) Durch die Analyse kann ‚die Qualität des Arbeitsflusses in getakteten Bauproduktionssystemen gemessen werden‘. Anhand dieser Fragestellung können Aussagen zum Zustand der Arbeitsflussqualität zu bereits umgesetzten getakteten Bauproduktionssystemen getroffen werden, die als Ausgangsbasis für Verbesserungen dienen. Für die aufgestellten Thesen aus dem vorherigen Kapitel werden auf Basis der Analyse Kernaussagen abgeleitet.

In Kapitel 6 werden die Ergebnisse der Analyse ergänzt und auf die Flusseigenschaft Kontinuität eingegrenzt. Dadurch kann festgestellt werden, wovon die Arbeitsflussqualität im Detail abhängt. Im Anschluss wird die Forschungsfrage ‚Wie kann die Qualität des Arbeitsflusses in getakteten Bauproduktionssystemen aus Sicht eines Generalunternehmers verbessert werden?’ beantwortet. Das Ergebnis sind Verbesserungsansätze, die eine Beschreibung des jeweiligen Ansatzes sowie konkrete Umsetzungsmöglichkeiten beinhalten. Das Ziel besteht darin, das Potenzial dieser Ansätze auf Basis der Analyse aus dem fünften Kapitel theoretisch abzuleiten.

Im siebten Kapitel wird die Arbeit zusammengefasst und die Ergebnisse der Arbeit werden kritisch hinterfragt. Ein Ausblick bildet den Abschluss der Arbeit.

2 Grundlagen zu Bauproduktionssystemen

2.1 Vorbemerkung

Kapitel 2 führt in die Grundlagen zu Bauproduktionssystemen ein. Zunächst werden die Begrifflichkeiten abgegrenzt. So kann der Begriff Produktion im weiteren Sinne als Transformation von Gütern und Dienstleistungen in andere Güter und Dienstleistungen beschrieben werden (vgl. Kistner und Steven 2013, S. 18). Er ist gleichzusetzen mit einem Erstellungsprozess. Die Bauproduktion stellt eine sehr spezielle Unterform der Produktion dar, die in Bauprojekte integriert wird. (vgl. Kirsch 2009, S. 14) Dieses Kapitel widmet sich zunächst branchenunabhängig der Produktion im Allgemeinen. Am Beispiel der stationären Industrie werden die Theorie und die Grundlagen zur Produktion erläutert. Im Anschluss beleuchtet Kapitel 2.3 ein Bauproduktionssystem und dessen Besonderheiten. Über das gesamte Kapitel hinweg stehen die beiden Produktionsprinzipien Takt und Fluss im Fokus, da diese eine essenzielle Rolle im weiteren Verlauf der Arbeit einnehmen. Das Kapitel 2.4 behandelt explizit diese beiden Produktionsprinzipien.

2.2 Produktionssysteme

2.2.1 Grundlagen zu Produktionssystemen

Dieses Kapitel betrachtet das Produktionssystem zunächst branchenunabhängig. Bevor die Komposition Produktionssystem erläutert wird, werden die Einzelbegriffe getrennt voneinander definiert. Zunächst wird auf den Begriff System eingegangen, dessen Grundsätze aus dem Griechischen stammen. In diesem Zusammenhang wird zwischen Ganzheit und Vielheit unterschieden. Herrschen in der Menge keine Anordnung und Zusammenhänge, so wird dies als Vielheit definiert. Die Ganzheit beschreibt eine Menge von Teilen, die

untereinander angeordnet und im Zusammenhang stehen. Die zweite Definition entspricht dem Begriff System. (vgl. Ropohl 2009, S. 72)

Eine erste Definition des Begriffes Produktion wurde bereits in der Vorbemerkung (Kapitel 2.1) beschrieben. Weitere Definitionen grenzen den Begriff genauer ein. Produktion wird von Vahrenkamp und Siepermann (vgl. 2008, S. 1) als Transformationsprozess oder auch Herstellungsprozess bezeichnet, der eingehende Güter hin zu Output-Gütern definiert. Ein Output kann für den Absatzmarkt oder für den nächsten Schritt einer mehrstufigen Produktion bestimmt sein. Für die folgende Arbeit wird unter der Produktion ein komplexes System verstanden, das Werkstück, Mensch und Betriebsmittel unterschiedlich zueinander anordnet. (vgl. Wiendahl 2014, S. 41) Diese Parameter werden in einem Produktionssystem organisiert. Für die Komposition ‚Produktionssystem‘ gibt es unterschiedliche Definitionen.

„Ein Produktionssystem umfasst alle Elemente und Relationen zwischen den Elementen, die zur vollständigen Erstellung eines Produktes erforderlich sind. Als Funktion eines Produktionssystems ist die Erfüllung einer Produktionsaufgabe anzusehen, die durch Art, Menge und Reihenfolge der zu erstellenden Sachleistungen (Produktionsprogramm) charakterisiert werden kann.“ (Hoeschen 2007)

Diese Definition beschreibt die Funktion und die Erstellung eines Produktes. Eine andere Definition beschreibt ein Produktionssystem als eine „...aufeinander abgestimmte Menge an Produktionsprinzipien und daraus abgeleiteten Methoden, nach denen die Produktion organisiert und gesteuert wird.“ (vgl. Bleher 2014, S. 12). Diese Definition beinhaltet lediglich die Beschreibung, Ausrichtung und Richtlinien, wie ein Produkt erstellt wird. Eine weitere Definition bezieht die Begriffe Werkzeug und Konzept mit ein.

„Produktionssysteme beschreiben die ganzheitliche Produktionsorganisation und beinhalten die Darstellung aller Konzepte, Methoden und Werkzeuge, die in ihrem Zusammenwirken die Effektivität und Effizienz des gesamten Produktionsablaufes ausmachen.“ (Schuh und Stich 2012, S. 11)

Produktionsplanung und -steuerung stellen zentrale Bausteine eines Produktionssystems dar. (vgl. Schuh 2007, Vorwort) Im Rahmen dieser Arbeit wird die Definition nach Schuh und Stich als Grundlage verwendet.

Die Richtlinie VDI 2870 unterstützt diese Definition und unterteilt das Produktionssystem in mehrere Ebenen. Abbildung 3 beschreibt den Aufbau eines ganzheitlichen Produktionssystems, das eine spezielle Form des Produktionssystems darstellt.

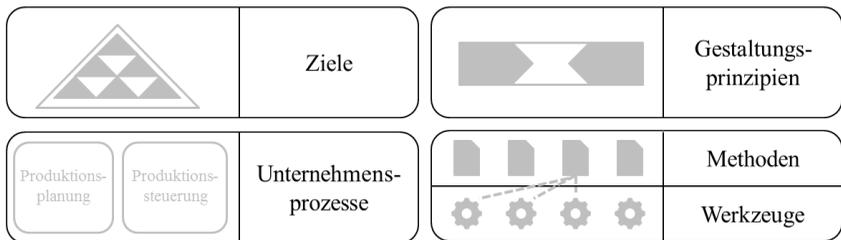


Abbildung 3: Aufbau eines ganzheitlichen Produktionssystems(vgl. VDI 2870-1 2012, S. 10)

Die oberste Ebene bildet die Ziele ab, von denen Unternehmensprozesse abgeleitet werden. Diese Ziele können sehr unternehmensspezifisch ausgerichtet sein. Die darunter dargestellte Prozessebene strukturiert die Unternehmensaktivitäten und richtet diese an den Zielen aus. Methoden und Werkzeuge bilden die Basis und unterstützen die Prozessebene. Grundlegend für jegliche Ebenen sind die Gestaltungsprinzipien, an denen sich die Tätigkeiten orientieren. Hervorgehoben werden auf dieser Ebene die Gestaltungsprinzipien Fluss und Takt, die in vielen Produktionssystemen wie beispielsweise von Toyota (vgl. Black und Black 2008, S. 21) oder von Mercedes Benz (vgl. Zink u. a. 2008, S. 218) eine wichtige Rolle spielen.

2.2.2 Die stationäre Produktion und deren wichtigste Entwicklungsstufen

Wenn im Allgemeinen von Produktion gesprochen wird, dann wird damit sehr häufig die stationäre Industrie assoziiert. Aus diesem Grund dient die stationäre Industrie in den folgenden Unterkapiteln als Erläuterungsbeispiel.

Innerhalb der stationären Industrie fanden in den letzten 200 Jahren starke Veränderungen statt.

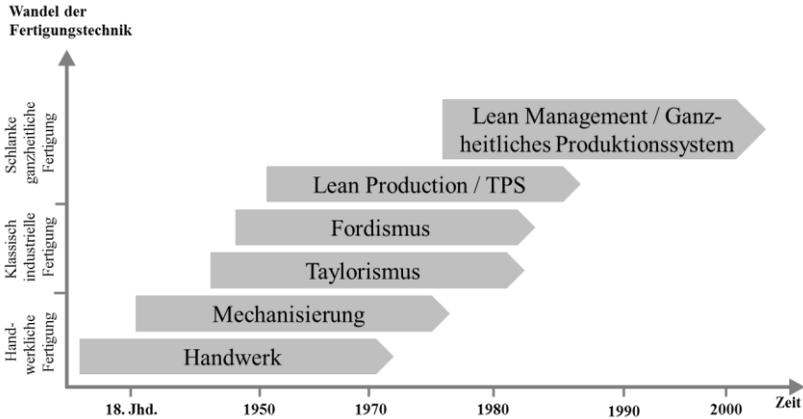


Abbildung 4: Entwicklungsstufen der stationären Produktion (vgl. Dombrowski und Mielke 2015, S. 5; Eberhardt 1995, S. 13 ff; Gehbauer 2007)

In Abbildung 4 sind die wichtigsten Entwicklungsstufen von der handwerklichen hin zur schlanken und ganzheitlichen Fertigung dargestellt. Der Ursprung der stationären Produktion liegt im **Handwerk**. Diese erste Entwicklungsstufe ist geprägt durch eine dezentrale Einzelfertigung direkt vom Kunden bestellter Werkstücke. Einer hohen Flexibilität hinsichtlich der Kundenwünsche - als positives Merkmal der handwerklichen Produktion - stehen ein hoher manueller Aufwand, eine geringe Arbeitsteilung sowie eine fehlende Genauigkeit und Standardisierung gegenüber. (vgl. Eberhardt 1995, S. 13 f.) Dies kann zu hohen Einzelstückkosten führen. Darüber hinaus ist diese Fertigung von Dezentralität und der guten Ausbildung der Arbeitskräfte bezüglich Verfahren, Material und Konstruktion geprägt. Das Produktionsvolumen ist im Normalfall beschränkt und eine Skalierbarkeit kaum vorhanden. (vgl. Dombrowski und Mielke 2015, S. 8)

Die handwerkliche Arbeitsweise wird durch den Einsatz einfacher Maschinen unterstützt. Der Einzug von Maschinen in die handwerkliche Fertigung wird als **Mechanisierung** bezeichnet. Die Erfindung der Dampfmaschine förderte

die Mechanisierung (vgl. Renzsch 1980, S. 143) und verlagert das Handwerk stärker in die Fabriken (vgl. Dombrowski und Mielke 2015, S. 8). Die Mechanisierung schafft die Voraussetzung für die industrielle Massenproduktion, die maßgeblich durch Taylor und Ford geprägt ist.

Abbildung 4 zeigt als dritte Entwicklungsstufe den **Taylorismus**. Den Namen verdankt die Epoche dem Amerikaner Frederick Winslow Taylor. Er entwickelt den Ansatz der Arbeitsteilung von Adam Smith weiter und legt sein Verständnis von Arbeitsorganisation in dem Hauptwerk ‚Scientific Management‘ aus dem Jahr 1911 dar. Die Produktion im Taylorismus basiert auf dem Grundsatz, dass es nur eine richtige Arbeitsweise für jeden Handwerker gibt (vgl. Dombrowski und Mielke 2015, S. 9). Eine hohe Standardisierung, kleinteilige Arbeitsteilung sowie eine hohe Wiederholffrequenz von einfachen Handschritten sind die Folge. Durch die zusätzliche Trennung von Kopf- und Handarbeit wird der Mitarbeiter in der Produktion wie eine Maschine betrachtet (Clarke 2005, S. 76). Diese Maßnahmen sorgen bei der Verbreitung des Ansatzes oft für Unzufriedenheit unter den Handwerkern. Der Taylorismus bildete durch die Arbeitsteilung die Grundlage für die Massenfertigung (vgl. Eberhardt 1995, S. 14).

Ford setzt diesen Produktionsansatz mit seinem Modell T um und prägt die Epoche des **Fordismus**. Der Schlüssel zur Veränderung ist „die vollständige und passgenaue Austauschbarkeit der Bauteile und die Einfachheit ihres Zusammenbaus“ (Womack u. a. 1992, S. 31). Diese Idee passt hervorragend zu Taylors Ansatz. Die Austauschbarkeit der Arbeiter und Feingliederung der Arbeit sind somit gegeben. Der Wissens- und Technikvorsprung durch Ford und die Not einer erhöhten Maßgenauigkeit sorgt für eine tiefe vertikale Wertschöpfung. Erhebliche Kosteneinsparungen und eine Senkung der Durchlaufzeit resultieren daraus. (vgl. Womack u. a. 1992, S. 31 ff.) Die Umsetzung der feingliedrigen Arbeitsteilung erhöht die Wiederholffrequenz und verkürzt die Taktzeit von 514 auf 2,3 Minuten (vgl. Dombrowski und Mielke 2015, S. 12). Die beschriebenen Ideen bilden die Grundlagen für die durch Ford geprägte Komponente des Fließbandes, das dem Produktionsablauf eine klare Fixierung gibt (vgl. Dombrowski und Mielke 2015, S. 11). Das Werkstück wird mit diesem Ansatz in einen Fluss versetzt und die Zeit, die der Arbeiter zum Wechsel

an die nächste Arbeitsstation bräuchte, somit eliminiert. Der Fluss wird nicht unterbrochen und Abweichungen werden erst am Schluss beseitigt. Die Arbeitsstationen sind mit der Einführung des Fließbandes sehr eng miteinander verzahnt. Zudem ist eine gute Harmonisierung der Arbeitsinhalte pro Station notwendig. Ford gestaltet somit die industrielle Massenproduktion maßgeblich mit (vgl. VDI 2870-2 2013, S. 5). Nachteile dieses Ansatz sind beispielsweise eine geringe Flexibilität (vgl. Eberhardt 1995, S. 16) oder eine Vernachlässigung der sozial-ökologischen Belange (vgl. Kaiser 2013, S. 15). Diese Nachteile werden im Produktionsansatz von Toyota berücksichtigt. Toyota steht nach dem zweiten Weltkrieg vor einem Neuaufbau der Produktionsstätten. Arbeitskraftkapazität, Material und sonstige Ressourcen sind nur in geringen Maßen verfügbar. Dies sorgt für eine neue Betrachtungsweise bezüglich der Flexibilität und Granularität. (vgl. Dombrowski und Mielke 2015, S. 13) Das Ergebnis, das sich innerhalb vieler Jahre erst entwickeln muss, ist ein neuartiges Produktionsverständnis, das heutzutage unter dem **Toyota Produktionssystem** bekannt ist. Erst später, im Rahmen eines Forschungsprojektes des Massachusetts Institute of Technology, wird der Ansatz unter dem Namen **Lean Production** im Buch ‚The Machine that changed the World‘ von Womack, Jones und Roos (vgl. u. a. 1991, S. 67 ff.) weltweit bekannt. Eine höhere Produktivität, weniger Fehler, geringere Produktionsflächen sowie kürzere Durchlaufzeiten sind nur einige der festgestellten Effekte des Systems (Womack u. a. 1992, S. 98). Entgegen der Grundregeln der Massenproduktion wird festgestellt, dass durch Rüstzeitoptimierung auch bei kleinen Stückzahlen die Stückkosten gering bleiben. Dies beruht auf zwei Faktoren: Zum einen werden die Stückzahlen im Bestand und die damit verbundenen Kosten deutlich reduziert, zum anderen wird die Fehlervielfältigung durch direkte Rückmeldung beseitigt. (vgl. Womack u. a. 1992, S. 58) Dies führte zu kürzeren Durchlaufzeiten. Tachii Ohno, einer der treibenden Entwickler des TPS, beschreibt den Ansatz mit folgenden Worten:

“All we are doing is looking at the time line from the moment the customer gives us an order to the point when we collect the cash. And we are reducing that time line by removing the non-value-added wastes” (Ohno, 1988).

Somit rückt die Wertschöpfung aus Kundensicht in den Mittelpunkt und die Durchlaufzeit reduziert sich.

Es folgt die Übertragung des neuen japanischen Produktionsverständnisses auf die europäischen und amerikanischen Produktionszweige. Erst später werden die Wichtigkeit der Integration des Managements und die Übertragung der theoretischen Grundlagen über die Produktion hinaus auf das gesamte Unternehmen erkannt. Oft werden diese Übertragungsschritte auch als **Lean Management** und Lean Thinking bezeichnet. Womack u. a. (vgl. 1992, S. 202) beschreiben die Weiterentwicklung auf die übergeordneten Bereiche der Produktion wie Personalmanagement oder Finanzierung als Schritt hin zum vollständig schlanken Unternehmen. In Deutschland etabliert sich der Begriff **Ganzheitliches Produktionssystem**, das aus Lean Production-Elementen besteht und in der VDI 2870 (siehe Abbildung 3) beschrieben wird. (vgl. Dombrowski und Mielke 2015, S. 18 f.) Laut VDI-Richtlinie 2870 (VDI 2870-1 2012, S. 5) ist ein ganzheitliches Produktionssystem ein „unternehmensspezifisches, methodisches Regelwerk zur umfassenden und durchgängigen Gestaltung der Unternehmensprozesse“.

Die historische Betrachtung schließt an dieser Stelle mit dem Entwicklungsschritt LM / Ganzheitliches Produktionssystem ab. Das Kapitel zeigt die Hauptmerkmale der einzelnen Epochen auf und dient dem späteren Grundverständnis des Lesers. Im Laufe der Jahre nimmt der Grad der Komplexität und Vernetzung von Produktionssystemen zu. Neuere Entwicklungsschritte wie beispielsweise Industrie 4.0 und der Einfluss der New-Work-Bewegung werden in dieser Arbeit nicht näher betrachtet.

2.2.3 Kategorisierung der stationären Produktion

Aus der historischen Entwicklung heraus lassen sich verschiedene Unterscheidungsansätze der Produktionsausrichtungen ableiten. Diese Kategorisierung ist notwendig, um die Komplexität beherrschbar und greifbar zu machen. Im Folgenden wird ein Produktionssystem durch zwei unterschiedliche Beschreibungsformen definiert: Das Fertigungsprinzip teilt das Produktionssystem anhand einer räumlichen und organisatorischen Struktur ein. Die produzierte

Menge bestimmt die zweite Beschreibungsform, die Fertigungsart. (vgl. Westkämper 2006, S. 198)

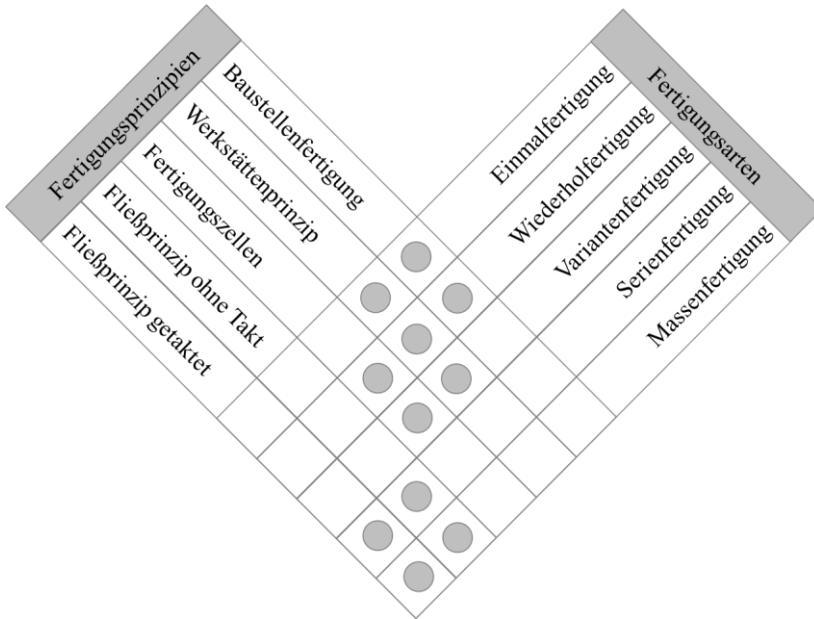


Abbildung 5: Gegenüberstellung der Fertigungsprinzipien und Fertigungsarten (vgl. Westkämper 2006, S. 199 f.)

Abbildung 5 setzt die beiden Beschreibungsformen Fertigungsart und -prinzip in Relation zueinander. Auf der rechten Seite sind die Fertigungsarten zu sehen, deren erzeugte Stückzahlen sich nach rechts erhöhen. Die linke Seite beschreibt die Fertigungsprinzipien.

Westkämper (vgl. 2006) unterscheidet das **Fertigungsprinzip** in fünf weitere Prinzipien. Zwei der fünf Prinzipien bilden die Grundlage der Betrachtung und werden in diesem Kapitel beschrieben. Auf die weiteren Prinzipien wird nicht explizit eingegangen.

Das **Fließprinzip** zeichnet sich dadurch aus, dass die Werkstücke sofort nach der Bearbeitung zur nächsten Station transportiert werden. Die Weitergabe ist

zeitlich definiert. (vgl. Grabner 2012, S. 179) In der historischen Betrachtung kommt das Fließprinzip bei der Massenfertigung von Ford erstmalig systematisch zum Einsatz. Dieses Prinzip wird in Kapitel 2.4.1 näher erläutert.

Auf der Gegenseite steht das **Baustellenprinzip**, das von einem Projektcharakter und somit einer gewissen Einmaligkeit geprägt ist. Hier steht das Produkt im Mittelpunkt. (vgl. Lödding 2016, S. 125) Oft werden mit diesem Prinzip große Werkstücke gefertigt, die räumlich fixiert sind. Die ersten Automobile wurden – vor der Zeit des Fließbandes – nach diesem Prinzip gebaut.

Als zweite Beschreibungsform unterteilt Westkämper die Produktion anhand der hergestellten Menge in fünf **Fertigungsarten**: Die **Einmalfertigung**, die individuelle Werkstücke betrachtet, sowie die Wiederholfertigung mit kleinen Stückzahlen, lassen sich der Einzelfertigung zuordnen. Hohe Vorbereitungszeiten und -kosten je Einzelstück, unregelmäßige Auslastungen und eine individuelle Auftragsproduktion kennzeichnen die Einmalfertigung. Die **Mehrfachfertigung** beinhaltet die Variantenfertigung mit mittlerer Stückzahl von gleichen oder ähnlichen Produkten. Ergänzend wird bei der Erhöhung der Stückzahl in eine **Serienfertigung** und **Massenfertigung** unterteilt. Positive Effekte sind der geringe Vorbereitungsaufwand pro Stück, der Lerneffekt und die gleichmäßigere Auslastung. (vgl. Westkämper 2006, S. 199)

Die entstehende Einteilung aus Abbildung 5 stellt die häufigsten Fälle der verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten dar. Allerdings ist jede Kombination theoretisch möglich. Bei geringen Stückzahlen kommt sehr häufig die Baustellenfertigung zum Einsatz. Dies ist in der Historie zu Beginn der Automobilproduktion mit kleinen Absatzzahlen der Fall. Die Fließfertigung wird bei hoher Stückzahl eingesetzt. Das Paradebeispiel hierfür ist die Massenproduktion. Mit dem Ansatz von Toyota gelingt es erstmalig, diese Grenzen aufzuheben und die Vorteile einer Fließfertigung bei geringeren Stückzahlen zu nutzen.

2.3 Bauproduktionssysteme

2.3.1 Besonderheiten der Bauproduktion

In diesem Unterkapitel stehen Bauproduktionssysteme im Vordergrund. Zunächst werden die Besonderheiten der Bauproduktion betrachtet.

Bauwerke sind ortsgebunden und werden im Regelfall am späteren Aufstellungsort erstellt. (vgl. Nezval 1960, S. 31) Alle Ressourcen müssen zur Baustelle transportiert werden. Somit ist die Bauproduktion dem Fertigungsprinzip **Baustellenfertigung** zuzuordnen (vgl. Möller und Kalusche 2010, S. 25). Als Folge entstehen wandernde Fabriken: die Baustelleneinrichtung wird bei jedem Projekt neu erstellt. Mit dem Umzug gehen geänderte Rahmen- und Produktionsbedingungen einher. (vgl. Nezval 1960, S. 31) Wechselnde Produktionsstätten und Witterungsabhängigkeit wirken sich negativ auf die Stabilität der Prozesse aus. Zeitlich und regional begrenzte Anforderungen an das Material und die Bauausführung sorgen für eine hohe Individualisierung und Varianz in den Ausführungsmöglichkeiten. (vgl. Krauß 2005, S. 24) So wird in Norddeutschland beispielsweise die Fassade vermehrt mit Klinkersteinen und kleinem Mauerwerksstein ausgeführt. In Süddeutschland kommen sehr häufig großformatige und massive Steine in Kombination mit einem Wärmedämmverbundsystem zum Einsatz. Ausnahmen der Baustellenfertigung bilden hierbei der Fertighausbau und die Vorfertigung bzw. der Modulbau. Diese Sonderarten der Fertigung sind für die folgende Arbeit nicht relevant, da sie außerhalb des Betrachtungsrahmens liegen.

Bauwerke sind individuell (vgl. Fiedler 2018, S. VI) und jedes Bauwerk hat seine Besonderheiten. Trotz teilweise vorhandener Serientypen oder gleich bleibender Bauweise, so beispielsweise bei Reihenhäusern, muss jedes Bauprojekt einzeln an seine Umgebung angepasst werden (vgl. Nezval 1960, S. 31). Berner et al. (vgl. 2013b, S. 57) bestätigen, dass die Bauabwicklung von einer Einzelfertigung auf Bestellung und einer damit einhergehenden Projektabwicklung geprägt ist. Eine Überprüfung der Baustellenabwicklung mit den Projektkriterien der DIN 69 901:2009-01 durch Berner et al. (vgl. 2013a, S. 19) bestätigt die Einteilung in diese Projektkategorie. Somit ist die

Bauproduktion der Fertigungsart **Einmalfertigung** (siehe Kapitel 2.2.3) zuzuordnen. Die Einmalfertigung sorgt für eine individuelle und somit einmalige Planung jedes Bauvorhabens. Der Parallelablauf der Planung (baubegleitende Planung), der Vorbereitung / Planung und der Ausführung soll strategisch eine schnellere Abwicklung bewirken. Hieraus entstehen in der Praxis diverse Problemstellungen: Zu nennen sind eine kurze Planvorlaufzeit, eine hohe Störungsanfälligkeit, die Abhängigkeit der einzelnen Prozessschritte und die daraus bedingt hohe Schnittstellenanzahl. (vgl. Berner u. a. 2013b, S. 56) Baustellen werden zu früh begonnen, sodass die Planung zu diesem Zeitpunkt noch nicht fertig ist und demnach Wartezeiten entstehen (vgl. Grote 1996, S. 20). Weitere Folgen der Einmalfertigung sind oft hohe Aufwände wegen des Unikatcharakters, hohe Kostenrisiken, einfacher Fehleranfälligkeit, geringe Vorfertigungsgrade, starke Schwankungen der Nachfrage und kaum entstehende Prozessstabilitäten. (vgl. Berner u. a. 2013b, S. 56 f.) Eine effiziente Lagerproduktion zum Ausgleich der Schwankungen und besseren Auslastungen wie in der stationären Produktion ist unter diesen Voraussetzungen kaum möglich. (vgl. Kaiser 2013, S. 41)

Bauwerke sind oft komplex und der Erstellungsprozess enthält **viele Schnittstellen**. Die Lieferkette der Materialbereitstellung kann ein großes Netzwerk mit vielen Abhängigkeiten bilden. (vgl. Nezval 1960, S. 31 f.) Das Bauwesen ist historisch von einer starken Spezialisierung und Einteilung in Gewerke geprägt. Die Schnittstellenkoordination der einzelnen Gewerke spielt eine zentrale Rolle und wird häufig von einem gesonderten Unternehmen beispielsweise in Form eines Generalunternehmers ausgeführt. In der Ausführung wird diese Aufgabe auf Seiten des Generalunternehmers von der Funktion der Bau- und Projektleitung übernommen. Sie ist maßgeblich für die **Baustellensteuerung** und somit für den Projekterfolg verantwortlich. (vgl. Binninger u. a. 2017b, S. 1) Eine zusätzliche Trennung von Ausführung und Planung wird durch die rechtlichen Rahmenbedingungen befördert. Dies sorgt für eine weitere Schnittstelle und in der Praxis häufig zu einer Synchronplanung, die die Bauausführung schrittweise klärt und die Anforderungen an das Bauwerk bestimmt. (vgl. Kochendörfer u. a. 2010, S. 67) Hinzu kommt nach Grote (vgl. 1996, S. 21), dass die Qualität der Bauplanung heute auf einem sehr niedrigen Stand ist. Architekten zeichnen oft grobe Details, die die

Handwerksunternehmen umsetzen müssen. Somit liegt die Verantwortung bei Handwerksunternehmen, die häufig nicht dafür qualifiziert sind. Die entstehenden Schnittstellen sorgen für Probleme im Informationsfluss. Diesem Phänomen kann nur mit einem erhöhten Koordinationsaufwand bezüglich Termineinhaltung und Kostensteuerung begegnet werden. (vgl. Berner u. a. 2013b, S. 56) Qualitäts- und prozesstechnische Aspekte rücken automatisch in den Hintergrund, da der Fokus auf die Kosten und den Endtermin gerichtet ist. Infolgedessen können in der Praxis Störungen im Ablauf entstehen.

Ein Bauvorhaben ist von hohen Baukosten geprägt, die häufig durch zu hohe Lohnkosten verursacht werden. (vgl. Grote 1996, S. 16) Eine hohe Aufmerksamkeit wird daher der Angebotskalkulation gewidmet; je nach Marktsituation können die kalkulierten Gewinnspannen sehr gering ausfallen. Es herrscht eine starke Abhängigkeit des Preises vom Markt (vgl. Bauwirtschaft 2019; Grote 1996, S. 9 f.). Die ausführenden Unternehmen bewegen sich zudem in einem Nachfragemarkt⁶ und reagieren erst nach Anfrage des Kunden. Somit obliegt dem Kunden ein hoher Einfluss auf den Prozess (vgl. Kaiser 2013, S. 41). Durch die Trennung von Planung und Ausführung werden die ausführenden Generalunternehmer oder die Handwerksunternehmen bei den häufigsten Vertragsmodellen erst kurz vor Ausführungsbeginn angefragt. Zu diesem Zeitpunkt ist die Planung bereits weit fortgeschritten. Die ausführenden Unternehmen verfügen daher nur über einen begrenzten Einfluss auf die Produktgestaltung und -planung. Eine reine Ausführungsdienstleistung geprägt von einem hohen **Preiswettbewerb** ist somit die Folge. Hinzu kommt die **Paulschalpreis**vergabe zu einem sehr frühen Zeitpunkt (vgl. Berner u. a. 2013b, S. 57). Hierdurch soll das Risiko vom Bauherrn zum Generalunternehmer und von diesem weiter zum Nachunternehmer verlagert werden. Als Folge herrscht ein starkes Kostendenken. Ziel ist das Einsparen von Geld, das direkt spürbar und ersichtlich ist. Dabei können kleine Einsparungen an der falschen Stelle große Potenziale in der Produktivitätssteigerung verhindern. Ein Umschalten vom Kostenmanagement auf ein Produktivitätsmanagement ist erforderlich. (vgl. Grote 1996, S. 19 f.) Kennzahlen zur Produktivität auf den

⁶ Nachfragemarkt: Nachfrage größer als das Angebot innerhalb eines Marktes

Baustellen sind allerdings kaum publiziert.

Als Basisvertragsmodell wird im Bauwesen sehr häufig ein **Werkvertrag** gemäß § 631 ff. BGB. (vgl. Gossow 2013, S. 74) gewählt. Es sei denn, die Vergabe und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB) ist explizit vereinbart. Die VOB ist ein speziell angepasstes Regelwerk für die Baubranche, mit dem Charakter allgemeiner Geschäftsbedingungen. Im Teil B der VOB wird die Ausführung der Bauleistung beschrieben. §1 (3) beschreibt das Recht des Auftraggebers zur Änderung des Bauentwurfs (vgl. Ingenstau u. a. 2017, S. 981). Änderung während der Ausführung (vgl. Berner u. a. 2013b, S. 57) können negative Auswirkungen auf die Stabilität der Prozesse haben.

Wird die Baubranche mit anderen Industrien verglichen, so ist die tatsächliche Arbeit auf der Baustelle auch heutzutage von starker körperlicher Belastung geprägt. Darüber hinaus befindet sich das Bauvorhaben im Freien und die Arbeiter sind äußeren Umwelteinflüssen ausgesetzt. (vgl. Nezval 1960, S. 31) Hinzu kommt eine erhöhte Stressbelastung; bedingt durch Ad-hoc-Entscheidungen ist kurzfristiges Reaktionsvermögen wesentlich, um mit Störungen umzugehen. Dies sind nur einige Gründe für den Ressourcenmangel an ausgebildeten Fachkräften (vgl. Berner u. a. 2013b, S. 57). Dadurch entsteht die **Ressourcenfokussierung**, die von Modig und Åhlström (vgl. 2015, S. 24) als **Ressourceneffizienz** bezeichnet wird. Durch eine bestmögliche Ausnutzung der Ressourcen, hier im Speziellen die Arbeitskräfte des Nachunternehmers (NU), wird das Ziel verfolgt die Produktions- oder Einkaufskosten gering zu halten. Die Ressourcenfokussierung während der Planung und Steuerung wird von den NU grundsätzlich befürwortet, da sich hieraus aus ihrer Sicht nur Vorteile ergeben. In der Praxis wird den einzelnen Nachunternehmern eine gewisse Freiheit durch größere Zeitfenster in der Terminplanung geboten, um ihre Kapazitäten bestmöglich auszulasten. Die großen Zeitfenster werden in der Praxis als Selbstverständlichkeit hingenommen und verlieren somit ihre ursprünglich angedachte Funktion des Ausgleichs im Bedarfsfall. Dadurch kommt es zu Störungen und einer Neuorganisation des Bauablaufes trotz eingeplanter Zeitpuffer. Extreme Schwankungen im Arbeitsfluss des Nachunternehmers resultieren daraus (vgl. Bashford Howard H. u. a. 2003, S. 331). Modig und Åhlström (vgl. 2015, S. 127 f.) beschreiben dies am Beispiel eines Badsanierung: Bei einer Badsanierung sind viele

Handwerksunternehmen involviert, die durch zahlreiche Schnittstellen voneinander abhängig sind. Da im Normalfall auf Grund der Badezimmergröße nur ein Unternehmen gleichzeitig auf der Baustelle ist, ergibt sich eine lange Prozesskette. Bei einer Störung können Aufschaukelungseffekte und lange Durchlaufzeiten entstehen. Diese Abwicklungsform widerspricht in vielen Fällen einer hohen Kundenzufriedenheit bezogen auf die Flexibilität in der Entscheidungsfindung und die Durchlauf- oder Fertigstellungszeit (vgl. Wernicke u. a. 2017, S. 861).

Die Bauproduktion unterscheidet sich in vielen Aspekten von der stationären Produktion. Dennoch haben beide Industriezweige eine Gemeinsamkeit: die Transformation von Materialien hin zu einem Produkt, das dem Kunden übergeben wird. Die Automobilindustrie kann für einen Vergleich herangezogen werden: Mechanische Arbeit, hoher Kundeneinfluss und die Einmalfertigung der Bauproduktion sind vergleichbar mit den Wurzeln der Automobilindustrie. Die stationäre Industrie hat im Laufe der Entwicklung versucht den Transformationsprozess innerhalb der Produktion als „Black-Box“ zu betrachten und vor äußeren Einflüssen zu schützen. Die geschützte Atmosphäre ist die Grundvoraussetzung für eine stabile Produktion. Im Bauwesen herrscht grundsätzlich ein unterschiedliches Verständnis. Die Bauproduktion ist durch äußere und innere Einflüsse sowie wechselnde Bedingungen verstärkt direkt gefordert. Schwankungen sind die Folge und es kann durch Aufschaukeleffekte zu schwierigen Projektsituationen kommen. Ein einzelnes Bauprojekt versucht, diese Einflüsse oft durch erhöhten Aufwand und flexible Steuerung auszugleichen.

2.3.2 Der schlüsselfertige Innenausbau

Wie bereits erwähnt, fokussiert die Arbeit ein Bauproduktionssystem im schlüsselfertigen Innenausbau. Daher wird in diesem Kapitel die Begriffskombination erläutert. Der Schlüsselfertigbau ist kein einheitlich definierter Begriff (vgl. Krause und Ulke 2016, S. 1504). Die Wortkomposition schlüsselfertiger Innenausbau wird in dieser Arbeit vielmehr als Synonym für bestimmte Baustellentypen verwendet und schränkt die Betrachtung zunächst ein. Die Begrifflichkeit muss deshalb für diese Arbeit definiert und abgegrenzt werden.

Schlüsselfertig steht in diesem Zusammenhang für eine komplette und funktionsfähige Bauleistung. (vgl. Krause und Ulke 2016, S. 1504; Rohr-Suchalla 2008, S. 39) Somit kann das Bauwerk direkt dem Kunden und dessen weiteren Gebrauch übergeben werden. Unter Ausbau werden alle Leistungen innerhalb eines Gebäudes verstanden. Der Innenausbau grenzt sich im Hochbau vom Rohbau und der Hülle ab (vgl. Wilhelm und Sturm 2012, S. 289).

2.3.3 Die Entwicklung zu Lean Construction

Kapitel 2.3.1 zeigt auf, dass die Bauproduktion aktuell noch stark vom Handwerk geprägt ist. Eine ähnlich rasante Entwicklung der Bauproduktion nach dem Vorbild der Stufen der stationären Produktion hat bisher nicht stattgefunden. Grundgedanken der einzelnen Stufen wurden vereinzelt übertragen. Der Schritt von der Einzel- zur Massenfertigung hat sich bisher nicht durchgängig etabliert. Einzelfälle wie die Blockbauweise in der ehemaligen Sowjetunion sind ausgenommen. Auch der Gedanke der Industrialisierung hat mit dem Ansatz der Vorfertigung und Fertighausbauweise vereinzelt Einzug erhalten. Die Branche verfügt über Potenzial, einige industrielle Entwicklungsstufen zu überspringen und die Vorteile der heutigen Innovationen direkt zu nutzen.

Beispielsweise kann die Übertragung des Lean Management-Ansatzes auf das Bauwesen, auch als Lean Construction bekannt, angeführt werden (vgl. GLCI 2018, S. 1; vgl. Haghsheno u. a. 2015, S. 141). Die Übertragung erfolgt erstmalig durch Koskela (Koskela 1992) in dem Bericht ‚Application of the New Production Philosophy to Construction‘ aus dem Jahr 1992. 1993 gründet sich ein internationales Netzwerk aus Wissenschaftlern zum Themenkomplex Lean Construction, das unter dem Namen International Group for Lean Construction (IGLC) bekannt ist (IGLC 2018). 1997 wird das Lean Construction Institute (LCI) durch Greg Howell und Glenn Ballard in den USA gegründet. Aus dieser Bewegung geht die bekannteste Lean Construction Methode – das Last Planner® System – hervor. (LCI 2018) Weitere Initiativen in verschiedenen Ländern starten im Laufe der Jahre. Mit dem German Lean Construction Institute e. V. (GLCI) wird im Jahr 2014 der deutschen Lean-Community ein organisierter Rahmen gegeben. Die steigende Teilnehmerzahl auf der jährlich stattfindenden Konferenz zeigt das wachsende Interesse an diesem Themengebiet.

Eine 2016 gegründete Arbeitsgruppe ‚Lean Construction - Begriffe und Methoden‘ erarbeitete eine Veröffentlichung zur Verbreitung der aktuellen Lean Construction Grundlagen, die 2018 veröffentlicht wurde. (GLCI 2018) Der VDI hat mit dem Entwurf der Richtlinie 2553 bereits im Dezember 2017 die Basis für einheitliche Begrifflichkeiten geschaffen. (VDI 2553 2017)

Die Erhöhung der Wertschöpfung aus Kundensicht als Grundidee der Lean Philosophie sowie die Prinzipien des Ansatzes können größtenteils direkt auf das Bauwesen übertragen werden. Werkzeuge und Methoden müssen ggf. vorab auf die Besonderheiten der Bauproduktion angepasst werden.

Haghsheno et al. (vgl. 2015, S. 141 f.) teilen die Übertragungsversuche in Theorie und Praxis im deutschsprachigen Raum in die drei Strömungen ‚kooperative Arbeitsplanung‘, ‚Gestaltung und Steuerung von Produktions-systemen‘ sowie ‚integrierte Form der Projektabwicklung‘ ein. Hervorzuheben ist die Strömung ‚Gestaltung und Steuerung von Produktionssystemen‘, in welche die vorliegende Arbeit eingliedert werden kann. Hier sind die Grundprinzipien Takt, Fluss, Pull und Null-Fehler zu erwähnen. Die beiden erstgenannten Prinzipien spielen für die weitere Arbeit eine entscheidende Rolle und werden in Kapitel 2.4 auf die Bauproduktion übertragen.

2.3.4 Bauablaufplanung und deren Darstellungsformen

Wie bereits im vorherigen Unterkapitel erwähnt, können Bauprozesse aufgrund ihrer vielen Schnittstellen sehr komplex sein (vgl. Racky 2009, S. 5). Die Erstellung eines Bauwerks muss deshalb sorgfältig geplant werden. Bauprozesse werden in Form einer Ablaufplanung beschrieben. Kommt zu der Vorgangreihenfolge die Komponente Zeit in Form von Kalenderdaten hinzu, ergibt sich der Terminplan. Um den Ablauf jedoch in vollem Umfang zu beschreiben, sind neben dem Terminplan weitere Werkzeuge wie beispielsweise der Baustelleneinrichtungs-, Ressourcen- oder ein Mittelabflussplan notwendig. (vgl. Berner u. a. 2013a, S. 37 f.) Diese erweiterte Baustellenplanung kann mit der Produktionsplanung eines ganzheitlichen Produktionssystems aus Kapitel 2.2.2 gleichgestellt werden. Um die Komplexität umfänglich zu beherrschen, werden verschiedene Planungsmethoden, -ebenen und

Darstellungsformen für den Ablauf von Bauprojekten unterschieden. (vgl. Berner u. a. 2013a, S. 38) In diesem Kapitel wird die Bauablaufplanung als wichtiger Bestandteil der Produktionsplanung näher definiert und die am häufigsten in der Praxis angewendeten Darstellungsformen werden vorgestellt.

Die Ablaufplanung und Terminplanerstellung wird von Berner et al. (vgl. 2013a, S. 41) als ein hochgradig dynamischer Prozess beschrieben. Die Planung der Baustelle ist von vielen Entscheidungen abhängig. Es handelt sich somit um ein Entscheidungsproblem zwischen mehreren Alternativen. Können die Alternativen bewertet werden, so werden mathematisch-algorithmische **Methoden** zur Findung einer eindeutigen Lösung genutzt. Die alternative Vorgehensweise ist die heuristische Methode, aus der keine eindeutige Lösung hervorgeht. (vgl. Berner u. a. 2013a, S. 40) Auf diese Methoden wird in diesem Kapitel nicht explizit eingegangen.

Viele Vorgänge und die lange Projektlaufzeit können einen Ablaufplan sehr kompliziert und unübersichtlich werden lassen. Verschiedene Ebenen der Darstellung sollen dies verhindern. Aus Sicht des Auszuführenden werden folgende drei **Ebenen** unterschieden: Der Grob-, Koordinations- und Feinterminplan. Detaillierungsgrad und Genauigkeit nehmen vom Grob- zum Feinterminplan zu. Ein Grobterminplan beschreibt beispielsweise Bauabschnitte, der Koordinationsplan Bauwerksteile und der Feinterminplan einzelne Arbeitsvorgänge. (vgl. Berner u. a. 2013a, S. 38 f.) Die drei Ebenen werden in Kapitel 3.2.4 erneut aufgegriffen.

Eine weitere Kategorisierung ist die **Darstellungsform**. Hierbei wird in die vier Hauptformen Terminliste, Balkenplan (Gantt-Chart), Liniendiagramm oder Netzplan unterschieden. (vgl. Berner u. a. 2013a, S. 41) Darüber hinaus existieren weitere Unterformen. Die Wahl der einzelnen Darstellungsform ist vom Projekttyp und dem Betrachtungshorizont abhängig. (vgl. Kochendörfer u. a. 2010, S. 99) An dieser Stelle wird auf die beiden Varianten Balkenplan und Liniendiagramm eingegangen, da diese beiden Darstellungsformen für diese Arbeit bedeutend sind.

Der **Balkenplan** mit seinen Unterformen stellt die am stärksten verbreitete Darstellungsform dar. (vgl. Greiner u. a. 2002, S. 134) Die Vorgänge werden untereinander auf der vertikalen Achse angeordnet. Auf der Abszisse ist die Zeit abgebildet. Die Vorgänge sind in Form eines Balkens mit einem definierten Anfangs- und Endzeitpunkt dargestellt und füllen den vierten Quadranten eines Kartesischen Koordinatensystems. (vgl. Berner u. a. 2013a, S. 44 ff; vgl. Felkai und Beiderwieden 2015, S. 233; vgl. Greiner u. a. 2002, S. 134) Jede Zeile des Diagramms wird einem Vorgang zugeordnet. Abbildung 6 zeigt ein Beispiel eines Balkenplans mit sechs Vorgängen und einer monatlich eingeteilten Zeitachse. Die Verbindungspfeile der einzelnen Vorgangsbalken stellen die Abhängigkeiten dar. Der linke Teil des Diagramms kann durch weitere Spalten für Zusatzinformationen wie Ressourcen ergänzt werden (vgl. Berner u. a. 2013a, S. 47). Somit ist der Balkenplan eng mit der Terminliste verbunden (vgl. Kochendörfer u. a. 2010, S. 100).

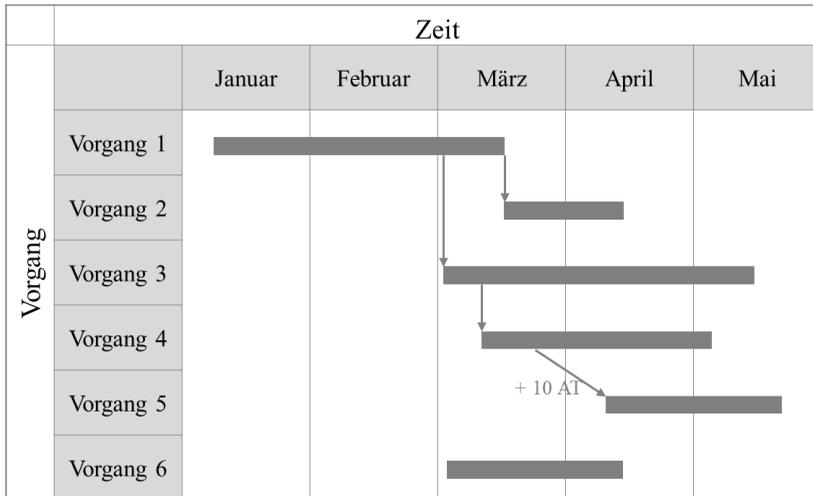


Abbildung 6: Darstellungsform Balkenplan / Gantt-Chart mit Verknüpfung (vgl. Felkai und Beiderwieden 2015, S. 234)

Der Balkenplan wird nach dessen Entwickler Henry L. Gantt (1861 – 1919) als Gantt-Chart bezeichnet. Es gibt hier eine enge Verbindung zur Massenproduktion von Ford und dem Taylorismus. Diese Darstellungsform wurde von

1910 bis 1915 entwickelt und in Gantts Hauptwerk ‚The Gantt Chart, a Working Tool of Management‘ (1922) veröffentlicht. (vgl. Rosing u. a. 2014, S. 13) Die Weiterentwicklung des Gantt-Charts um die Komponente der Vorgangsverknüpfung wird als Plannet-Technik (vgl. Wiczorrek und Mertens 2008, S. 133 f.) oder verknüpfter bzw. vernetzter Balkenplan (vgl. Berner u. a. 2013a, S. 47) bezeichnet. Ein Nachteil des Gantt-Charts ist, dass diese Darstellung bei entsprechender Detaillierungstiefe mit vielen Aktivitäten und Abhängigkeiten unübersichtlich werden kann und die Terminplanung in weiteren Projekten nicht eingesetzt werden kann. (vgl. Berner u. a. 2013a, S. 46 f; vgl. Greiner u. a. 2002, S. 134) Der Vorteil dieser Darstellungsform liegt in der grafischen Aufbereitung der Daten. Um den Status der Abarbeitung zu sehen, wird lediglich an einem definierten Tag eine vertikale Linie gezogen. Der Nutzer sieht sofort, welche Vorgänge bereits beendet sein sollen, welche gerade vorstattgehen und welche noch nicht begonnen haben. (vgl. Berner u. a. 2013a, S. 45 f.) Die räumliche Verortung ist in diesem Diagramm nicht direkt zu erkennen. Eine Hilfslösung schaffen Übersichts- oder Summenbalken im Diagramm oder eine zusätzliche Spalte mit Ortsangaben auf der linken Seite.

Das **Liniendiagramm** ist eine weitere Grundform und wird häufig bei Bauvorhaben mit einer ausgeprägten Hauptfertigungsrichtung wie Tunnel-, Straßen- oder Schienenbaustellen eingesetzt (vgl. Kochendörfer u. a. 2010, S. 103). Diese Darstellungsform wird deshalb auch oft als Ort-Zeit-Diagramm bezeichnet. Abbildung 7 zeigt ein Liniendiagramm dieser Art. Weitere Ausprägungen dieser Grundform sind das Weg-Zeit-Diagramm, Zeit-Weg-Diagramm, Mengen-Zeit-Diagramm, Volumen-Zeit-Diagramm, Geschwindigkeits-Diagramm oder das Zyklogramm (vgl. Berner u. a. 2013a, S. 47 ff.). Schub (1970, S. 2 f.) nennt diese Form des Diagramms Geschwindigkeitsdiagramm, da der Produktionsfortschritt über das Verhältnis Weg/Zeit und somit den Winkel der Linien berechnet werden kann.

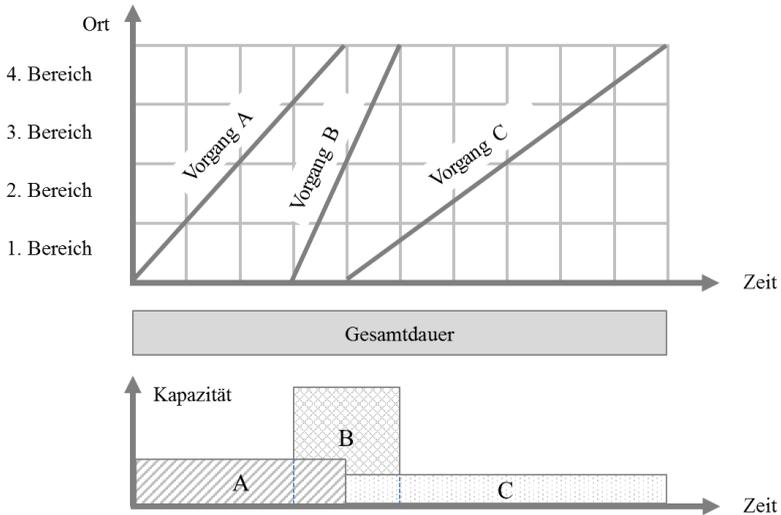


Abbildung 7: Darstellungsform Liniendiagramm als Ort-Zeit-Diagramm
(Kochendörfer u. a. 2010, S. 106)

Eine Sonderform des Liniendiagramms stellt der Taktplan dar. Berner et al. definieren den Taktplan mit folgenden Eigenschaften: „Wenn die Abläufe sich regelmäßig wiederholen und in festen zeitlichen Abständen beginnen,...“ (Berner u. a. 2013a, S. 4), wird von einem Taktplan gesprochen. Dieser Ansatz wird in Kapitel 3.5 dieser Arbeit aufgenommen.

Tabelle 1: Erweitertes Eignungsdiagramm und Einteilung der Bauablaufplanung inkl. Vor- und Nachteile der Darstellungsform (vgl. Berner u. a. 2013a, S. 41)

Methoden Darstellungsform	Heuristische Methoden			Mathematisch- algorithmische Methoden
	Terminliste	Balkenplan	Liniendiagramm	Netzplan
Grob- terminplan	möglich in Verträgen und Bauaufeln	gut geeignet	für Baustellen mit ausgeprägter Haupt- baurichtung gut geeignet	selten/weniger geeignet
Koordination- terminplan	für spezielle Aufgaben gut bis sehr gut geeignet	zur Visualisierung sehr gut geeignet	für Baustellen mit ausgeprägter Haupt- baurichtung sehr gut geeignet	zur Berechnung sehr gut geeignet
Fein- terminplan	möglich, teilweise gut geeignet	gut geeignet	selten	selten
Vorteil	<ul style="list-style-type: none"> •Übersichtlichkeit^a •leichte Anwendbarkeit^a •leichtes Verständnis^a 	<ul style="list-style-type: none"> •Übersichtlichkeit^{1,2} •leichte Anwendbarkeit¹ •leichtes Verständnis^{1,2} •gut für Kontrolle² •bekannt u. akzeptiert² •schnell skizziert² 	<ul style="list-style-type: none"> •Übersichtlichkeit¹ •leichte Anwendbarkeit¹ •leichtes Verständnis¹ •Verortung vorhanden 	<ul style="list-style-type: none"> •zeitl. Abhängigkeit gut ersichtlich^a •mathematisch nachvollziehbar
Nachteil	<ul style="list-style-type: none"> •Abhängigkeit fehlt^a •Schnelle Erstellung •Ort nur bedingt vorhanden •nicht berechnet 	<ul style="list-style-type: none"> •Abhängigkeit fehlt teilweise^{a,b} •Ort nur bedingt vorhanden •kritischer Pfad nur teilw. erkennbar^{a,b} •nicht berechnet 	<ul style="list-style-type: none"> •Abhängigkeit fehlt teilweise^a •kann kompliziert werden •nicht berechnet 	<ul style="list-style-type: none"> •räuml. Abhängigkeit fehlt^a •hohe Komplexität kaum darstellbar^a •abstrakt und kompliziert^b •hoher Kontroll- und Aktualisierungsaufwand^b •nicht durchgängig akzeptiert – schwer verständlich^b

^a(Berner u. a. 2013a, S. 111 f.)

^b(Felkai und Beiderwieden 2015, S. 243)

Tabelle 1 fasst die Beziehungen zwischen Darstellungsform, Methode und Projektebene zusammen. Die einzelnen Spalten bilden die verschiedenen Darstellungsformen ab und sind den Methoden zugeordnet. Diese Einteilung ist nicht als vollständig anzusehen, sondern bildet Regelfälle ab. So wird beispielsweise eine Terminliste häufig mit einer heuristischen Methode erstellt. Hingegen können die Inhalte eines Liniendiagramms auch mit einer mathematisch-algorithmischen Methode gebildet werden. In den Zeilen sind im oberen Teil die drei beschriebenen Ebenen abgebildet.

Die Matrixinhalte oberhalb der dicken grauen Trennlinie stellen die Praxiseignung der einzelnen Darstellungsformen bezogen auf die Ebenen dar und sind ergänzt durch Erfahrungen des Verfassers. Der Teil unterhalb der Trennlinie zeigt die Vor- und Nachteile der einzelnen Darstellungsformen.

2.3.5 Rolle des GUs in der Bauproduktion

Die Komplexität sowie die hohe Anzahl an Schnittstellen und Gewerken im Bauablauf behandelt Kapitel 2.3.1. Kapitel 2.3.4 beantwortet die Frage, wie mit dieser Komplexität technisch und methodisch umgegangen werden kann und welche Darstellungsform dienlich ist. Das folgende Kapitel widmet sich dem organisatorischen Umgang mit der beschriebenen Ausgangssituation hinsichtlich einer hohen Schnittstellenanzahl. Hierzu wird im Bauwesen zwischen verschiedenen Vergabe- und Unternehmereinsatzformen unterschieden. Das Pendant zur Einzelvergabe ist die Generalunternehmervergabe. Unter dem Schlagwort Generalunternehmer verbergen sich in der Baupraxis diverse Varianten; es existiert keine durchgängige Definition des Begriffs. Für die folgende Arbeit wird die Definition nach Racky (1997) gewählt, der den GU in vier verschiedene Formen gliedert:

Der Generalunternehmer-Ausführung (GU-A) bekommt vom Auftraggeber die vollständige Ausführungsplanung übergeben und verantwortet die schlüsselfertige Erstellung des Gebäudes. (vgl. Racky 1997, S. 10 f.)

Gehört zusätzlich die Ausführungsplanung zum Leistungspaket des Generalunternehmers, spricht Racky von einem Generalunternehmer-Ausführungsplanung, Ausführung (GU-A,A). Der Auftraggeber übergibt dem GU-A,A lediglich eine Entwurfsplanung. Diese Form wird am häufigsten eingesetzt. Der GU hat infolgedessen die Chance kleinere Optimierungen im Rahmen der Ausführungsplanung frühzeitig vorzunehmen. (vgl. Racky 1997, S. 11 f.)

Die dritte Form bildet der Generalunternehmer-Entwurfsplanung, Ausführung (GU-E,A). Bei dieser Form bekommt der GU vom Auftraggeber ein Konzept übergeben und erstellt auf dieser Basis eine Entwurfs- und

Genehmigungsplanung. Somit erhält der GU einen erhöhten Einfluss auf die Planungsphase. (vgl. Racky 1997, S. 12)

Ein GU erbringt eigene Teilleistungen wie beispielsweise den Rohbau. Werden alle Teilleistungen vergeben, wird von einem Generalübernehmer (GÜ) gesprochen. Die drei Varianten des GU lassen sich auch auf den GÜ übertragen. (vgl. Willwerth 2008, S. 53 ff.)

Wird vom Auftraggeber neben der Ausführung die vollständige Planung des Bauvorhabens übernommen, so ist von einem Totalunternehmer (TU) die Rede. Auch hier wird analog zum GU/GÜ zwischen einem TU und einem Totalübernehmer (TÜ) unterschieden. (vgl. Willwerth 2008, S. 54) Der Architekt entfällt in beiden Konstellationen als direkter Kontakt; der Bauherr hat nur einen Ansprechpartner. (vgl. Racky 1997, S. 12)

Aus Sicht des Bauherrn haben die erwähnten Einsatzformen den Vorteil, dass sich Schnittstellen und Ansprechpartner im Vergleich zur Einzelvergabe reduzieren. Diese verschiedenen Abwicklungsformen mit einem GU oder TU werden häufig gewählt, weil der Bauherr sich durch den singulären Ansprechpartner eine weitere Baukompetenz als Unterstützung ins Projekt holt. Aus globaler Sicht auf das Bauvorhaben erhöht sich die Schnittstellenanzahl durch die Erweiterung der Hierarchiestufen. Aus Sicht der direkt wertschöpfenden Ebene – der Nachunternehmer – ändert sich im Wesentlichen der Ansprechpartner.

2.4 Fluss und Takt im (Bau-)Produktionssystem

2.4.1 Fluss in der stationären Produktion

Als wichtige Grundlage für diese Arbeit geht dieses Kapitel näher auf das Produktionsprinzip Fluss ein. Zunächst wird das Grundprinzip anhand der stationären Produktion beschrieben, bevor anschließend eine Übertragung auf das Bauproduktionssystem erfolgt.

In der Entwicklung der Produktionssysteme spielen das Fließband und somit auch der Fluss als Produktionsprinzip ab dem Zeitalter der industriellen

Massenproduktion eine zentrale Rolle. Ford erkennt das Potenzial des Flusses (vgl. Womack und Jones 2003, S. 22) und setzt das Werkstück mit Hilfe eines Fließbandes in Bewegung. Da das TPS in den Grundlagen auf der Massenproduktion basiert, ist der Fluss ebenfalls ein primäres Gestaltungsprinzip. Auch Womack und Jones (2003) beschreiben den Fluss als eines von fünf Prinzipien des Lean Managements. Abbildung 8 stellt die Anordnung der fünf Prinzipien dar. Zunächst wird der Wert aus Kundensicht identifiziert, bevor der Wertstrom definiert und die nicht wertschöpfenden Tätigkeiten beseitigt werden. Unter nicht wertschöpfenden Tätigkeiten, vielfach auch als Verschwendung (Muda) bezeichnet, werden Arbeitsprozesse verstanden, die dem Kunden keinen direkten Mehrwert bringen. Diese lassen sich wiederum in notwendige (Muda Typ 1) und nicht notwendige Tätigkeiten (Muda Typ 2) einteilen. (vgl. Womack und Jones 2003, S. 20) Der Wertstrom wird nach den Prinzipien Fluss und Pull organisiert; das Streben nach Perfektion verbessert den Prozess kontinuierlich.

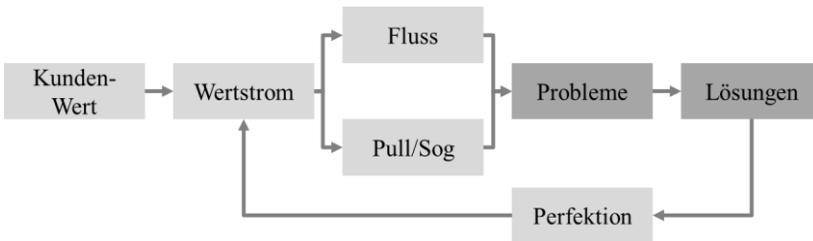


Abbildung 8: Prinzipien des Lean Thinking(vgl. Haghsheno u. a. 2015, S. 141; Womack und Jones 2003)

Ziel des Flussprinzips ist es alle notwendigen Tätigkeiten zur Erzeugung eines Produktes in einen stetigen und kontinuierlichen Ablauf – ohne Warteschlangen, Unterbrechungen und verschwendungsbehafteter Arbeit – zu bringen. (vgl. Womack und Jones 2003, S. 52) In der stationären Produktion befindet sich das Produkt, beispielsweise ein Auto, durch ein geführtes Fließband in einem kontinuierlichen Fluss. Handelt es sich um eine Produktion mit kurzen Bearbeitungszeiten und kleinen Werkstücken, werden in der Praxis oft handhabbare Stapel gebildet, die als Losgröße bezeichnet werden (vgl. Ulfers 2004, S. 42 f.). Die Wertschöpfung wird in ortsgebundenen Arbeitsstationen

organisiert, in denen in einer bestimmten Zeit das Produkt bearbeitet wird. In diesem Fall wird die Dauer, die der Kunde von der Bestellung bis zur Fertigstellung des Produktes warten muss, als Durchlaufzeit bezeichnet. Diese Kenngröße ist allerdings abhängig von Systemgrenzen und nach Bedarf definierbar (vgl. Modig und Åhlström 2015, S. 25). Um keinen Leerlauf an den Stationen zu generieren, müssen die Bearbeitungszeiten aufeinander abgestimmt sein. Wird dieses System mit geringen Zwischenpuffern gesteuert, so sind die Stationen eng miteinander verzahnt und voneinander abhängig. Daraus resultieren kurze Durchlaufzeiten aus Sicht des Produkts und sehr geringe Bestände sind notwendig. (Lödding 2016, S. 124) Wichtige Voraussetzung für einen reibungsfreien Fluss sind somit die gleichmäßig verteilte Arbeitsbelastung der einzelnen Arbeitsstationen (vgl. Womack und Jones 2003, S. 58) sowie ein gleichmäßiger Auftragseingang. Dies wird im Japanischen als ‚Heijunka‘ und im deutschsprachigen Raum als Harmonisierung, Glättung oder Nivellierung der Arbeit bezeichnet (vgl. Veit 2010, S. 20; vgl. Zollondz 2013, S. 274 f.). Ebenfalls bildet das Konzept Just-in-time (JIT) eine Grundlage für den Fluss. JIT kann als bedarfssynchrone Lieferung und Produktion der Ware verstanden werden (vgl. Daum u. a. 2014, S. 172). Es wird nur produziert, was tatsächlich und bedarfsorientiert benötigt wird. Dies ist die Grundlage für den angestrebten Idealzustand der Einzelstückfließfertigung, auch One-Piece-Flow genannt (vgl. Zollondz 2013, S. 276). Hierbei wird kontinuierlich gearbeitet und die Produkte durchlaufen die Produktion einzeln. Dieser Zustand ist sehr fragil, bietet aber die höchstmögliche Effizienz durch geringe Wartezeiten, kurze Wege und niedrige Durchlaufzeiten (vgl. Liker und Meier 2007, S. 120).

Die flussorientierte Arbeitsweise stellt nach Womack und Jones eine der größten Umstellungen bei der Einführung schlanker Produktionssysteme dar, weil die komplette Arbeit reorganisiert werden muss. Die Umstellung widerspricht dem natürlichen Instinkt des Menschen, in Funktionen und Abteilungen zu denken und folgt dem vermeintlichen Paradoxon, dass das Arbeiten in kleinen Stapeln effizienter ist (vgl. Womack und Jones 2003, S. 21 f.). Dennoch kann die Idee des Flusses und der kleinteiligen Abfertigung auf alle Prozesse übertragen werden. (vgl. Womack und Jones 2003, S. 51)

2.4.2 Flussperspektiven in der stationären Produktion

Die Abläufe der stationären Produktion können nach Shingo und Dillon (1989, S. 4) aus zwei Perspektiven betrachtet werden: Abbildung 9 zeigt die Struktur einer Produktionsstätte. Horizontal ist der Weg des Produktes abgebildet, das vom Rohmaterial in ein Endprodukt für den Kunden umgewandelt wird. Die Vertikale beschreibt die Operation, in dieser Darstellung des Auszuführenden bzw. der Arbeitsstation. (vgl. Shingo und Dillon 1989, S. 4 f.)

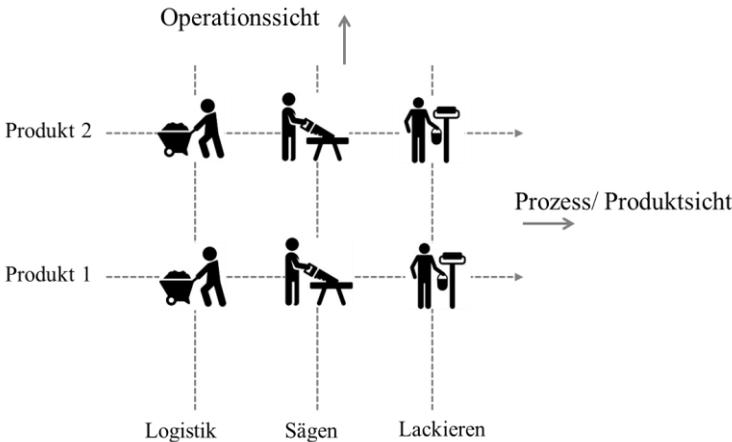


Abbildung 9: Struktur der stationären Produktion(vgl. Shingo und Dillon 1989, S. 4)

Diesen Ansatz nehmen Modig und Åhlström (vgl. 2015, S. 24) auf und beschreiben den Zusammenhang beider Perspektiven. Sie wählen für das Produkt die Bezeichnung Flusseinheit und für die Operationssicht die Bezeichnung Ressource. Aus beiden Perspektiven bilden Modig und Åhlström (vgl. 2015, S. 10 ff.) jeweils eine Effizienzkennzahl, bei der die wertschöpfende Zeit im Verhältnis zur gesamten Zeitspanne gesehen wird. Zur Berechnung der beiden Perspektiven werden die folgenden Formeln verwendet:

$$\text{Flusseffizienz} = \frac{\text{Wertschöpfende Zeit}}{\text{Durchlaufzeit}}$$

Formel 1: Berechnung der Flusseffizienz(vgl. Modig und Åhlström 2015, S. 14)

$$\text{Ressourceneffizienz} = \frac{\text{Einsatzzeit der Ressource}}{\text{Zeitraum}}$$

Formel 2: Berechnung der Ressourceneffizienz(vgl. Modig und Åhlström 2015, S. 10)

Ein kleines Beispiel soll die Formeln 1 und 2 verdeutlichen. Die Produktion aus Abbildung 9 ist ressourcenoptimiert ausgelegt. Jede der Stationen aus Operationsicht ist sieben Stunden eines acht stündigen Arbeitstages ausgelegt. Es ergibt sich eine Ressourceneffizienz von $7 \text{ h} / 8 \text{ h} = 87,5 \%$. Die hohe Auslastung wird erreicht, in dem vor jeder Station ausreichend Materiallager vorhanden sind. Materiallager führen zu Wartezeiten aus Sicht des Werkstücks (Produkt). Die wertschöpfende Bearbeitungszeit für das Werkstück dauert eine Stunde pro Station. Wohingegen die Durchlaufzeit auf Grund der Lager 30 Stunden beträgt. Es ergibt sich eine Flusseffizienz von $3 \text{ h} / 30 \text{ h} = 10 \%$. Eine Effizienzmatrix beschreibt den Zusammenhang dieser beiden Kennzahlen.

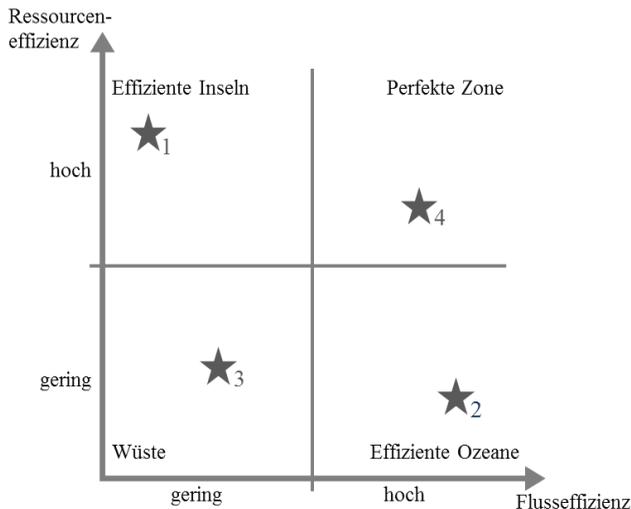


Abbildung 10: Effizienzmatrix(Modig und Åhlström 2015, S. 111)

Abbildung 10 stellt diese Matrix dar; sie wird in vier Zonen eingeteilt und enthält Beispielpositionen, die mit einem Stern markiert sind. In der Praxis stehen die beiden Perspektiven oft im Widerspruch zueinander. Die

Ressourceneffizienz beruht auf einer traditionellen Sichtweise und wird häufiger in der Praxis verwendet (vgl. Modig und Åhlström 2015, S. 7). Hier liegt der Fokus darauf, die Auslastung der Maschinen und einzelnen Arbeiter zu maximieren. Infolgedessen bilden sich ‚effiziente Inseln‘; das Unternehmen befindet sich auf der Position des ersten Sterns. Hierdurch entstehen Zwischenlager im Übergang der Stationen und die Durchlaufzeit aus Materialsicht erhöht sich. Die Position des zweiten Sterns beschreibt die Ausrichtung an der maximalen Flusseffizienz. Hier ist die Durchlaufzeit reduziert, die Auslastung der Ressourcen ist jedoch gering (vgl. Modig und Åhlström 2015, S. 113). Schnellen Durchlaufzeiten stehen wirtschaftliche Nachteile gegenüber. Beim dritten Stern sind beide Eigenschaften gering ausgeprägt und das Unternehmen befindet sich im Quadranten ‚Effizienzwüste‘. Die Existenz kann gefährdet sein. Die Flusseffizienz rückt durch Lean in den Mittelpunkt (vgl. Modig und Åhlström 2015, S. 141), dennoch darf die Ressourceneffizienz nicht vernachlässigt werden. Die Beispielposition des vierten Sterns befindet sich in der ‚perfekten Zone‘ und ist anzustreben. Je weiter sich der Stern in der rechten, oberen Ecke befindet, desto besser ist es für das Unternehmen (vgl. Modig und Åhlström 2015, S. 141). Eine natürliche Grenze ergibt sich in der Praxis automatisch. Variationen im Ablauf, wie beispielsweise Störungen oder Schwankungen im Auftragseingang, beeinflussen beide Kennzahlen negativ. (vgl. Modig und Åhlström 2015, S. 119)

2.4.3 Takt in der stationären Produktion

Ein Fluss entlang der Wertschöpfung ist das zentrale Element eines heutigen Produktionsverständnisses, wie es bereits im vorherigen Unterkapitel beschrieben wurde. Der gleichmäßige Fluss der Produkte in der Fließfertigung kann getaktet oder kontinuierlich organisiert werden (vgl. Westkämper 2006, S. 199). Ein Fortschritt mit einer kontinuierlichen Geschwindigkeit ist in der Praxis sehr schwierig erreichbar, da es viele Einfluss- und Störfaktoren gibt. Alleine der Faktor Mensch stellt eine unregelmäßige Komponente im Prozess dar. Um dem System dennoch eine Gleichmäßigkeit zu verleihen, koppeln Synchronisationspunkte die Teilleistungen aneinander und ermöglichen somit einen Statusabgleich und die Steuerung. Diese Synchronisationspunkte können

durch die Integration eines Taktes ausgelöst werden. Westkämper (vgl. 2006, S. 199) beschreibt den Takt deshalb als ein Unterelement der Fließfertigung.

Der Begriff Takt stammt ursprünglich aus dem Lateinischen: *tactus*. Dies kann mit den Worten ‚Berührung‘, ‚Gefühl‘, ‚Gefühlsinn‘ übersetzt werden (vgl. Schütz 2006). Im 16. Jahrhundert wurde der Takt als ein „durch regelmäßige Berührung ausgelöster Schlag“ (www.wissen.de o. J.) definiert. Im Ablauf des Alltags ist der Takt eine feste Größe. Der Takt hilft dem Dirigenten, ein Orchester zu dirigieren oder der Rudermannschaft, ihre Bewegung zu steuern. Der Zwei- oder Viertaktmotor arbeitet nach einem getakteten Verfahren und auch das Herz lässt das Blut getaktet im Körper zirkulieren. Neben dem Takt gibt es einen Rhythmus (griech. *rhythmós* = Fluss) als steuerndes Element. Dieser bestimmt in der Musik die Ordnung des zeitlichen Verlaufs. Er bildet eine zeitliche Struktur, ein Muster oder eine Folge von Tönen und Pausen ab, die zeitlich variieren können. Der Takt wiederum hat eine festgelegte Wiederholung von zeitlich gleichen Verläufen. (vgl. Haghsheno u. a. 2016, S. 54)

Gao et al. (vgl. 2014, S. 57). beschreiben, dass der Begriff Takt im Zusammenhang mit der Produktion aus dem deutschen Raum stammt. Die deutsche Luftfahrtindustrie setzt den Takt in den 1930er Jahren erstmalig in der Produktion ein (vgl. Heusler u. a. 2011, S.71; vgl. Womack 2004). Über eine Zusammenarbeit zwischen der deutschen Luftfahrtindustrie und Mitsubishi gelangt der Takt nach Japan und findet Einzug im TPS (vgl. Baudin 2012; Frandson 2015). Der Takt dient der deutschen Luftfahrtindustrie als ein Zeitintervall, um die Bewegung der Flugzeuge durch die Produktion zu steuern. Zum Ende jeden Taktes werden die Flugzeugrahmen zum nächsten Montageschritt bewegt. (vgl. Womack 2004) Der Takt ist somit ein zeitlicher Impulsgeber und dient als zentrales Element zur Koordination von Abläufen. Die Zeitspanne zwischen zwei Impulsen wird als Taktzeit bezeichnet. Nach der Definition von Lödding (vgl. 2016, S. 128) entspricht die Taktzeit der Zeitspanne zur Fertigstellung eines Werkstückes an einer Arbeitsstation. Der Takt legt somit fest, wann sich das Produkt von der ersten Station zur zweiten Station bewegt und in welchem zeitlichen Abstand die Produkte dem Kunden übergeben werden können.

Ein weiterer Aspekt wird in der folgenden Definition adressiert. „Taktzeit - auch Arbeitstakt oder Takt genannt - ist die Zeit, in der jeweils eine Mengeneinheit fertiggestellt wird, damit das Fließsystem die Soll-Mengenleistung erbringt“ (vgl. Arbeitsstudien 1972, S. 282). Die Soll-Menge orientiert sich am Kunden und dem Markt. Nach Hopp und Spearman (vgl. 2011, S. 495) ist die Taktzeit somit „the unit of time within which a product must be produced (supply rate) in order to match the rate at which that product is needed (demand rate“). Gao und Low (vgl. 2014, S. x) unterstreichen die Aussage und definieren die Taktzeit als das Verhältnis zwischen vorhandener Produktionszeit und der Kundennachfragerate („is calculated as the available production time divided by the rate of customer demand“). Bei beiden Definitionen spielt der Kunde die entscheidende Rolle. Der Takt ist somit nur das Hilfsmittel, um die notwendige Produktionsgeschwindigkeit zu erzeugen und den Kunden zufrieden zu stellen. Er stellt somit in der Produktion keine reine Zeitkomponente dar, sondern ebenfalls eine Bedarfskomponente in Form eines Produktes. Weitere Definitionen bekräftigen die These, dass der Takt vom Kunden ausgehende Zeitintervalle bestimmt (vgl. Ballard und Tommelein 1999; Tsao u. a. 2004, S. 788 f.). Die Taktzeit kann wie folgt berechnet werden:

$$\text{Taktzeit [Sec/Stk.]} = \frac{\text{Nettoarbeitszeit [sec]}}{\text{Kundenbedarf [Stk.]}}$$

Formel 3: Grundformel zur Berechnung der Taktzeit (vgl. Brenner 2016, S. 4)

Als Beispiel produziert Porsche in einem Takt von ca. fünf Minuten, da der Markt durchschnittlich in dieser Geschwindigkeit einen Porsche nachfragt (vgl. Friedrich u. a. 2013, S. 48). Der Kundenbedarf ist nur begrenzt beeinflussbar. Um auf höhere Absätze zu reagieren, kann die Nettoarbeitszeit in Form eines Zweischichtbetriebes aktiv beeinflusst werden. Somit resultiert die Taktzeit aus der innerbetrieblichen Produktionssicht und der marktrelevanten Kundennachfrage.

In den fünf Prinzipien von Womack und Jones (siehe Abbildung 8) spielt der Takt keine zentrale Rolle. Der Takt wird als Unterelement des Flusses interpretiert und übergeordnet als Teil eines JIT-Ansatzes gesehen. Er liegt daher vielen Produktionssystemen zugrunde. Als Beispiele gelten hier die

Produktionssysteme von BMW, Daimler, Porsche und Toyota. (vgl. Haghsheno u. a. 2016, S. 54 f.) Im folgenden Kapitel wird näher auf den praktischen Einsatz und die Funktion des Taktprinzips eingegangen.

2.4.4 Funktion des Taktprinzips

Bei einem getakteten Fluss findet nicht ein kontinuierlicher Abgleich zwischen dem Soll- und Ist-Zustand statt, sondern der Fokus liegt auf dem Abgleich am Ende der Taktzeit. Die entstehende zeitliche Einteilung durch Wahl der Taktzeit wird nun mit Arbeitsinhalten gefüllt. Alle Arbeitsinhalte haben die gleiche Start- und Endzeit basierend auf der gewählten Taktzeit. Leistungseinheiten wie Arbeitskräfte, Maschinen sowie der Prozess müssen hierauf abgestimmt sein und werden auf Basis der gewählten Taktzeit eingeteilt. (vgl. Berner u. a. 2013a, S. 51) Die tatsächlich benötigte Bearbeitungszeit wird als Zykluszeit bezeichnet (vgl. Brenner 2016, S. 5). Da die Zykluszeit in der Praxis kaum vollständig die Taktzeit ausfüllt, entstehen Spielräume innerhalb der Taktintervalle. Dieser Spielraum kann als Zeitpuffer bezeichnet werden und ist notwendig, um Störungen im Ablauf auszugleichen. Je stabiler und sicherer das System ist, desto weniger Puffer müssen eingeplant werden. Die Unterteilung in Schwankung (hier: noise) und Abweichung (hier: variance) wird durch Frandson vorgenommen. Eine Schwankung ist eine kleinere, meist hinzunehmende Störung innerhalb des Taktintervalls, die keine Auswirkungen über die Taktzeit hinaus hat. Eine Abweichung geht über die Taktintervallgrenze hinaus und hat Einfluss auf das nachfolgende Taktintervall. (vgl. Frandson u. a. 2014, S. 577) Abbildung 11 zeigt zwei Taktintervalle und die beiden Störungsarten in Prozess 2 und 3.

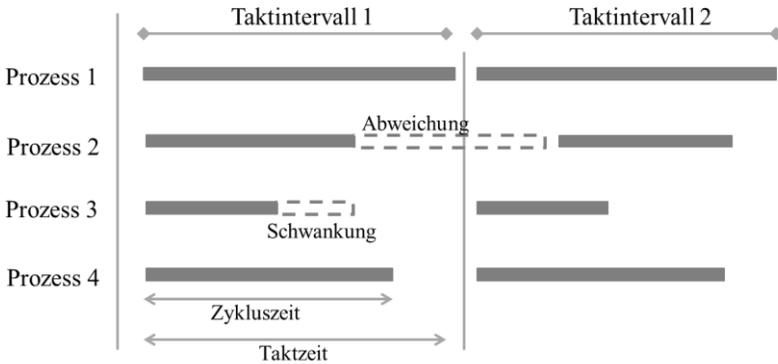


Abbildung 11: Auswirkungen von Störungen (Schwankung und Abweichung)
(vgl. Frandson u. a. 2014, S. 577)

Die Zykluszeit des Prozesses 1 entspricht der Taktzeit. Hier ist kein Puffer vorgesehen und es handelt sich um einen kritischen Prozess, der eine hohe Stabilität aufweisen sollte. Prozesse 2 bis 4 beinhalten jeweils einen Puffer bezogen auf das Taktzeitende. Aufgrund der Störung in Prozess 2 überschreitet die Zykluszeit die Taktzeit. Hier wird von einer Abweichung gesprochen. Die Störung in Prozess 3 verläuft innerhalb der Pufferzeit und hat keine Auswirkungen auf den nachfolgenden Takt.

Auf der einen Seite sind Puffer nicht wertschöpfende Zeit und sollten grundsätzlich minimiert werden. Auf der anderen Seite ist der Puffer für die Stabilität des Systems notwendig. Die Inhalte der Prozesse sollen so nivelliert sein, dass eine gleichmäßige Füllung der Intervalle und eine konstante Auslastung der Prozesse entstehen. Die Güte der Füllung für einen Prozess kann mit dem Auslastungsfaktor (AF), auch als Füllgrad (FG) bezeichnet, quantifiziert werden:

$$AF = FG = \frac{\overline{VD} [h]}{TZ [h]}$$

Formel 4: Berechnung des Auslastungsfaktor (vgl. Binninger u. a. 2016b, S. 57)

Hierin sind:

- AF: Auslastungsfaktor
- FG: Füllgrad
- VD: Durchschnittliche Vorgangsdauer
- TZ: Gewählte Taktzeit des Produktionssystems

Die Berechnung und Zusammensetzung von VD wird im späteren Verlauf der Arbeit (siehe Kapitel 6.3) näher erläutert. Es ist eine maximale Füllung des Systems anzustreben; dennoch muss es stabil funktionieren. Stabilität kann mit Puffern erzeugt werden. Ein Auslastungsfaktor von 100 % ist deshalb in der Praxis nicht erstrebenswert.

2.4.5 Takt in der Bauproduktion

Die zuvor beschriebenen Grundlagen des Taktes in der Produktion sind auch größtenteils für den Baubereich gültig. Somit werden in diesem Kapitel nur bauspezifische Besonderheiten im Zusammenhang mit dem Taktprinzip hervorgehoben und ein Einblick in die historische Entwicklung sowie aktuelle Umsetzung gegeben.

Der Takt als Element der Bauproduktion hat bereits eine längere Tradition: 1857 wurde beim Bau des Grandfey-Viadukts in Freiburg (Schweiz) ein Takt eingesetzt (vgl. Marti u. a. 2001, S. 108). Als weiteres bekanntes Beispiel für den Einsatz des Taktes in der Bauproduktion im Hochbausegment ist das Empire State Building in New York zu nennen, das im Jahr 1930 erbaut wurde (vgl. Willis 2007). Heute ist der Takt ein fester Bestandteil in verschiedenen Bauproduktionsverfahren. Als weitere Beispiele können das Taktschiebungsverfahren im Brückenbau, das Pilgerschrittverfahren bei Schlitzwänden im Tiefbau oder das Betonieren in Schalungstakten genannt werden. (vgl. Haghsheno u. a. 2016, S. 56)

Der Takt nimmt hierbei die Rolle der rhythmischen Einteilung der Zeit und des Baufortschritts ein und strukturiert den Bauablauf. Die Taktzeit gibt die Zeitspanne vor, in der das Gewerk eine bestimmte Leistung abschließen muss. Die Leistung definiert bestimmte Arbeitsschritte (AS) bezogen auf einen festgelegten Bereich am Bauwerk. Der Zusammenschluss aus Arbeitsschritten wird als Arbeitspaket (AP), das eingeteilte Areal am Bauwerk als Taktbereich

bezeichnet. Somit kommt durch den Takt zur zeitlichen Strukturierung eine räumliche Einteilung hinzu. (vgl. Haghsheno u. a. 2016, S. 57) Wird diese Arbeitsleistung anschließend unter der Absicht einer nahezu identischen Taktleistung (beispielsweise Wochenleistung) der verschiedenen Gewerke abgestimmt, kann eine gleichmäßige Produktionsgeschwindigkeit erreicht werden. (vgl. Friedrich u. a. 2013, S. 43) Der Ablauf innerhalb der vorgegebenen Taktzeit ist flexibler und kann laut Bashford et al. (vgl. 2003, S. 332) in zwei Varianten erfolgen: Abbildung 12 zeigt die beiden Strategien, die Bashford als startbasierte oder vorgangsbasierte Produktion bezeichnet. Hier liegt eine geplante Taktzeit von acht Stunden vor. Ist der erste Vorgang vor der Taktzeit fertig, so muss bei der vorgangsbasierten Produktion das zweite Gewerk bis zum Start der neuen Taktzeit warten. Erst bei geplantem Start des Vorgangs beginnt Gewerk 2. Bei der startbasierten Produktion wird nach Ende des Vorgangs 1 der Vorgang 2 begonnen und es entstehen somit weniger Wartezeiten. Das System wird vermeidlich effizienter abgewickelt. Bei kleineren Wiederholungen kann die startbasierte Produktion sinnvoll sein.

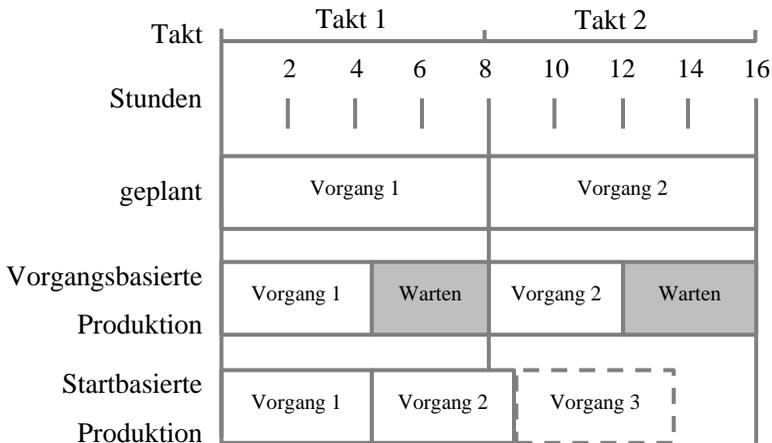


Abbildung 12: Produktionsstrategien (vgl. Bashford Howard H. u. a. 2003, S. 332)

Der Takt spielt in der vorgangsbasierten Produktion eine Rolle in der Planung und Steuerung, wohingegen in der startbasierten Produktion der Takt während

der Steuerungsphase ignoriert wird. Der Vergleich der Varianten in einer Simulation zeigt auf, dass die startbasierte Produktion vernachlässigbare Vorteile in der Bauzeit bringt. Hingegen erhöht sich die Schwankung im System signifikant. Das System schaukelt sich auf und die Stabilität sinkt. (vgl. Bashford Howard H. u. a. 2003, S. 336 f.) Der Abgleich zu festen Taktzeiten im System wirkt dem Aufschaukeln entgegen.

Der Takt ist ein Strukturierungselement und dient dazu, Handwerker, Material und die sonstigen Ressourcen taktbezogen und bedarfsgerecht auf die Baustelle zu bringen (vgl. Binninger und Dlouhy 2018). Zusammengefasst kann festgestellt werden, dass der Takt bei Bauwerken mit einer hohen Wiederholungszahl und einer Einteilung in ähnlich große und inhaltlich gleiche Bereiche sehr sinnvoll sein kann (vgl. Haghsheno u. a. 2016, S. 56).

2.4.6 Fluss in der Bauproduktion

Im Bauwesen wird nach Ende der Taktzeit nicht das Werkstück weitergegeben, sondern die Arbeiter bewegen sich getaktet durch das Bauwerk (vgl. Nezval 1960, S. 31). Somit entsteht ein Fluss. Friedrich et al. beschreiben dieses Phänomen mit den Begrifflichkeiten Subjekt und Objekt. Im Gegensatz zur stationären Produktion fließen im Bauwesen die Leistungsersteller (Subjekt) durch das starre Produkt (Objekt) (vgl. Friedrich u. a. 2013, S. 46). Koskela (vgl. Kaiser 2013, S. 42; Koskela 2000, S. 52 ff.) bezeichnet die Leistungsersteller als Produktionsfaktoren und unterstreicht die These des Flusses. Um den Fluss der Leistungsersteller zu bewerten, muss das Bauwerk in Einheiten eingeteilt werden. Somit kommt im Bauwesen zur zeitlichen Einteilung in Taktzeiten noch die räumliche Komponente in Taktbereiche hinzu (vgl. Haghsheno u. a. 2016). Berner et al. (vgl. 2013a, S. 87) bezeichnen die räumlichen Bereiche als Taktabschnitte. Rios (vgl. o. J., S. 1 f.) bekräftigt den Zusammenhang zwischen Ort und Zeit und definiert den Takt als Werkzeug, um räumliche und zeitliche Arbeitspakete zu bilden, die kurzzyklisch besprochen werden. Im Bauwesen gibt es somit einen direkten Zusammenhang zwischen Ort und Zeit und daher eine Verbindung zur Geschwindigkeit des Flusses. Die Geschwindigkeit des Flusses ist dabei deutlich geringer als in der Produktion. Während in der Produktion die Taktzeiten im Minutenbereich liegen (vgl. Haghsheno

u. a. 2016), werden im Baubereich langzyklischere Taktzeiten eingesetzt. Einige Beispiele im Tages- und Wocheninterwall werden von Berner et al. genannt. (vgl. Berner u. a. 2013a, S. 87 f.). Durch die langen Taktzeiten ist der Fluss in der Praxis oft nicht direkt erkennbar. Hinzu kommt der bisher unterschiedlich definierte Fokus der Baubeteiligten, den Ballard und Howell treffend beschreiben:

„We all were educated to see resource utilization. Are workers busy? Are crane hooks loaded and swinging? But we were not educated to see work flow; e.g., to understand the various types of buffers, to select the right type of buffer for a given situation, and to locate and size those buffers to perform their tasks of absorbing variability and rebatching.” (Ballard und Howell 2004, S. 39)

(deutsche Übersetzung: Wir wurden alle ausgebildet, die Ressourcennutzung zu sehen. Sind die Arbeiter beschäftigt? Sind die Kranhaken beladen und in Bewegung? Aber wir sind nicht ausgebildet, den Arbeitsfluss zu sehen; z. B. die unterschiedlichen Puffer zu verstehen, den richtigen Puffer zu einer gegebenen Situation zu wählen und diesen zu positionieren sowie zu dimensionieren, so dass die Variabilität und Änderung der Aufgaben abgedeckt werden). Somit liegt der Fokus der Verbesserung im Bauwesen auf der von Modig und Åhlström beschriebenen Kapazitätseffizienz.

Obwohl sich die Bauproduktion nach der Einteilung der Produktion aus Kapitel 2.2.3 dem Baustellenprinzip zuordnen lässt, ist es möglich einen Fluss zu erzeugen und die Effekte der Fließfertigung zu nutzen.

2.4.7 Flussperspektiven in der Bauproduktion

Die beiden in Kapitel 2.4 erläuterten Perspektiven lassen sich auch auf die Bauproduktion übertragen. Da im Bauwesen der visuell ersichtliche Fluss in Form der Gewerke (Ressource) vorhanden ist, ist die Begrifflichkeit Fluss bzw. Flusseinheit von Modig und Åhlström irreführend und muss für die weitere Arbeit abgegrenzt werden. Die grundlegende Logik der Trennung zwischen den beiden Perspektiven wird im weiteren Verlauf beibehalten. Die Ressourcen bilden in der Baubranche die Handwerker bzw. Gewerke mit den

jeweiligen Arbeitspaketen. Die Flusseinheit, wie sie von Modig und Åhlström bezeichnet wird, stellt nach Shingo und Dillon das Produkt dar. Um hier die Begrifflichkeiten klar zu definieren, wird von der Produktsicht gesprochen, auf die der Gewerkefluss einwirkt (vgl. Sacks 2016, S. 648). Analog zu Sacks (vgl. 2016, S. 644) und seinem Beitrag ‚What constitutes good production flow in construction?‘ werden in dieser Arbeit beide Perspektiven als Fluss bezeichnet. Darüber hinaus gibt es weitere Flüsse wie beispielsweise Material- oder Informationsfluss (vgl. Koskela 2000, S. 186), die nicht Teil der weiteren Betrachtung sind. Sacks erweitert das Zwei-Dimensionen-Modell von Shingo und Dillon um eine dritte Achse, die das Portfolio beinhaltet. Hier wird der Arbeitsfluss von Projekt zu Projekt betrachtet. Sacks (vgl. 2016, S. 648 ff.) bildet hieraus das PPO-Modell (Portfolio, Prozess und Operation), das in Abbildung 13 dargestellt ist.

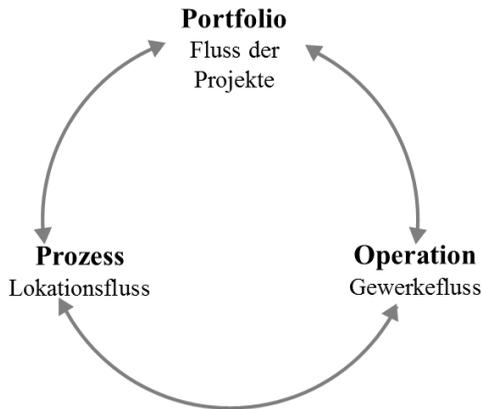


Abbildung 13: Zyklischer Zusammenhang der drei Flüsse im PPO Modell
(vgl. Sacks 2016, S. 651)

2.4.8 Eigenschaften und Messbarkeit des Flusses in der Bauproduktion

Bisher wurde beschrieben, was ein Fluss ist, wie er sich auf die Produktion auswirkt und welche Perspektiven eingenommen werden können. An dieser Stelle wird nun die Frage beantwortet, was einen guten Fluss auszeichnet. Nezval (vgl. 1960, S. 35) nennt in diesem Zusammenhang die drei Eigenschaften Rhythmus, Gleichmäßigkeit und Kontinuität. Diese Kenngrößen lassen sich sehr gut durch Abbildung 14 in Form von vier Diagrammen beschreiben:

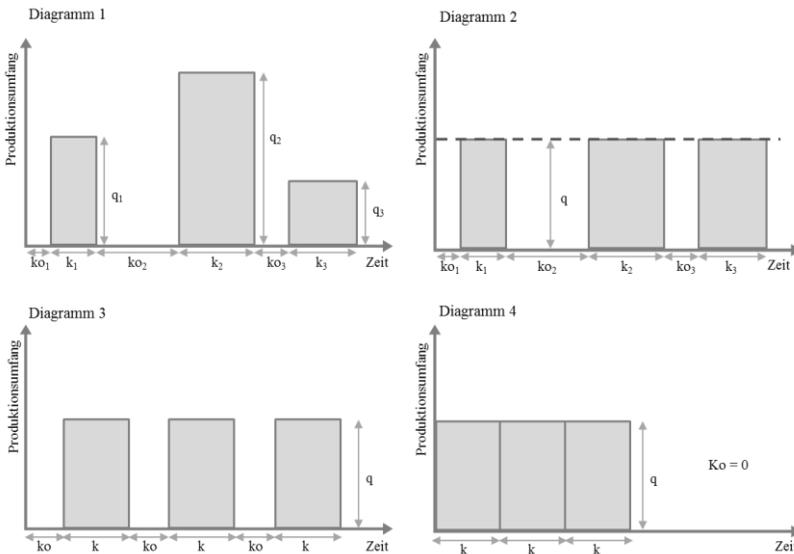


Abbildung 14: Eigenschaften Rhythmus, Gleichmäßigkeit und Kontinuität
(vgl. Nezval 1960, S. 36 f.)

Auf der Ordinate sind die Produktionsumfänge der tatsächlichen Arbeit beschrieben. Die Abszisse bildet die Zeitachse mit der Arbeitsdauer k und den Arbeitsunterbrechungen ko ab. Diagramm 1 stellt das Grunddiagramm ohne Einwirkung der Kenngrößen dar. Der Produktionsumfang q_x ist unterschiedlich. Die Dauern k_x und ko_x weisen ebenfalls Schwankungen auf. Diagramm 2 zeigt einen nivellierten Produktionsumfang q . Die Arbeitsverteilung kann als

gleichmäßig bezeichnet werden. Diagramm 3 weist zusätzlich konstante Zeitintervalle k_0 und k auf. Die Arbeit findet somit rhythmisch und weiterhin gleichmäßig statt. Bei einer kontinuierlichen Produktion sind die Arbeitsunterbrechungen eliminiert ($k_0 = 0$). Diagramm 4 ist somit gleichmäßig, rhythmisch und kontinuierlich. (vgl. Nezval 1960, S. 35 ff.)

Neben den Eigenschaften des Flusses gibt es bereits Kennzahlen, die den Fluss quantitativ beschreiben. Die beiden bereits erwähnten Effizienzkennzahlen von Modig und Åhlström lassen sich der Eigenschaft Kontinuität zuweisen. Weitere Kennzahlen wie Stillstände und Unterbrechungen gehören ebenfalls in diese Kategorie. Die Eigenschaft Rhythmus hängt stark mit dem Grundprinzip Takt zusammen und wird maßgeblich davon beeinflusst. Kennzahlen wie Taktzeiten, Durchlaufzeiten oder Zykluszeiten beschreiben diese Eigenschaft. Die dritte Eigenschaft Gleichmäßigkeit lässt sich durch die Kenngrößen Auslastung im System, den Auftragseingang sowie -ausgang beschreiben.

2.5 Zwischenfazit

Das einleitende Grundlagenkapitel zur Bauproduktion stellt die Frage, welche Bedeutung die Prinzipien Takt und Fluss in der (Bau-)Produktion haben.

Um die Frage zu beantworten, wurden zunächst am Beispiel der stationären Produktion die Entwicklung und Grundlagen der Produktion im Allgemeinen erläutert. Die beiden Prinzipien nehmen dabei wesentliche Rollen im heutigen Verständnis einer effizienten Produktion ein und bilden in vielen Produktionssystemen die Grundlage. Der Takt dient dabei als ein Unterelement zur Erzeugung eines Flusses in der Produktion.

Einige der beschriebenen Theorien können direkt von der stationären Produktion auf die Bauproduktion übertragen werden, da teilweise Parallelen zwischen den beiden Branchen bestehen. Jedoch muss in der Übertragung der Theorien auf die speziellen Eigenschaften und das Umfeld der Bauproduktion eingegangen werden.

Die Produktionsprinzipien Fluss und Takt spielen auch in der Bauproduktion eine entscheidende Rolle und wurden bereits in der Vergangenheit eingesetzt. Durch die Verbreitung von Lean Construction und einem ganzheitlichen Produktionsdenken gewinnen die beiden Prinzipien verstärkt an Bedeutung.

Das Kapitel legt weitergehend die Grundlagen zu den verschiedenen Perspektiven des Arbeitsflusses fest. Gerade der Arbeitsfluss aus der Prozess- und Arbeitskraftperspektive (Operation) kann direkt aus der stationären Industrie auf die Bauproduktion übertragen werden. Nezval definiert einen guten Fluss mit den Eigenschaften Rhythmus, Kontinuität und Gleichmäßigkeit (vgl. Nezval 1960, S. 35 ff.). Somit lässt sich die Güte des Flusses in der Bauproduktion bestimmen. Die Methode Taktplanung und Taktsteuerung

3 Die Methode Taktplanung und Taktsteuerung

3.1 Vorbemerkung

Dieses Kapitel erläutert, wie die Prinzipien Fluss und Takt in die Bauproduktion integriert werden. Da der Takt ein Unterelement ist und die Grundlage des Flusses bildet, wird nachfolgend verstärkt auf die Methode zur Integration des Taktes eingegangen. Zunächst wird ein Überblick über die wichtigsten Entwicklungsschritte der Taktung gegeben und wie diese miteinander in Zusammenhang stehen. Im Anschluss wird einzeln auf die Elemente Taktplanung sowie Taktsteuerung eingegangen und der Taktplan als Darstellungsform abgegrenzt.

3.2 Entwicklung der Taktung als Methode

Die Taktung als Vorgehensweise zur Bauablaufplanung ist nicht neuartig. Einzelne Quellen berichten von Produktionen, wie dem Arsenal von Venedig (vgl. Kitzmann und Brenk 2018, S. 87) oder dem Rohbau des Empire State Buildings (vgl. Partouche u. a. 2008, S. 188), die bereits vor langer Zeit den Takt als Grundelement zur Erzeugung des Flusses eingesetzt haben. Eine konkrete Beschreibung des Einsatzes in diesen Beispielen konnte jedoch identifiziert werden.

Die ersten Quellen mit einer konkret beschriebenen Vorgehensweise zur Taktung gehen auf das Jahr 1939 zurück. Seither wurden zahlreiche Ansätze unter verschiedenen Bezeichnungen veröffentlicht. Im internationalen Umfeld wird die Taktung als Methode der Kategorie ‚Location Based Scheduling‘ zugeordnet (vgl. Lehtovaara u. a. 2020, S. 1), da der Raum eine wichtige Rolle einnimmt. Im deutschsprachigen Raum gibt es keine vergleichbare Kategorisierung und die Taktung im Bauwesen ist als eigenständiger Entwicklungsstrang erkennbar.

Abbildung 15 zeigt acht chronologisch angeordnete Ansätze, die vom Verfasser identifiziert wurden. Zunächst werden alle Ansätze kurz beschrieben, bevor auf die dunkel markierten Felder näher eingegangen wird.

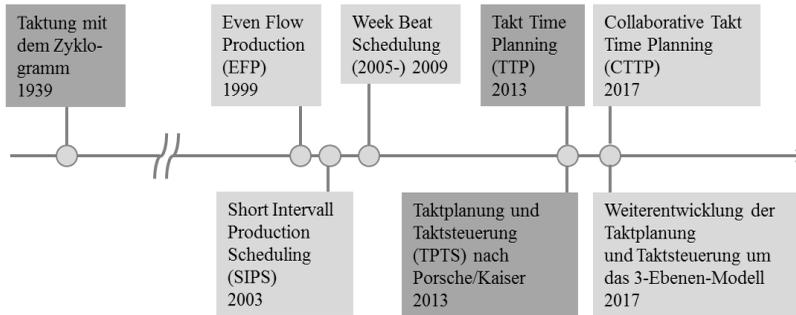


Abbildung 15: Entwicklungsschritte der Taktung als Methode im Bauwesen

3.2.1 Taktung mit dem Zycklogramm

Die Fließfertigung mit einem Taktprinzip bei Wohnungsbauten wird in der Sowjetunion zum ersten Mal 1939 in Moskau eingesetzt. (Budnikow u. a. 1962, S. 169) Ziel ist es, die einzelnen Tätigkeiten aufeinander abzustimmen und die Wiederholung im Ablauf zu nutzen. Als Darstellungsform wird ein Geschwindigkeitsdiagramm, das sogenannten Zycklogramm, verwendet (vgl. Rehfeldt 1969, S. 13; Schub 1970, S. 3). Der Ansatz wird daher in dieser Arbeit als **Taktung mit dem Zycklogramm** bezeichnet. Die Produktionsweise ist so erfolgreich, dass sich die Idee nach dem Ende des zweiten Weltkriegs sehr schnell in der ehemaligen Union der Sozialistischen Sowjetrepubliken (UdSSR) und in den kommunistischen Satellitenstaaten wie beispielsweise der DDR ausgebreitet hat. In der DDR wird die Taktfertigung 1958/59 zum ersten Mal eingesetzt (vgl. Rehfeldt 1969, S. 52). Wohnungsbauten werden in Arbeitstakte eingeteilt, die von speziellen Brigaden bearbeitet werden. Darüber hinaus wird die Zulieferung genau koordiniert. Analog zum Vorbild der Automobilindustrie werden Reihenhäuser am Fließband hergestellt (Rehfeldt 1969, S. 52 ff.). Der fortgeschrittene Entwicklungsstand und die vertiefte Ausprägung werden durch folgendes Zitat deutlich:

„Wenn das zweite Geschoss montiert wird, muß im ersten Geschoß schon kaltes und warmes Wasser fließen; wenn die letzte Dachplatte verlegt wird, müssen die ersten Möbelwagen vorfahren. Das ist Industrialisierung im Wohnungsbau, das müssen wir erreichen.“ Walter Ulbrich (in Rehfeldt 1969, S. 56)

3.2.2 Even Flow Production, Short Interval Production Scheduling und Week Beat Scheduling

Erst mit dem Aufschwung von Lean Construction werden weitere Methoden entwickelt, die nicht zwingend das deutschstämmige Wort Takt beinhalten, allerdings starke Ähnlichkeiten aufweisen. Speziell im Rahmen der International Group of Lean Construction (IGLC) werden einige Ansätze veröffentlicht. So beispielsweise die Methode **Even Flow Production (EFP)**, die durch die Veröffentlichungen von Caldeira (vgl. 1999, S. 40) und des National Association of Home Builders Research Center (vgl. NAHBRC 2000, S. 4) um die Jahrtausendwende aufkommt. 2001 wurde die Methode in einem Beitrag zur neunten IGLC-Konferenz durch Glenn Ballard ebenfalls an einem Praxisbeispiel vorgestellt (Ballard 2001). Dieses Konzept wird bereits 1999 im schlüsselfertigen Wohnungsbau in den USA eingesetzt (vgl. Bashford Howard H. u. a. 2003, S. 332). Die Methode EFP wird entwickelt, um eine Bauproduktion mit vielen Nachunternehmern und einer hohen Schnittstellenanzahl in einem großen Maßstab abzuwickeln (vgl. Bashford Howard H. u. a. 2003, S. 331). Ziel ist es, die Arbeitsflusszuverlässigkeit durch die Stabilisierung des Produktionsinputs und durch einen standardisierten Bauablauf zu erhöhen. Es ist erstrebenswert, die Anzahl der neu begonnenen Projekte in einem bestimmten Zeitraum zu fixieren. (vgl. Ballard 2001, S. 2) Kraemer et al. (vgl. 2017, S. 124) unterstreichen die Aussage und beschreiben das Ziel von EFP als Nivellierung der Produktionsrate zur Beruhigung und Verstetigung des Prozesses. Somit wird die Produktion in einem Takt abgewickelt und es entsteht ein regelmäßiger Output.

Burkhart (1989) veröffentlichte im Rahmen einer Konferenz einen Artikel, in dem er das Tool **Short Interval Production Scheduling (SIPS)** vorstellt. Das Ziel des Tools ist es, einen feingliedrigen Terminplan zu erstellen, der gewerkespezifische Informationen wie beispielsweise Sicherheitsvorschriften oder

Arbeitsbeschreibungen enthält. Burkhart reduziert diesen Ansatz auf einen feingegliederten Gantt-Terminplan mit hinterlegten Ressourcen pro Arbeitsgang und Kolonne. (vgl. Burkhart 1989, S. 381 ff.) Ein Beispiel hierfür ist im Anhang 1 abgebildet. Wird der SIPS Prozess angewandt, wird das Tool zur Methode und deshalb als eigenständiger Ansatz aufgelistet. Die Grundidee des SIPS muss nicht zwingend einen Takt enthalten. Erst durch Horman (2003) wird ein Projektbeispiel vom Pentagon beschrieben, das eine nicht explizit benannte Methode einsetzt, die im Grunde auf der Idee von SIPS aus dem Beitrag von Burkhart aufbaut. Dieses Beispiel beinhaltet einen getakteten Terminplan mit einer Taktzeit von einer Woche. (vgl. Horman u. a. 2003, S. 4 f.) Der Ablaufplan ist in Anhang 2 abgebildet.

Ein weiterer Ansatz stammt von Peter Court, der in den Jahren 2005 bis 2009 fünf Artikel veröffentlichte, die sich in seiner 2009 fertiggestellten Dissertation wiederfinden. Er untersucht den Bauprozess aus Sicht des Gewerkes Lüftung / Elektro (Mechanical and Electrical) und leitet aus den Ergebnissen eine neue Abwicklungsmethode mit dem Namen **Week Beat Scheduling** für ein Beispielunternehmen ab. Diese neue Methode basiert primär auf einer erhöhten Vorfertigung und einem integrierten Wochentakt. (vgl. Court 2009, S. 73 ff.) Der Wochentakt wird hier als „week beat“ und dadurch als Puls des Systems bezeichnet. (vgl. Court u. a. 2006, S. 10) Court referenziert hier auf das von Horman beschriebene SIPS und teilt das Bauwerk in Zonen mit ca. 1.000 m² ein. Durch diese Zonen bewegen sich die verschiedenen Gewerke laut der Theorie von ‚Parade of Trades‘. (vgl. Court u. a. 2005, S. 8) Die Darstellung des Ablaufplans erfolgt in einem feingliedrigen Gantt-Chart, in dem die einzelnen Zeitfenster der Vorgänge eine Länge von einer Woche haben und eine Ende-Anfang Beziehung aufweisen. (vgl. Court 2009, S. 78) In seinem entwickelten Bauprozessmodell zeigt er bereits 2006 eine Darstellung mit einem Raster aus Raum (Zonen) und Zeit (Wochen), durch das sich die Gewerke in einer Reihenfolge diagonal bewegen. (vgl. Court u. a. 2006, S. 8) Anhang 3 zeigt ein Beispiel des Ablaufplans. Die Gewerke folgen einander und müssen in ihrer Geschwindigkeit aufeinander abgestimmt sein. Die Personalstärke der einzelnen Teams wird dementsprechend angepasst und gesteuert. (vgl. Court u. a. 2006, S. 10)

3.2.3 Takt Time Planning

Einer der bekanntesten Ansätze aus dem IGLC-Umfeld ist unter der Bezeichnung **Takt Time Planning** (TTP) bekannt. Die Methode TTP von Iris D. Tommelein und Adam Frandson entsteht in Zusammenarbeit der University of California, Berkeley sowie Bauunternehmen im Großraum San Francisco. Mehrere wissenschaftliche Beiträge widmen sich bereits dieser Methode: Die Grundidee von TTP basiert auf dem Beitrag ‚Space Scheduling for Construction Progress Planning and Control‘ von Tommelein und Zouein (vgl. 2017, S. 746) aus dem Jahr 1993. In einem Beitrag zur IGLC-Konferenz 2013 beschreiben Frandson et al. (u. a. 2013) den Ansatz anhand eines Projektes im Fassadenbau. Iris D. Tommelein (2017) erweitert den Ansatz im Beitrag ‚**Collaborative Takt Time Planning** of Non-Repetitive Work‘ (CTTP) aus dem Jahr 2017 und zeigt ein konkretes Projekt auf. Die Erweiterung beinhaltet ein mathematisches Konzept der ‚work density‘ (Arbeitsdichte). Durch den Einsatz dieses Konzepts soll die Nachunternehmerleistung ausgeglichen gestaltet werden. Der Hauptgedanke basiert auf der detaillierten Planung der Ressource ‚Space‘ (räumlicher Bereich), die in der Methode TTP als ‚Takt Time Zone‘ (Taktzone) bezeichnet wird. Ziel ist es, den Bauprozess so zu strukturieren, dass die Arbeiter in einer vorgegebenen Zeit (Takt) die Taktbereiche gleichmäßig bearbeiten können. (vgl. Tommelein 2017, S. 747 ff.)

3.2.4 Taktplanung und Taktsteuerung

Im deutschsprachigen Raum entsteht ein Ansatz, der unter dem Namen **Taktplanung und Taktsteuerung** bekannt ist. Erste praktische Anwendungen finden bei der Hochtief AG bereits im Jahr 2007 (Altner) und bei der weisenburger bau GmbH 2010 (weisenburger bau gmbh) statt. Der Ansatz wird national und international durch die Beratungstätigkeiten der Porsche Consulting GmbH verbreitet. Kaiser (vgl. 2013, S. 95 ff) beschreibt in seiner Dissertation ‚Lean Process Management in der operativen Bauabwicklung‘ ein ganzheitliches Bauprozesssystem (BPS) und ordnet die TPTS Methode als Teil des operativen Subsystems ein. Er verwendet eine sehr bildliche Sprache und verwendet für die Prozesse den Begriff Zug. Der Zug und seine Waggons bewegen sich durch das Gebäude. Dies soll den Arbeitsfluss symbolisieren. Das BPS ist

in Anhang 4 dargestellt. Die Methode wurde durch Binnering et al. (u. a. 2017a) verfeinert und als technisches System mit klaren mathematischen Regeln und einer abgrenzbaren Vorgehensweise in 12 Schritten beschrieben. Die **Weiterentwicklung der TPTS** ist sehr eng mit dem 3-Ebenen-Modell zur Strukturierung von Bauprozessen nach Dlouhy et al. (2016b) verbunden, das am KIT entwickelt und erstmalig im Rahmen der IGLC Konferenz 2016 in Boston veröffentlicht wurde. Die drei Ebenen grenzen Verantwortlichkeit sowie Umgang miteinander innerhalb des Systems ab. Da dieses Modell für die weitere Arbeit eine zentrale Rolle spielt, ist an dieser Stelle ein Exkurs notwendig. In Abbildung 16 ist die Ursprungsversion des Modells in drei Ebenen dargestellt, die die Kernmethode TPTS beinhalten.

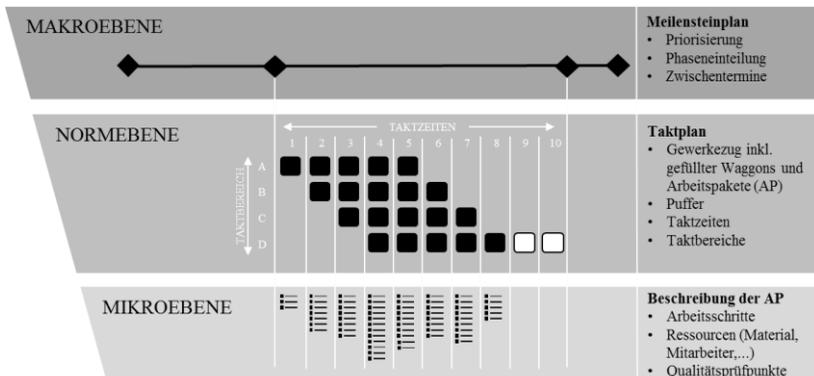


Abbildung 16: 3-Ebenen-Modell zur Strukturierung von Bauprozessen (vgl. Dlouhy u. a. 2016b, S. 17)

Die oberste Ebene dient der übergeordneten Projektkoordination und hat ein sehr hohes Abstraktionslevel. Sie bildet die Projektphasen, die Priorisierung der Flächen und mögliche Zwischentermine ab und dient primär dazu, mit dem Kunden innerhalb des Projektes zu kommunizieren. (vgl. Dlouhy u. a. 2016b, S. 15) Diese Ebene bildet die Inhalte des von Kaiser benötigten Eingangs (Schritt 0) ab. Auf der mittleren Ebene, auch als Normebene bezeichnet, findet die Taktplanung basierend auf der Theorie von Kaiser statt. Auf dieser Ebene wird der Baustellenprozess gesteuert; sie wird deshalb auch als Koordinations-ebene bezeichnet. Der detaillierte Taktplan zeigt die Einteilung in räumliche

Einheiten (Taktbereiche) auf der Ordinate. Zeitliche Einheiten (Taktzeiten) befinden sich auf der Abszisse. Zwischen den Achsen sind die wertschöpfenden Prozesse in Form von Gewerkezügen, gefüllten Waggons und Arbeitspaketen dargestellt. Zeitliche Puffer zur übergeordneten Ebene werden sichtbar. (vgl. Dlouhy u. a. 2016b, S. 15 f.) Unterhalb befindet sich die Mikroebene, in der die Arbeitspakete in Form von Arbeitsschritten detailliert abgebildet sind. (vgl. Dlouhy u. a. 2016b, S. 16) Auf dieser Ebene können weitere Informationen, wie beispielsweise Qualitätsprüfpunkte, Material- und Mitarbeiterressourcen hinterlegt werden. Diese Ebene ist primär für die direkt wertschöpfende Ebene – die Nachunternehmer und Bauarbeiter – ausgelegt.

Die Inhalte der drei Modellebenen bauen aufeinander auf und beeinflussen sich gegenseitig. Beispielsweise wird der Taktplan des Normlevels durch Änderungen auf der Mikroebene bottom-up oder top-down von der Makroebene beeinflusst. (vgl. Dlouhy u. a. 2016b, S. 21)

3.2.5 Zusammenfassung und Gegenüberstellung

Im vorherigen Unterkapitel wird aufgezeigt, dass die Idee einer fluss- und taktbasierten Bauproduktion weit vor der Lean Construction Bewegung existiert. Die aufgeführten Ansätze werden durch klare Vorgehensweisen definiert und haben auf den ersten Blick starke Parallelen.

In diesem Unterkapitel werden die drei Entwicklungsschritte Taktung mit dem Zyklusdiagramm, TTP und TPTS (in Abbildung 15 dunkel hervorgehoben) in Bezug auf die Vorgehensweise, die Darstellungsart und die Integration des Flusses einander gegenübergestellt. Die drei ausgewählten Entwicklungsschritte bilden für die weitere Arbeit eine wichtige Grundlage vergleicht die wichtigsten Eigenschaften der einzelnen Ansätze.

Tabelle 2: Vergleich der einzelnen Strömungen

	Taktung mit dem Zyklusgramm	Takt Time Planning (TTP)	Taktplanung und Taktsteuerung (TPTS)
Motivation	starker Bedarf, Zentralisierung und Planwirtschaft	Erhöhung der Wertschöpfung, Flussorientierung	Erzeugung von Stabilität, Flussorientierung
Planung	zentral	dezentral, projektbezogen	Mischung aus zentral und projektbezogen
Steuerung	k. A.	dezentral, kurzzyklisch, kollaborativ	dezentral, kurzzyklisch
Darstellungsform	Zyklogramm	Zyklogramm, Taktplan	Taktplan
Flussperspektive	Arbeitskraft (Operation)	Arbeitskraft (Operation)	Produkt und Arbeitskraft (Operation)

Die Motivation hinter den einzelnen Ansätzen ist sehr unterschiedlich geprägt. Daraus folgt auch eine sehr unterschiedliche Umsetzung der Planung und der Steuerung. Die Taktung mit dem Zyklusgramm war in der UdSSR verstärkt zentral geplant. Das bedeutet, es gab eine zentrale Einheit, die die Einzelbaustellen gesamtheitlich geplant hat. Wohingegen der Ansatz TTP dezentral und projektspezifisch charakterisiert ist. Der Ansatz TPTS ist eine Mischung aus zentral und dezentral und wird meist projektbezogen betrachtet. In der Praxis bedeutet dies, dass eine zentrale Abteilung die Planung organisiert und eng mit den dezentralen Baustellen abstimmt. Aus der Sicht des Arbeitsflusses werden

bei der Taktung mit dem Zyklusdiagramm sowie der TTP primär das Gewerk (Arbeitskraft) und dessen Kapazitäten optimiert. Bei der TPTS spielt zusätzlich die Produktperspektive eine wichtige Rolle. Kommt es zu Abweichungen, so wird bei dem Ansatz TTP gemeinschaftlich auf der Baustelle eine Lösung herbeigeführt, da die Arbeitskraftperspektive im Mittelpunkt steht. Ähnlich auch bei der TPTS, allerdings müssen für eine Entscheidung nicht alle Gewerke involviert werden, da klare Regeln vorhanden sind und die Produktperspektive vom GU vertreten wird.

Die weitere Ausarbeitung baut auf der Methode Taktplanung und Taktsteuerung auf und bezieht die Weiterentwicklung mit ein, da diese Methode einen sehr strukturierten Datenaufbau bietet und beide Flussperspektiven abbildet. Die gewählte TPTS Methode wird in den folgenden Abschnitten aus theoretischer und praktischer Sicht näher beleuchtet.

3.3 Taktplanung

3.3.1 Übersicht

Die Taktplanung bildet das erste Element der Methode. Dabei wird der Bauablauf im Rahmen der Ausführungsplanung definiert. Für die Taktplanung sind einige Vorgehensweisen beschrieben. Für die weitere Ausarbeitung wird das Vorgehen von Binninger et al. (2018) ausgewählt. Die Taktplanung kann dabei in fünf Schritte eingeteilt werden: Abbildung 17 zeigt die fünf Schritte in der Übersicht. Das im Folgenden beschriebene Vorgehen wurde bereits mehrfach durch den Verfasser dieser Arbeit veröffentlicht. Die Quellen Binninger u. a. 2017a und Binninger und Wolfbeiß 2018a weisen eine unterschiedliche Anzahl an Schritten auf, unterscheiden sich aber primär nur im Detaillierungsgrad. Als Vergleich sind den fünf Schritten aus der Abbildung 17 die zwölf Schritte aus der Veröffentlichung ‚Technical Takt Planning and Takt Control in Construction‘ (Binninger u. a. 2017a) gegenübergestellt.

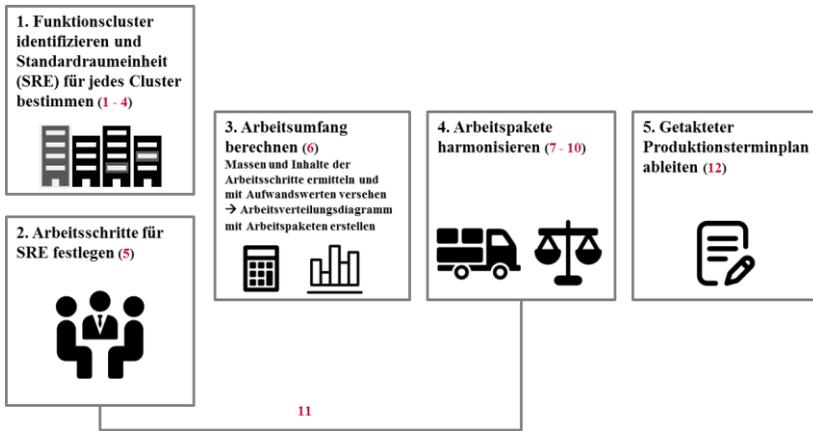


Abbildung 17: Schritte der Taktplanung (vgl. Binninger und Wolfbeiß 2018a, S. 166)

Im ersten Schritt werden das Bauwerk und seine Struktur analysiert, in Funktionscluster und Standardraumeinheiten (SRE) eingeteilt und priorisiert. Funktionscluster bezeichnen Bereiche eines Gebäudes, die einen ähnlichen Baustandard und somit ähnliche Bauprozesse beinhalten. Die einzelnen Funktionscluster, wie beispielsweise der Innenausbau von bestimmten Bereichen, werden nun detailliert betrachtet und das Wiederholelement im Bauwerk gesucht. Dieses sich wiederholende Element wird als Standardraumeinheit bezeichnet. Eine Standardraumeinheit stellt dabei eine ‚nicht-teilbare‘ Fläche dar, die sich im Laufe des Bauvorhabens wiederholt. Es werden beispielsweise Wohnungen, Räume, Pflegezimmer inkl. Bad oder Bauwerksabschnitte im Bürobau als SRE identifiziert. Die Wahl der SRE erfolgt in den Workshops mit dem Projektteam. Dabei können in einem Bauvorhaben auch mehrere SRE vorkommen. Die Praxisbeobachtungen zeigen, dass die Wahl eine Abwägung zwischen Genauigkeit und Arbeitsaufwand ist. Je genauer die SRE gegliedert sind, desto genauer kann die Taktung berechnet werden. Der Aufwand steigt dadurch an. Die SRE sind somit ein Hilfsmittel, um nicht das gesamte Bauvorhaben mit jedem einzelnen Raum zu berechnen. Die Benennung in SRE wird erstmalig durch Haghsheho et al. (vgl. 2016, S. 57) erwähnt. Im zweiten Schritt wird je SRE eine sehr kleinteilige Arbeitsprozesskette in Form von einzelnen Arbeitsschritten gemeinsam im Projektteam festgelegt. Die Prozessabfolge

wird maßgeblich durch die projektspezifischen Besonderheiten, die Erfahrungen der Projektteams, Wissen aus den letzten Projekten und unternehmensinternen Standards beeinflusst. Dabei werden teilweise mehrere Hundert Arbeitsschritte für den Innenausbau aufgelistet. Die ersten beiden Schritte werden in der Praxis sehr häufig auch als Prozessanalyse bezeichnet. Im dritten Schritt werden die Informationen aus Schritt 1 und 2 kombiniert und die Arbeitsinhalte sowie geometrischen Massen spezifisch ermittelt. Beispielsweise wird für den Arbeitsschritt ‚Gipskartonplatten anbringen‘ die Fläche der Trockenbauwand in der Einheit m^2 berechnet. Mit Hilfe der hinterlegten Aufwandswerte wird eine Zeit pro Arbeitsschritt berechnet. Das Ergebnis wird im Arbeitsverteilungsdiagramm mit Zeitaufwänden und der Zuordnung zu Arbeitspaketen festgehalten. Ebenfalls werden erste Taktbereiche definiert.

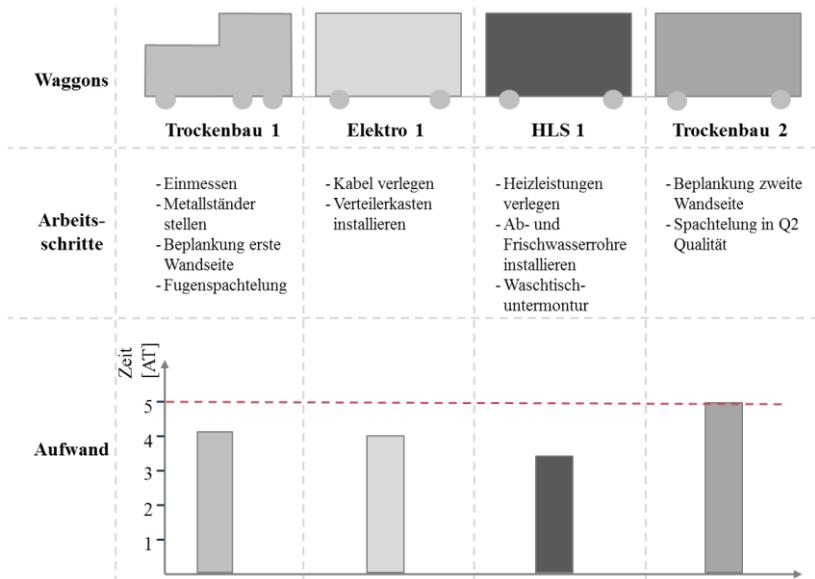


Abbildung 18: Zugdarstellung mit Waggons inkl. Arbeitsverteilungsdiagramm

Abbildung 18 zeigt ein Beispiel eines Verteilungsdiagramms inkl. der Zugdarstellung und Waggons. Die Arbeitspakete werden den Gewerken zugeordnet. Die Wahl der Arbeitspakete ist stark durch die historische Entwicklung im

Bauwesen und der Markt- sowie Vergabestruktur des Unternehmens geprägt. So wird die Wand aus Gipskartonplatten beispielsweise dem Trockenbauer zugeordnet. Im vierten Schritt wird das System harmonisiert, um in Schritt 5 den Produktionsterminplan abzuleiten. Bei der Harmonisierung werden Taktzeit, Taktbereich und Prozess so miteinander verzahnt, dass ein optimaler Ablauf aus Sicht der Kunden- und Produktionsanforderungen besteht. Hierbei muss eine der Größen als Zielgröße bestimmt werden. Bei der Taktplanung ist dies die Taktzeit. Somit wird der Zeitaufwand der einzelnen Arbeitspakete auf die festgelegte Taktzeit angepasst. An dieser Stelle finden eine Festlegung der Taktbereichsgröße sowie sehr häufig eine Überarbeitung der verteilten Arbeitsschritte auf die Arbeitspakete statt. Es beginnt ein iteratives Verfahren zur Bestimmung des besten Ergebnisses, das in einem Arbeitsverteilungsdiagramm (siehe Abbildung 18) dargestellt wird. Darüber hinaus können mehrere Arbeitspakete überlappt und in einem Waggon platziert werden.

Das Ergebnis ist ein auf die Taktzeit möglichst harmonisierter Ablauf mit festgelegten Arbeitspaketen. Jedoch ist es schwierig, im Arbeitspaket die volle Taktzeit auszuschöpfen, da die Gewerkegrenzen beachtet werden müssen. Dieses Ergebnis wird im letzten Schritt in einem Produktionsterminplan in Form eines Taktplans dargestellt. Auf die Darstellungsform und die Besonderheiten wird in Kapitel 3.5.2 eingegangen.

Die Qualität der Taktplanung wird durch die richtige Wahl sowie Zusammensetzung der Eingangsgrößen Taktbereich, Taktzeit, Aufwandswert und Personalstärke beeinflusst. Die folgenden Unterkapitel beschreiben jeweils die einzelnen Eingangsgrößen.

3.3.2 Ermittlung der Grunddaten

Die TPTS Methode ist ein Produktionsplanungs- und -steuerungsansatz, der im Grundgedanken sehr nahe an der stationären Produktion liegt. Hierbei sind stabile Rahmenbedingungen notwendig. Da im Bauwesen dynamische Bedingungen herrschen, wird hierfür eine Vorlaufzeit zur Stabilisierung und Vorhersehbarkeit angestrebt. Dies bedeutet, die Taktplanung sollte sehr früh erstellt werden. Zu diesem Zeitpunkt sind die Nachunternehmer und deren Know-how

in der Praxis häufig noch nicht für das Projekt vorhanden, da das deutsche Vergabesystem eine andere Vorgehensweise anstrebt. Um die Grunddaten wie Aufwandswerte, Massen und Personalstärke dennoch für die Planung richtig zu wählen, ist ein systematisches, standardisiertes und projektübergreifendes Lernen notwendig.

Wie im dritten Schritt beschrieben, erfolgt die Ermittlung der Arbeitsleistung aus der Gebäudegeometrie in Form einer Mengen- und Massenberechnung. Die Ermittlung findet im Zuge der Architektenplanung statt. Kommt es zu Änderungen, sollten diese Massen berücksichtigt werden. Die größte Herausforderung liegt in der Differenz zwischen der traditionellen Abrechnungsmenge und der tatsächlichen Prozessmenge, die hier Verwendung findet. So wird beispielsweise die Masse des Trockenbauers nicht in einem Quadratmeter fertige Trockenbauwand inkl. aller Teilleistungen berechnet, sondern auf verschiedene Arbeitsschritte wie ‚Wand einseitig stellen‘, ‚Beplanken‘, ‚Verspachteln‘ und ‚Wand schließen‘ aufgeteilt.

Die Aufwandswerte zur Berechnung des Arbeitsumfangs können laut der Literatur über folgende Quellen ermittelt werden (vgl. Bauer 1992, S. 475 f; vgl. Würfele u. a. 2017, S. 53 f.):

- ⇒ Literaturangaben wie Arbeitszeit-Richtwerte Hochbau (ARH-Tabellen)
- ⇒ Arbeitsstudien
- ⇒ Nachkalkulation
- ⇒ Schätzung durch Erfahrungswerte

Zuvor war von einem projektübergreifenden Lernen die Rede. Sind im ersten Projekt noch keine Aufwandswerte vorhanden, so sollten die Werte durch eine **Schätzung** festgelegt und das Wissen der NU genutzt werden. Ist noch kein NU vorhanden, so können Aufwandswerte aus der **Literatur** herangezogen werden. Diese basieren im Regelfall auf empirischen Daten und beinhalten Randstunden und Zuschläge (vgl. Kochendörfer u. a. 2010, S. 117). Die Randarbeiten wie beispielsweise Aufbau der Baustelleneinrichtung oder Reinigungsarbeiten können mehr als 15 % der jeweiligen Arbeitszeit binden (vgl.

Berner 1983, S. 23 f.). Somit wird nicht die reine Wertschöpfung, sondern auch ein Verschwendungsanteil einberechnet. Um ein systematisches projektübergreifendes Lernen zu integrieren, kann ein rollierendes System eingeführt werden. Die Aufwandswerte und Erkenntnisse werden in einer Datenbank gespeichert und dienen als Grundlage für das nächste Projekt. Das System wird durch regelmäßige **Arbeitsstudien** überprüft. Beispielsweise können die Aufwandswerte durch Einzelzeitaufnahmen, bei denen ein Arbeitsschritt bzw. Vorgang aufgenommen wird, ermittelt werden. Multimomentaufnahmen zur Häufigkeitsverteilung von Verschwendung und Wertschöpfung ergänzen die Arbeitsstudien. Arbeitsstudien bieten den Vorteil einer sehr hohen Datengenauigkeit (vgl. Bauer 1992, S. 476). Dennoch sind projektspezifische Anpassungen notwendig (vgl. Kochendörfer u. a. 2010, S. 117), da in den Arbeitsstudien nur singuläre Betrachtungen unter spezifischen Randbedingungen durchgeführt werden. Wechselt beispielsweise der Nachunternehmer sein Personal oder seine Maschinen aus, so müsste eine kritische Hinterfragung der Aufwandswerte stattfinden. Da das Bauwesen über sehr dynamische Rahmenbedingungen verfügt, müssen die Aufwandswerte einer regelmäßigen Kontrolle oder **Nachkalkulation** unterliegen. Mit vielen Aufnahmen kann eine hohe Genauigkeit erzielt werden. Der hohe Aufwand steht dem allerdings entgegen und lässt eine regelmäßige Aufnahme in der Praxis kaum zu.

3.3.3 Festlegung der Taktbereiche

Die Festlegung der Taktbereiche ist ein iterativer Prozess und stark vom Bauvorhaben und dessen Geometrie abhängig. Dennoch können über den Standardraumsatz Gemeinsamkeiten gefunden werden. Hierfür wird das Gebäude in den ersten Schritten der Methode räumlich strukturiert und in SRE eingeteilt. Eine oder mehrere SRE werden während der Harmonisierung in Schritt vier zu einem Taktbereich zusammengelegt. Dieser Schritt trägt zur Nivellierung bei. Ein Beispiel in Abbildung 19 dient der Erläuterung. Es handelt sich hier um ein Mehrfamilienhaus mit verschiedenen Wohnungstypen. Die gewählte Taktbereichseinteilung in Form der Grundfläche, Anzahl der Bäder und Wohnungen wird miteinander verglichen (vgl. Binninger und Wolfbeiß 2018b, S. 138).

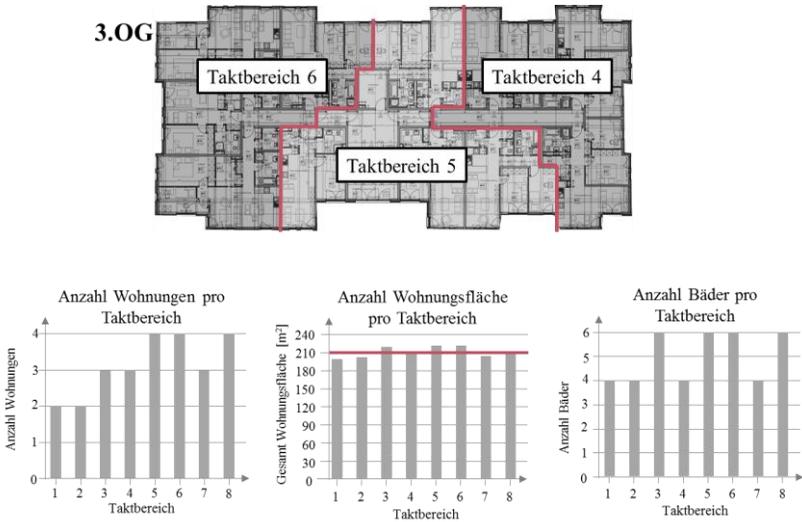


Abbildung 19: Beispiel zur Festlegung der Taktbereiche
(vgl. Binninger und Wolfbeiß 2018b, S. 138)

Wie in Abbildung 19 (mittleres Diagramm im unteren Teil) zu sehen ist, wird eine Taktbereichsgröße von ca. 210 m² gewählt. Es sind kleinere Schwankungen zwischen den Flächen vorhanden, die allerdings unter 10 % liegen. Die Abweichungen bei einigen Taktbereichen lassen sich über eine geringe Arbeitszeitanpassung oder durch vorhandene Puffer auffangen. Die Anzahl der Wohnungen und Bäder ist in diesem Praxisbeispiel nicht das ausschlaggebende Kriterium für die Harmonisierung, da das zweite Bad je Wohnung sehr klein ist. Auch hier lässt sich der Mehraufwand durch Nutzung eingeplanter Pufferzeiten ausgleichen. In der Praxis wird der Vorgang der Taktbereichsfestlegung mit dem Projektteam abgestimmt und die wesentliche Zielgröße zur Optimierung definiert.

3.3.4 Festlegung der Taktzeit

Wie in Kapitel 2.4.3 beschrieben, wird die Taktzeit einerseits vom Kunden und dem Markt beeinflusst, andererseits gibt es innerbetriebliche und produktionsrelevante Abhängigkeiten. Die Differenz der beiden Betrachtungsweisen wird in der stationären Produktion über Wartezeiten oder Zwischenlager abgefangen.

Betrachtung und Berechnung aus der Kundenperspektive sind im Bauwesen selten direkt vorhanden. Dennoch wird eine mögliche Abwicklung kurz erläutert und die Umstände für die nicht vorhandene Anwendung aufgelistet. Die Kundennachfrage ist sehr unregelmäßig und langzyklisch, da die Anfragen in Form von Projekten abgewickelt werden. Somit stellt sich kein wöchentlich gleichmäßiger Auftragseingang ein. Tatsächlich kommt es durch nicht standardisierte Nachfragepakete und die Abwicklung in Form von individuellen Projekten zu einer unausgeglichene Produktion. Es entsteht Mura, das als Oberbegriff im Japanischen für einen unausgeglichene Produktionszustand steht (vgl. Helmold und Terry 2016, S. 126).

Aus der Kundenperspektive bekommt ein Generalunternehmer durch die schlüsselfertige Abwicklungsform in einem Werkvertrag nur Meilensteine mit Enddaten vorgegeben. In der Praxis ist dies häufig ein Fertigstellungstermin für das Bauprojekt oder einzelne Abschnitte. Die Detaillierung des Ablaufplans obliegt dem Generalunternehmer. Durch die Ableitung verschiedener Meilensteine können zeitliche Vorgaben für einzelne Funktionscluster festgelegt werden. Durch folgende Formel kann die Kundentaktzeit für ein spezielles Funktionscluster berechnet werden:

$$\begin{aligned} & \text{Kundentaktzeit [AT]} \\ = & \frac{\text{Vorhandene Zeit für Funktionscluster [AT]} - \text{Puffer[AT]}}{\text{Taktbereiche [-]} + \text{Waggons [-]} - 1} \end{aligned}$$

Formel 5: Berechnung der Kundentaktzeit für ein Funktionscluster

Die Formel basiert auf der Grundformel von Nezval (1960, S. 42), die auf Seite 85 näher erläutert wird. Ein Praxisbeispiel verdeutlicht den Zusammenhang.

Durch die Detaillierung der Kundenvorgaben wird die vorhandene Zeit für das Funktionscluster auf 140 Arbeitstage festgelegt. Erfahrungsgemäß muss ein Puffer von 20 Arbeitstagen für diese Projektart eingebaut werden. Das Bauvorhaben wird in 24 Taktbereiche eingeteilt und für den Ausbau ist ein Gewerkezug mit 18 Waggons notwendig. Somit ergibt sich eine Taktzeit von 2,44 Arbeitstagen. Nun müssten die Vorgänge entsprechend der Taktzeit angepasst werden.

$$\text{Taktzeit [AT]} = \frac{120 \text{ [AT]} - 20 \text{ [AT]}}{24 \text{ [-]} + 18 \text{ [-]} - 1} = 2,44 \text{ [AT]}$$

Berechnungsbeispiel der Kundentaktzeit

In der Praxis ist häufig ein umgekehrtes Vorgehen vorhanden. Die Taktzeit wird vielmehr durch baupraktische und anwendungstechnische Rahmenbedingungen bestimmt. Ausschlaggebend für die praktische Anwendung aus Sicht eines Generalunternehmens ist die Bottom-up-Betrachtung. Ein Indiz dafür ist, dass in Literaturrecherchen nur ganzzahlige Taktzeiten in Form von Tagen festgestellt werden konnten. Taktzeiten von 3,75 Tagen oder 6,3 Stunden sind dem Verfasser im Bauwesen nicht bekannt und wahrscheinlich in der Praxis aktuell kaum realisierbar. In der Praxis würde für dieses Beispiel eine Taktzeit von zwei Tagen und eine SRE pro Taktbereich gewählt werden. Diese Wahl würde die Pufferzeit auf 38 Arbeitstage vergrößern. Die persönlichen Erfahrungen des Verfassers und die Literaturquellen zeigen einen Schwerpunkt in der Umsetzung auf einen Wochentakt. Um das angeführte Beispiel auf eine Taktzeit von einer Woche anzupassen, muss die Losgröße auf vier SRE pro Taktbereich erhöht werden. Dieser Schritt verkleinert den Puffer auf 15 Arbeitstage.

Der Takt von einer Woche bietet in der Praxis folgende Vorteile (vgl. Binninger u. a. 2016a, S. 10; vgl. Binninger und Wolfbeiß 2018b, S. 137):

- ⇒ Innerhalb der Woche besteht ausreichend Zeit auf Störungen zu reagieren.
- ⇒ Das Wochenende kann als Puffer bzw. der Samstag als ein Puffertag genutzt werden.
- ⇒ Es tritt ein psychologischer Effekt ein, sodass im Biorhythmus bis zum Wochenende die Arbeiten erledigt werden müssen, bevor die zwei freien Tage beginnen.
- ⇒ Regelarbeitstage von acht Stunden können ausgedehnt werden.
- ⇒ Innerhalb der Woche besteht ausreichend Reaktionszeit, um anstehende Probleme zu lösen.
- ⇒ Personalstärke kann innerhalb der Woche reduziert oder erhöht werden.

Kaiser (vgl. 2013, S. 113) empfiehlt ebenfalls einen Wochentakt und rät aus eigenen Erfahrungen von einer Taktzeit kleiner als zwei Tagen ab. Die später in der Arbeit aufgezeigten Beispiele haben unterschiedliche Taktzeiten. Eine Recherche ergibt ein ähnliches Bild. Dennoch ist in der Praxis der Wochentakt auf Baustellen weit verbreitet. Kürzere Taktzeiten als eine Woche werden einzeln eingesetzt und sind bereits in einigen Veröffentlichungen publiziert. Sehr kurze Taktzeiten wie ein Stundentakt (Dlouhy u. a. 2017) oder ein 15 Minuten-Takt (Heinonen und Seppänen 2016) sind die Ausnahme. Solche kurzen Taktzeiten werden bisher nur bei sehr speziellen Projekten wie einem Supermarkt und in der Schiffsbaubranche eingesetzt. Hier sind sehr stabile Prozesse, ein erfahrendes Projektteam und ein passendes Produkt notwendig.

3.3.5 Harmonisierung

Die Gesamtdauer des Arbeitsschrittes wird durch die Multiplikation der Arbeitsmenge mit dem Aufwandswert ermittelt (vgl. Würfele u. a. 2017, S. 55). Die Arbeitsschritte werden zu Arbeitspaketen addiert und Gewerken zugewiesen. Das Ergebnis aus Schritt 3 (Abbildung 17) ist ein Arbeitsverteilungsdiagramm. Ein Beispiel hierfür ist in Abbildung 20 dargestellt.

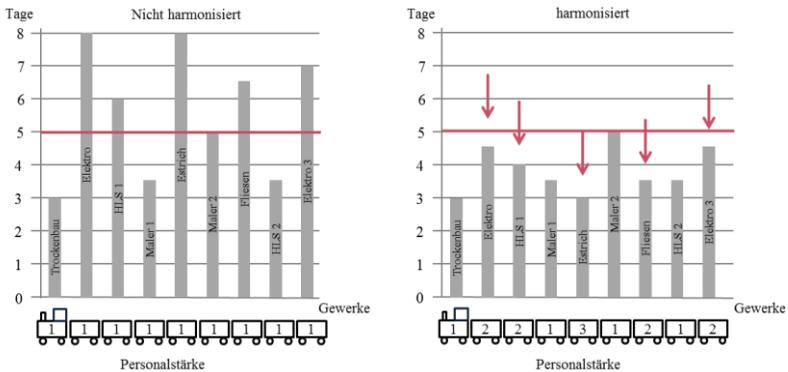


Abbildung 20: Arbeitsverteilungsdiagramm (vgl. Binniger und Wolfbeiß 2018a, S. 168)

Auf der linken Seite ist ein Diagramm mit sehr unterschiedlichen Arbeitsdauern abgebildet. In Schritt 4 der Methode werden die Gesamtdauern pro Arbeitspaket so angepasst, dass diese zur gewählten Taktzeit passen. Dieser Schritt wird als Harmonisierung oder Nivellierung bezeichnet (siehe Abbildung 20 rechts). Ziel der Harmonisierung ist die planerische Angleichung der einzelnen Arbeitspakete an die Taktzeit, um die einzelnen Handwerker vollständig und kontinuierlich auszulasten (vgl. Binniger u. a. 2016b, S. 57). Für die Angleichung der Dauern an die Taktzeit gibt es verschiedene Möglichkeiten. Der Hauptstellhebel ist die Anpassung der Mitarbeiterstärke in den einzelnen Gewerkekolonnen. Weitere Möglichkeiten bietet die Wahl der Verarbeitungsverfahren oder von Optimierungen im Ablauf. (Binniger u. a. 2016b, S. 56 ff.) Darüber hinaus können die Arbeitsschritte in den Arbeitspaketen neu verteilt werden. Die gewachsenen Grenzen zwischen den Gewerken sollten in der Praxis berücksichtigt werden und schränken diesen Schritt teilweise ein. Beispielsweise ist es in der Praxis kaum möglich dem Gewerk Trockenbau auch Teilaufgaben aus dem Fachbereich Elektro zuzuordnen. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Gewerke durch Ausgleichsarbeiten (workable backlogs (vgl. Hamzeh u. a. 2008, S. 649; vgl. Seppänen 2014, S. 727)) in nicht getakteten Bereichen auszulasten. (Haghsheno u. a. 2016, S. 59 f.) Die Praxisbeobachtungen des Verfassers zeigen darüber hinaus, dass mehrere Arbeitspakete in einen Waggon zusammengefasst werden. Beispielsweise wird die

Endinstallation Heizung und Sanitär zusammengelegt, um den Arbeitsbereich effizienter auszufüllen. In der Praxis wird dies als Waggonisierung bezeichnet (vgl. Binninger und Dlouhy o. J., S. 109).

Abbildung 21 zeigt einen Zug sowie die zeitliche Füllung der Waggon. Die Füllung kann in die Anteile Wertschöpfung, Verschwendung und Puffer eingeteilt werden. Unter Puffern werden dabei notwendige Verschwendungen verstanden.

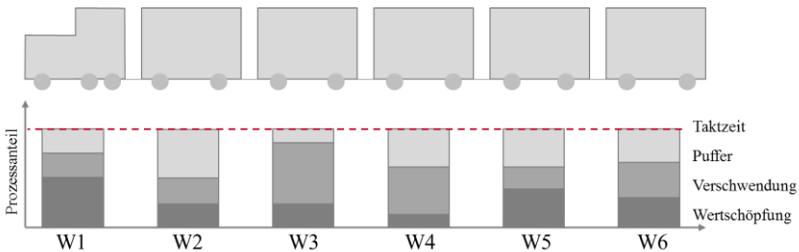


Abbildung 21: Waggonisierung mit Auslastung

Eine vollständige Anpassung auf die Taktzeit und somit Eliminierung der Pufferzeit ist in der Praxis kaum möglich und unter den aktuellen Rahmenbedingungen der Baustellenabwicklung auch nicht erstrebenswert. Der Einbau von Puffern zwischen benötigter Zeit und Taktzeit stabilisiert das System und ein gezielter Einsatz dieser Puffer scheint somit notwendig.

Abschließend kann gesagt werden, dass die Taktplanung die Grundlagen für den Bauablauf legt. In der Taktplanung werden die Taktzeit, der Ort sowie deren Füllung und Inhalte definiert. Dies bekräftigt die Annahme der Mehrdimensionalität des Taktes.

3.4 Taktsteuerung

3.4.1 Übersicht

Die Taktsteuerung, als zweites Element der TPTS Methode, wird in diesem Kapitel erläutert. Bisher gibt es kaum Literaturquellen, die die Steuerung detailliert beschreiben. Daher bringt der Verfasser in diesem Kapitel erste eigene Erfahrungen ein. Ziel der Taktsteuerung ist es, den geforderten Leistungsstand verschwendungsfrei zum Ende der Taktzeit zu erreichen, da weitere Arbeitspakete zu Beginn der neuen Taktzeit beginnen. Die schwankende Arbeitslast und die eingesetzten Puffer innerhalb der Taktzeit (siehe Kapitel 3.3) müssen detailliert beobachtet und gesteuert werden, um Aufschaukelungseffekte im System zu vermeiden. Die Steuerung eines getakteten Ablaufs nimmt folglich eine zentrale Rolle für die Stabilisierung ein. Regelmäßige Treffen mit den Handwerkern unterstützen eine Abstimmung innerhalb der Taktzeit (vgl. Kaiser 2013, S. 119 ff.). Als Hilfsmittel dient eine Visualisierungstafel, die auch als Taktsteuerungstafel bezeichnet wird. Einige Elemente, der im folgenden Abschnitt vorgestellten Anwendung, entspringen dem Shopfloor-Management (vgl. Peters 2009) und werden an die Baubranche angepasst.

Die Besprechungen zwischen der Bauleitung (BL) und den NU finden in der Praxis meist täglich statt. Neben einer Feststellung des Ist-Zustandes werden zusätzlich gemeinsam Maßnahmen für die festgestellten Abweichungen definiert. Darauf aufbauend werden die anstehenden und zukünftigen Aufgaben geplant. Die Besprechung dauert wenige Minuten. Die Kommunikation nimmt hierbei eine entscheidende Rolle ein. Die Ziele sind ein offener Austausch und eine konstruktive Atmosphäre, um nachhaltige Lösungen zur kontinuierlichen Verbesserung zu finden. Die Visualisierungstafel auf der Baustelle hält die Ergebnisse fest. Die Tafeln enthalten weiterhin Angaben zum Bauablauf, Kennzahlen und Bewertungen, Informationen sowie Maßnahmen. Die Besprechungen an den Tafeln finden an einem zentralen und frei zugänglichen Ort auf der Baustelle statt. Die erhobenen Daten sind somit für alle Beteiligten jederzeit einsehbar.

Die Basis zur Steuerung ist der Taktplan. Bei Abweichungen vom Taktplan

müssen Maßnahmen zur Regulierung ergriffen werden. Einige der Maßnahmen können zu starken Anpassungen des Taktplans führen. Im linken Teil der Abbildung 22 ist ein Taktplan im Ursprungsstatus dargestellt. Der rechte Taktplan beinhaltet die Einflüsse und Änderungen aus der Taktsteuerung.

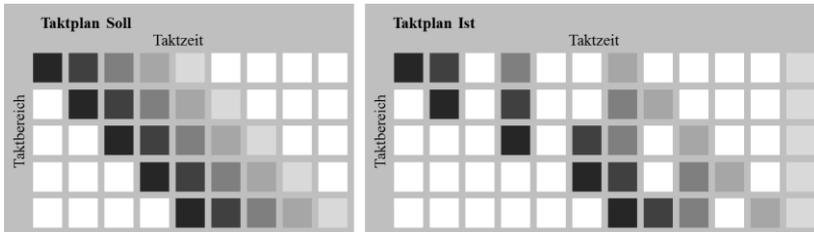


Abbildung 22: Schematische Darstellung von Soll-Taktplan und Ist-Taktplan

Die Störungen und resultierenden Anpassungen im Taktplan können Auswirkungen auf Bauzeit, Auslastung und den Arbeitsfluss der Beteiligten haben.

3.4.2 Steuerungsmöglichkeiten

Getaktete Systeme bieten durch ihre Systematik verschiedene Möglichkeiten den Bauprozess durch Maßnahmen zu steuern. Bereits in einem Beitrag auf der IGLC-Konferenz 2017 beschreibt der Verfasser der Arbeit Steuerungsmöglichkeiten, die in der Praxis eingesetzt werden (Binninger u. a. 2017c, S. 616 f.). Tabelle 3 zeigt einen Auszug der am häufigsten beobachteten Möglichkeiten in der Baupraxis. Die Tabelle benennt die beobachteten Möglichkeiten und teilt den Einsatz in die Taktplanung und -steuerung auf. Eine Beschreibung der Möglichkeiten sowie der Effekte ergänzen diese Tabelle.

Tabelle 3: Steuerungsmöglichkeiten (vgl. Binnering u. a. 2017c, S. 616 f.)

Nr.	Name	Planung Steuerung		Beschreibung	Effekt
1	Zugstopp	X		Anhalten des kompletten Bauprozesses	Verlängerung der Bauzeit
2	Auskopplung Taktbereich	X	X	Neuordnung der Reihenfolge der Taktbereichsbearbeitung	Änderung der Flächenreihenfolge
3	Waggonbeschleunigung	X	X	Um der Taktzeit zu genügen, kann ein Waggon im Detail optimiert werden	Harmonisieren der Prozesssequenz (Normlevel); Verkürzung der Bauzeit
4	Zugsequenzsplit	X	X	Die Bausequenz wird geteilt, da es Bedingungen für die Fortsetzung der Arbeiten gibt	Verlängerung der Bauzeit
5	Zugsplit	X	X	Mehrere Züge mit einer ähnlichen Sequenz durchlaufen die Baustelle parallel	Verkürzung der Bauzeit
6	KIT Move (Waggonisierung)	X		Wird die Taktzeit durch ein Arbeitspaket nicht ausgenutzt, kann ein Waggon mehrere AP enthalten	Harmonisieren der Prozesssequenz; Verkürzung der Bauzeit
7	An- und Einkoppeln	X	X	Bei Änderung der Prozesssequenz werden Waggon eingefügt oder angehängt	Verlängerung der Bauzeit
8	Softstart	X		Gibt es mehrere Züge, starten diese versetzt zueinander, damit vom ersten Zug gelernt werden kann	Verlängerung der Bauzeit, Stabilisierung des Bauprozesses

Fortsetzung Tabelle 3:

9	Kaltstart	X	Gibt es mehrere Züge, starten diese zur gleichen Zeit	Verkürzung der Bauzeit
10	Taktbereichsverkleinerung	X (X)	Taktbereich wird verkleinert.	Anzahl der Wiederholungen wird erhöht
11	Taktbereichsvergrößerung	X (X)	Taktbereich wird vergrößert	Anzahl der Wiederholungen wird verringert
12	Taktzeitreduzierung	X X	Taktzeit wird reduziert (verkürzt)	Schnellere Weitergabe der Arbeitspakete
13	Taktzeiterhöhung	X X	Taktzeit wird verlängert	Langsamere Weitergabe der Arbeitspakete
14	Waggon-sprung	X	Ein Waggon springt an eine andere Position in der Prozesssequenz	Optimieren der Prozesssequenz
15	Waggon-wechsel	X X	Tauschen der Position mindestens zweier Waggons in der Prozesssequenz	Optimieren der Prozesssequenz
16	Arbeitspaketsprung	X	Reallokation eines Arbeitspaketes in einen anderen Waggon	Optimieren der Prozesssequenz
17	Arbeitspaket-wechsel	X	Tausch von Arbeitspaketen zwischen Waggons	Optimieren der Prozesssequenz
18	Leerwaggon	X X	Planung von Pufferzeiten; beispielsweise Trocknungszeiten	Visualisierung erforderlicher Puffer; Verlängerung der Bauzeit

Fortsetzung Tabelle 3:

19	Phasenverzahnung	X		Verschiedene Prozessphasen können unterschiedliche Taktbereichsgrößen verlangen; eine Anpassung dieser Unterschiede erzeugt Effizienzvorteile	Optimieren des Bauprozesses
20	Abnahmeverzahnung	X	X	Für die Abnahmen können mehrere Taktbereiche zusammengefasst werden, um sinnvolle Flächen zu bilden	Bündelung von Taktbereichen zur Abnahme und Übergabe
21	Nutzen starrer Puffer	X		Nutzen der Puffer am Ende der Sequenz / des Zuges	Puffer wird aufgebraucht, Baustellenprozess stabilisiert
22	Einsatz von starren Puffern	X		Planung der Puffer am Ende der Sequenz / des Zuges	Puffer wird eingebaut, Baustellenprozess soll stabilisiert werden
23	Multizug-nivellierung	X		Arbeiter und Gewerke bedienen mehrere Züge und können sich so besser ausgleichen	Stabilisierung und Optimierung des Bauprozesses
24	Arbeitspaketbeschleunigung	X		Arbeitspakete werden innerhalb eines Waggons gezielt optimiert	Optimieren der Prozesssequenz auf Mikroebene
25	Waggonüberlappung	X	X	Folgewaggons starten vor dem Ende des vorhergehenden Waggons	Optimieren der Prozesssequenz
26	Waggonparallelisierung	X	X	Simultane Bearbeitung von Waggons	Optimieren der Prozesssequenz

Einige Möglichkeiten aus dem ursprünglichen Beitrag werden für diese Arbeit nicht berücksichtigt, da diese die Eigenschaft ‚Fluss‘ nicht beeinflussen.

3.4.3 Steuerung der Arbeitspakete aus Ressourcenperspektive

In der herkömmlichen Ablaufplanung der Baustellen genießen die Nachunternehmer bisher viele Freiheiten hinsichtlich der Detailplanung, da sehr häufig lediglich ein Start- und Enddatum in Form eines langen Balkens im Gantt-Chart vorgegeben werden. So kann jedes Gewerk in der für sich optimierten Baugeschwindigkeit sein Aufgabengebiet fertigstellen. Zwischen den Gewerken entstehen demnach zeitliche Puffer. Die enge Verzahnung, Systematisierung und Reduzierung der Puffer durch die TPTS Methode erfordert zwingend ein Abgleich zwischen den Handwerkern. Die einzelnen Unternehmen müssen so abgerufen werden, dass die notwendige Vorleistung beendet ist, die eigene Leistungserbringung in der Taktzeit vollendet wird und dass die Nachunternehmer durchgängig ausgelastet sind. Schafft ein Nachunternehmer seine Leistung nicht und die Taktzeit weicht daher ab, muss reagiert werden. Abbildung 23 stellt diesen Zustand beispielhaft dar.

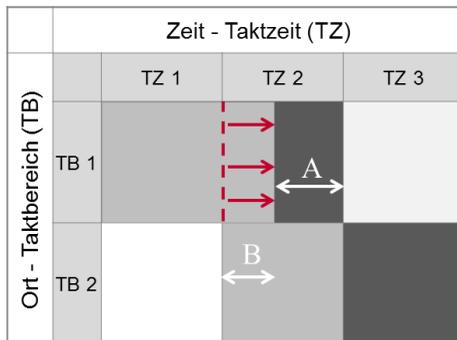


Abbildung 23: Beispiel einer Abweichung von der Taktzeit

Die Abweichung (rot markiert) betrifft auf der einen Seite den nachfolgenden Waggon (Fall A). Auf der anderen Seite führt die Abweichung zu einer Doppelbelastung des auslösenden Gewerks im nächsten Waggon (Fall B). Ziel ist es, die Auswirkungen der Störung so lokal und gering wie möglich zu halten. Bis zur nächsten Taktzeit (TZ 3) sollte der Leistungsstand wieder erreicht sein, sodass weitere Vorgänge und Taktbereiche nicht betroffen werden.

Es gibt mehrere Möglichkeiten, in der Praxis auf den oben beschriebenen Zustand zu reagieren. Es sollte angestrebt werden, gemeinsam mit den Gewerken, die direkt durch die Abweichung betroffen sind, eine Lösung zu finden. Auf den in Abbildung 23 dargestellten Fall kann in der Praxis wie folgt reagiert werden:

- ⇒ Sind alle Vorgänge ausgelastet, so können die Ressourcen in Form der Kolonnenstärke aufgestockt werden. Diese Maßnahme erzeugt eine Beschleunigung des Bauprozesses und der Takt wird eingehalten. Hier greift Möglichkeit 3 – die Waggonbeschleunigung aus Tabelle 3.
- ⇒ Sind die Prozesse nur teilweise ausgelastet, so beginnt der hellgraue Waggon in TB 2 erst nach der Fertigstellung des TB 1. Analoges Vorgehen wird für Fall A angewandt. Benötigt Fall A weiterhin die volle Taktzeit, so muss untersucht werden, ob eine kurzzeitige Waggonparallelisierung oder -überlappung (Steuerungsmöglichkeiten 25 + 26 aus Tabelle 3) in TB 1 und TZ 2 möglich sind.

Sollten die beschriebenen Varianten nicht eingehalten werden, ist es notwendig auf die dritte Taktzeit auszuweichen. Im Extremfall kommt es zu einem Zugstopp (Steuerungsmöglichkeiten 1 aus Tabelle 3) und der Ablauf wird angehalten, um die Probleme zu beseitigen (vgl. Binninger u. a. 2017c, S. 619). Der Zugstopp kann mit einem Bandstopp in der Produktion verglichen werden.

Während des Zugstopps wird das Problem gelöst. Alle nicht involvierten Nachunternehmer können in den nicht-getakteten Bereichen des Bauwerks, den sogenannten ‚Workable Backlogs‘, arbeiten. Alternativ wird auf weitere Züge ausgewichen.

Kommt es im Gegenbeispiel zu einer Unterlast eines Waggons, wird der Vorgang über die Minimierung der Kolonnenstärke im Arbeitspaket verlangsamt. In einigen Fällen ist dies aus organisatorischen und technischen Gründen nur bedingt möglich. Müssen die Nachunternehmer im Extremfall aufgrund von fehlenden Arbeitsmöglichkeiten eine Baustelle verlassen, ist es in der Praxis häufig aufwändig, sie zurückzuholen. Dieser Umstand muss vorab mit den Nachunternehmern besprochen werden.

Die Maßnahmen, die bei Abweichung eingeleitet und abgestimmt sind, sollten von den Beteiligten eingehalten werden, damit das System wieder geordnet werden kann. Hierfür ist eine Sensibilisierung vor Projektstart sinnvoll: Die Nachunternehmer werden durch eine detaillierte Einweisung oder Schulung in den Grundlagen sensibilisiert. (vgl. Kaiser 2013, S. 155)

3.4.4 Steuerung der Arbeitspakete aus Produktperspektive

Das vorangehende Kapitel beschreibt die Steuerung einzelner Arbeitskräfte. Die zweite Perspektive beinhaltet die Kunden- und Produktsicht auf den Prozess, wie durch Shingo und Dillon beschrieben. Die Arbeitspakete und Waggons müssen so durch den Bauablauf gesteuert werden, dass die Auslastung des Produktes maximiert und die Durchlaufzeit reduziert werden. Aus dieser Perspektive heraus wird das Ziel verfolgt, die Wertschöpfung aus Produktsicht zu optimieren. Die Baustellensteuerung nach Kirsch beschreibt diese Betrachtungsweise treffend:

„Die Aufgabe der Ablaufplanung und -steuerung ist es, proaktiv einen Arbeitsfluss zwischen den Produktionseinheiten (d. h. Facharbeitergruppen, Arbeitspaketen, Gewerkegruppen u. ä.) in bestmöglicher Abfolge und Geschwindigkeit zu generieren. [...] Um dies einzuführen ist ein Paradigmenwechsel erforderlich, der von der Kontrolle der einzelnen Arbeiter (Arbeiten) den Blick auf die Steuerung des Arbeitsflusses aus Sicht des Produktes richtet, der die Arbeitspakete miteinander verbindet.“ (Kirsch 2009, S. 205)

Aus der Perspektive des Produktes spielen in der Praxis Trocknungszeiten eine entscheidende Rolle: Trocknungszeiten werden der verdeckten Verschwendung zugeordnet und sollten minimiert werden. Leerwaggons bilden sie in der Taktplanung ab. Im optimalen Fall sind sie durch Arbeitspakete gefüllt, die keine Abhängigkeit zur Trocknung haben. Ein klassisches Beispiel im Innenausbau ist die Estrichtrocknungszeit. Bei einem herkömmlichen Zementestrich ohne Zusätze liegt die Trocknungszeit bei ca. 28 Tagen (vgl. Betontechnik o. J.). Der Zug enthält somit zwischen Bodenbelag und Estricheinbau im Wochentakt vier Waggons, die beispielsweise in Teilbereichen mit dem

Arbeitspaket Wandbeläge (Tapete) gefüllt werden können. Bei ungünstigen Klimabedingungen und einem erhöhten Schichtaufbau des Estrichs kann die Trocknungszeit in der Praxis auch sechs bis zehn Wochen dauern. Wird die Perspektive des Arbeitsflusses aus Sicht des Produktes fokussiert, so muss zur Verbesserung des Flusses die Trocknungszeit reduziert werden. Die Kennzahl ‚Durchlaufzeit‘, die wiederum von der Länge und der Taktzeit des Zuges abhängt, wird durch die entstehenden Lücken ebenfalls negativ beeinflusst. Diese Perspektive bleibt, wie das Zitat von Kirsch bereits anführt und wie Modig und Åhlström (2015) bestätigen, in der Baupraxis häufig unterrepräsentiert. Würde diese Perspektive fokussiert werden, könnte das Potenzial der Durchlaufzeitreduzierung pro Einheit stärker genutzt werden. Rechtliche Hürden⁷, wie eine frühzeitige Übergabe einzelner Einheiten vor dem Allgemeineigentum in einem Wohnkomplex, erschweren diese Potenzialnutzung. Nach geltendem Recht verbleiben die vorzeitig fertiggestellten Wohneinheiten in der Verantwortung des Generalunternehmers. Dies sorgt im Resultat dafür, dass weniger Zwang in der Flusseinhaltung aus Produktsicht herrscht. Würde eine Umstellung der aktuellen Situation erfolgen, könnten einzelne Einheiten schon zu einem sehr frühen Zeitpunkt übergeben und der Vorteil der systematischen Fertigstellung könnte genutzt werden. Aus der Sicht eines Generalunternehmers ist es wichtig, beide Perspektiven sinnvoll zu verbinden.

Würde der Takt als reine Zeitspanne definiert werden, so würde sich die Steuerung auf die Zeit konzentrieren. Das Kapitel zeigt auf, dass sich die Steuerung auf die Inhalte und Zusammensetzung innerhalb der Taktzeit fokussiert. Dies bestätigt die Annahme der Mehrdimensionalität des Taktes.

⁷ Eine Übergabe der einzelnen Einheiten bei einer Realteilung ist möglich. Bei einer Übergabe einzelner Einheiten in einem Wohnkomplex sollte laut der aktuellen rechtlichen Rahmenbedingungen hinsichtlich der Gewährleistung das Allgemeineigentum zuerst abgenommen werden.

3.5 Der Taktplan: Darstellungsform, Messbarkeit und Umgang

3.5.1 Übersicht

Der Taktplan stellt das Ergebnis aus der Taktplanung dar und dient während der Taktsteuerung als Grundlage zur Abwicklung des Bauablaufs. Der Taktplan zeichnet sich durch seine Einfachheit und Verständlichkeit aus. Er ist eine Mischung aus einem Linien- und Balkendiagramm mit sehr speziellen Regeln. Diese Kombination erleichtert den Umgang mit dem Taktplan und ermöglicht eine neue Form der Messbarkeit.

3.5.2 Darstellungsform Taktplan

Der Taktplan basiert auf einem Liniendiagramm und enthält Ansätze des Balkendiagramms. Beide Darstellungsformen wurden bereits in Kapitel 2.3.4 beschrieben. Die Verbindung der beiden Diagramme hin zum Taktplan wird in Abbildung 24 über fünf Stufen hergeleitet.

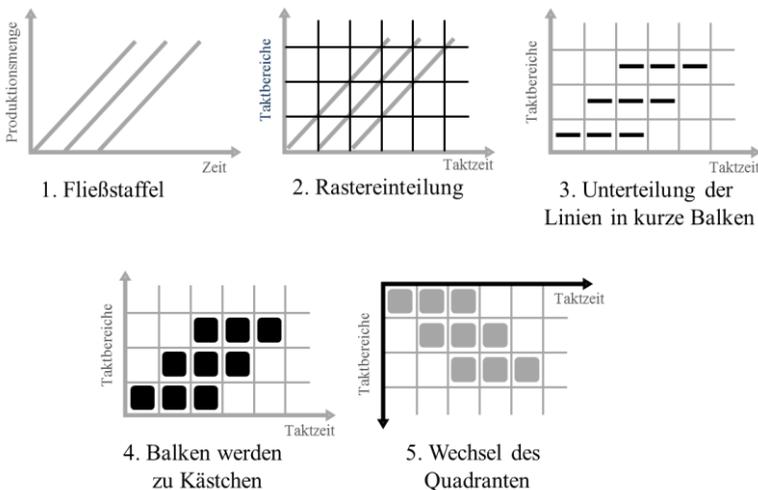


Abbildung 24: Verbindung des Taktplans zum Balken- und Liniendiagramm

Die Fließstaffel nach Schub (1970, S. 5 ff.) bildet die Ausgangsbasis. In Stufe 2 wird eine Rastereinteilung eingebracht. Dieses Raster sorgt für eine Einteilung des Bauwerks in Raum (Taktbereich) und Zeit (Taktzeit) und lässt einen einfach messbaren Arbeitsfluss in diesen Dimensionen entstehen (vgl. Dlouhy u. a. 2016b, S. 15). Die diagonalen Linien werden in der dritten Stufe in kurze Balken eingeteilt. Hier entsteht ein Balkendiagramm, dessen Balken und Vorgänge gleichmäßig eingeteilt sind und die sich im Taktbereich überlappen. In Stufe 4 verändern sich die Balken zu Kästchen, die sich dem Raster anpassen und die Arbeitspakete bzw. Waggons des Zuges widerspiegeln. Diese Kästchen werden in Stufe 5 im vierten Quadranten eines Koordinatensystems angeordnet.

Die Herleitung des Taktplans anhand des Linien- und Balkendiagramms bezieht sich nur auf die Darstellungsformen. Die Logik hinter dem Taktplan lehnt sich stark an die parallele Verzahnung der Vorgänge der Fließstaffel im Liniendiagramm an. Jedoch unterscheidet sich der Taktplan bzgl. seiner Entstehung und dem grundlegenden Verständnis. Bei einem Liniendiagramm werden die einzelnen Vorgänge durchgeplant und anschließend aufeinander abgestimmt. Beim Taktplan wird zunächst das Raster festgelegt und die einzelnen Arbeiten ordnen sich in das Raster ein.

Der Taktplan, als Ergebnis der Taktplanung, ordnet somit den Bauablauf stringent in klare Zeit- und Raumeinheiten ein. Einzelne Wertschöpfungsprozesse sind somit zeitlich und lokal eindeutig definiert. Er kann als neue Darstellungsform neben den Grunddiagrammen Balkenplan, Liniendiagramm und der Terminliste angelehnt an Berner (vgl. 2013a, S. 41) kategorisiert werden. Der Taktplan zählt zu den Location-Based Planungswerkzeugen (vgl. Biotto u. a. 2017, S. 709).

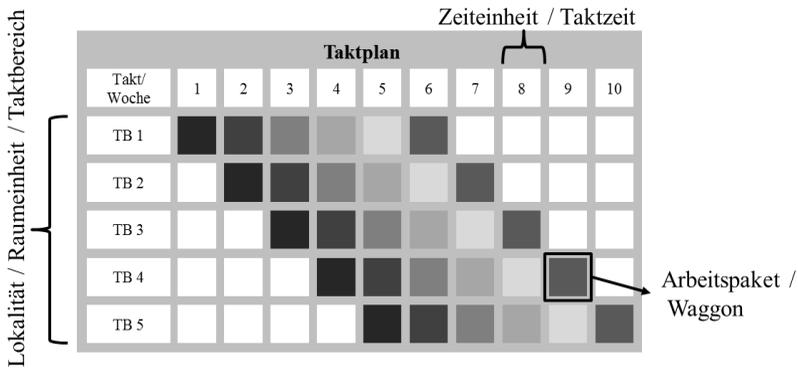


Abbildung 25: Schematisches Beispiel eines Taktplans

Abbildung 25 zeigt ein schematisches Beispiel eines Taktplans. Die Zeiteinheiten sind in Form von Taktzeiten auf der Ordinate abgebildet. Auf der Abszisse ist die Lokalität bzw. Raumeinheit in Form von Taktbereichen abgebildet. Die Vorgänge in den Quadranten sind über einen spezifischen Farbcode den ausführenden Gewerken (NU) zugeordnet und werden als Arbeitspakete bezeichnet, die wiederum zu einem Waggon zusammengefasst werden können. Ein hoher Standardisierungsgrad der Visualisierung lässt einen baustellenübergreifenden Vergleich zu. Kommt es zu einem Wechsel des Bauleitungspersonals, kann die Eingewöhnungsphase verkürzt werden. Ebenfalls kann sich beim NU ein projektübergreifender Lerneffekt einstellen.

3.5.3 Messbarkeit des Taktplans

Getaktete Bauproduktionen weisen einen speziellen Baufortschrittsverlauf auf, der im unteren Diagramm der Abbildung 26 abgebildet ist. Ab der ersten Taktzeit steigt die Leistung auf einen Arbeitswaggon an und der Zug läuft langsam im Gebäude ein. Ab der fünften Taktzeit ist in diesem Beispiel mit fünf Waggon das Produktionsmaximum erreicht und die Produktion im vollem Gange. Nach Taktzeit 7 (n) nimmt der Produktionsumfang wieder ab, da der Zug langsam ausfährt. Die parallele Abwicklung der Fließfertigung beschreibt Nezval (vgl. 1960, S. 44) als Grad der Parallelität. Der entstehende Verlauf über die

Gesamtbauzeit T lässt sich in drei Phasen aufteilen. T' und T'' definieren die Zeiten für die Anlaufkurve bzw. Auslaufkurve. T''' bildet den Zeitraum ab in der die Baustelle die volle Produktion erreicht. (vgl. Nezval 1960, S. 158 f.)

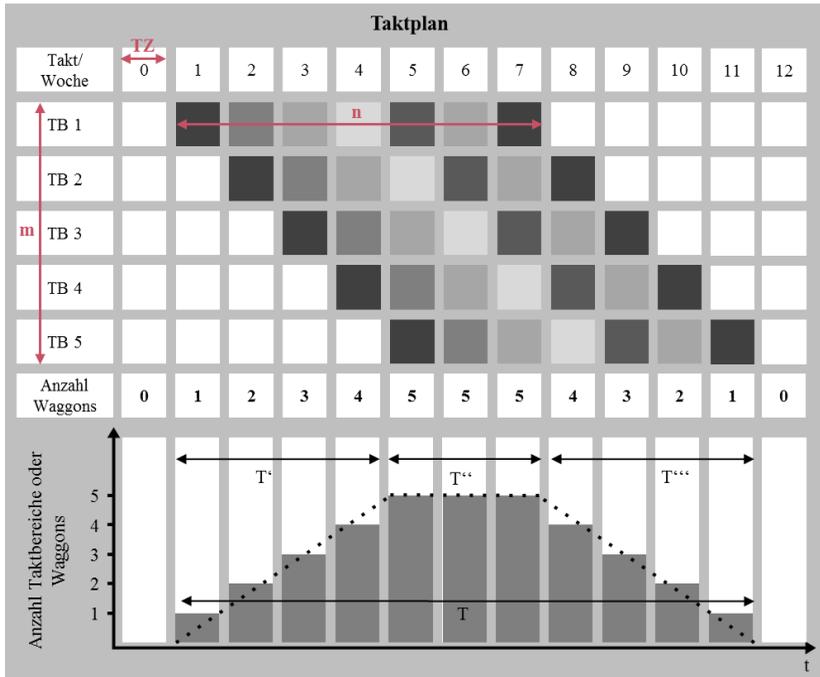


Abbildung 26: Taktplan und geplanter Verlauf der Arbeitsleistung mit An- und Auslaufkurve (vgl. Nezval 1960, S. 158)

Die Gesamtbauzeit T kann mit folgender Formel berechnet werden.

$$T = TZ \times (m + n - 1)$$

Formel 6: Gesamtbauzeit in getakteten Projekten (vgl. Nezval 1960, S. 42)

Hierin sind:

T : Gesamtbauzeit

TZ : Taktzeit

m : Anzahl der Taktbereiche

n : Anzahl der Vorgänge (Waggons)

Bei einer Arbeitsdauer (hier Taktzeit) der einzelnen Vorgänge von einer Woche ($TZ = 1$), einer Anzahl von 7 Vorgängen (hier Waggonen) ($n = 7$) und fünf Abschnitten (hier Taktbereiche) ($m = 5$) ergibt sich mit folgender Formel eine Gesamtbauzeit (T) von 11 Wochen.

3.5.4 Einsatz des Taktplans im 3-Ebenen-Modell

Das bereits erwähnte 3-Ebenen-Modell nach Dlouhy et al. (2016b) strukturiert die Bauprozesse in verschiedene Ebenen. Der Taktplan wird auf der Normebene eingesetzt und bildet das zentrale Element zur Steuerung des Bauablaufes. Als Eingangsgröße werden die vom Kunden vorgegebenen Meilensteine und die Priorisierung der Abschnitte aus der Makroebene benötigt. (vgl. Dlouhy u. a. 2016b, S. 15) Im Taktplan werden nun die einzelnen Wertschöpfungsprozesse so angeordnet, dass die Meilensteine der Makroebene eingehalten werden, ein Fluss entsteht und die Kapazitäten optimal ausgelastet sind. Zur detaillierten Erstellung und Berechnung des Taktplans sind auch Informationen aus der Mikroebene notwendig.

Der entstandene Taktplan dient der Bau- und Projektleitung als Instrument zur terminlichen Steuerung der Baustelle. Der Taktplan ist ein zentrales Element zur regelmäßigen Abstimmung mit dem NU auf der Mikroebene. Darüber hinaus bildet das Instrument eine aktuelle zeitliche Dokumentation des Bauablaufs ab und gibt zugleich Ausblick auf weitere Tätigkeiten. Die vorhandene Pufferzeit, bezogen auf die vom Bauherrn vorgegebenen Meilensteine und Priorisierungen in der Makroebene, ist transparent. Somit ist die Grundlage in der Diskussion mit dem Bauherrn hinsichtlich der terminlichen Vorgaben geschaffen.

3.5.5 Mikroebene als Schnittstelle zur Wertschöpfung

In der Mikroebene ist das Wissen der direkten Wertschöpfungsprozesse vorhanden. Einzelne Ausführungsschritte, Aufwandswerte, detaillierte Arbeitsbeschreibungen oder benötigte Ressourcen bilden die projekt-übergreifende Basis dieser Ebene.

Das Grundwissen kann mit einfachen Hilfsmitteln wie einem Standardarbeitsblatt (SAB) (vgl. Kirsch 2009, S. 248; Springer und Meyer 2006, S. 46) dargestellt werden. Ein Beispiel eines SAB ist in Anhang 5 zu finden. Die wesentlichen Inhalte des SAB können in folgende vier Kategorien eingeordnet werden (vgl. Dlouhy u. a. 2016a, S. 77; Kirsch 2009, S. 248):

1. Arbeitsschritte: Detaillierte Beschreibung der Arbeitsabläufe.
2. Aufwandswert und Menge: Dauer des Vorgangs (Aufwandswert) unterteilt in Materialhandling, Wertschöpfungsprozess und Gehzeit im Stunden- oder Minutenbereich sowie einen Massenwert.
3. Rahmenbedingungen: Layout der Arbeitsstätte mit Materialbereitstellungspunkten und physikalischen Rahmenbedingungen.
4. Ressourcen: Benötigte Baumaterialien, Hilfsmittel, Werkzeuge und Maschinen.

Ein Standardarbeitsblatt sollte für ein Unternehmen und dessen Bedürfnisse individuell angepasst werden. Eine digitale Datenbank vereinfacht die Speicherung der Datenmenge. In der Planungs- und Steuerungsphase werden diese Informationen auf der Mikroebene unterschiedlich genutzt. Während der Prozessanalyse und der Taktplanung werden die Informationen aus abgeschlossenen Projekten als Wissensquelle verwendet. Sind Daten aus abgeschlossenen Projekten nicht ausreichend vorhanden, kann das Wissen der einzelnen NU bereits in dieser Phase aktiv genutzt werden. Beispielsweise kann die Prozessanalyse in Form einer Pull-Planung gemeinsam mit den NU erarbeitet werden (vgl. Schaufelberger und Holm 2017, S. 98). Grundvoraussetzung ist, dass die NU ausreichend früh integriert werden.

Ist das Gerüst des Taktplans erstellt, erfolgt die detaillierte projektspezifische Füllung der Mikroebene top-down. Der Taktplan gibt für die einzelnen Arbeitspakete den Start- und Endzeitpunkt sowie das ausführende Gewerk vor. Die detaillierte Füllung dieser vorgegebenen Struktur bildet die Basis für die Harmonisierung der Arbeitspakete auf der Normebene (vgl. Binninger u. a. 2016b, S. 53). Die Inhalte der einzelnen Arbeitspakete werden zu späteren Zeitpunkten durch die Nachunternehmer verfeinert.

Die kurzzyklischen Besprechungen zwischen Handwerkern und Bauleitung decken die regelmäßige Schnittstellenbetrachtung der Mikro- und Normebene ab. Qualitätsrundgänge mit Hilfe der Checklisten der Mikroebene ergänzen diesen Prozess. Während der Ausführung der Baustelle kann es zu Anpassungen auf Grund von Störungen kommen, die in den kurzzyklischen Besprechungen dokumentiert werden. Hier wird das Wissen der Mikroebene und der einzelnen Nachunternehmer genutzt, um den Taktplan anzupassen. Sind die Anpassungen größerer Natur, so kommen die Steuerungsmechanismen aus Kapitel 3.4.2 zum Einsatz.

3.6 Zwischenfazit

Im dritten Kapitel wurden die Entstehung, der Einsatz und das Ergebnis der TPTS Methode beschrieben. Die Taktung als Überbegriff weist eine längere Historie auf und hat durch die Lean Construction Bewegung Aufschwung erhalten. Die für diese Arbeit gewählte Unterform der Methode basiert auf Kaiser und wurde im Laufe der Jahre durch den Verfasser in Eigenanwendung verfeinert und bereits mehrfach veröffentlicht (z. B. Binnering u. a. 2016b, 2016a; Binnering und Dlouhy 2018; Binnering und Wolfbeiß 2018a).

TPTS basiert auf einem systematischen Vorgehen. Das Ergebnis ist ein getakteter Produktionsablauf, der in einem Taktplan dargestellt wird. Der Taktplan, wie er hier beschrieben ist, bildet eine besondere und neue Form der Darstellung von Bauablaufplänen. Er kann neben dem Liniendiagramm, dem Balkenplan und der Terminliste als eine der Grundformen für die heuristische Vorgehensweise der Terminplanerstellung genutzt werden. Aufgrund des systematischen Vorgehens, der klar definierten Eingangsgrößen und des standardisierten Aufbaus lässt sich der Taktplan auch für mathematisch-algorithmische Methoden nutzen.

4 Arbeitsflussbewertungssystem für getaktete Bauproduktionssysteme

4.1 Vorbemerkung

Die Grundlagenkapitel beschreiben den hohen Stellenwert des Arbeitsflusses in einem Produktionssystem. Das Taktprinzip wirkt in der stationären Industrieproduktionsunterstützung und sorgt für eine zeitliche Strukturierung der Prozesse. Diese Maßnahmen sollen den Arbeitsfluss verbessern.

Für die Baubranche bietet die TPTS Methode mit der Integration eines Taktes eine gute Möglichkeit, den Arbeitsfluss zu verbessern. Die Erkenntnisse aus Kapitel 3 zeigen auf, dass das Ergebnis der Methode ein gleichmäßig in Raum und Zeit eingeteilter Taktplan ist. Innerhalb des Taktplans findet ein Arbeitsfluss aus Arbeitspaketen statt.

In diesem Kapitel erfolgt die Verknüpfung des Grundlagenwissens zum Arbeitsfluss und dessen Besonderheiten aus Kapitel 2 mit dem Wissen zu getakteten Systemen aus Kapitel 3. Anders ausgedrückt: Der Arbeitsfluss wird in getakteten Bauproduktionssystemen betrachtet. Unter Arbeitsfluss in getakteten Projekten kann in diesem Fall der Fluss von Arbeitspaketen verstanden werden. Ziel dieses Kapitels ist es, Grundlagen zur Bewertung eines Arbeitsflusses in getakteten Bauproduktionssystemen zu schaffen. Hierfür wird zunächst ein Arbeitsfluss-Bewertungssystem schrittweise hergeleitet und dessen Inhalte beschrieben. Es werden verschiedene Sichtweisen auf den Arbeitsfluss im Taktplan herausgearbeitet und unterschiedliche Flusseigenschaften gegenübergestellt. Die Verbindung der Flusseigenschaften mit den Flussperspektiven ergibt eine Matrix mit Untersuchungsfeldern. Diese Felder werden zunächst definiert und die Abhängigkeiten und möglichen Einflüsse beschrieben. Abschließend werden die Kennzahlen zur quantitativen Bewertung erarbeitet. Das Kapitel bildet die Grundlage der Analysen in Kapitel 5.

4.2 Aufbau des Bewertungssystems

4.2.1 Übersicht

Der Fluss in getakteten Bauproduktionssystemen hat mehrere Facetten. Um diese darzustellen, wird eine zweidimensionale Matrix gewählt. Die beiden Achsen grenzen die Matrix zur Flussbewertung ein. Auf der Abszisse sind die beiden Arbeitsflussperspektiven abgebildet. Diese sind an Shingo und Dillon (1989) angelehnt und auf die Taktung zugeschnitten. Die Ordinate wird durch die Flusseigenschaften nach Nezval (1960) aus Kapitel 2.4.8 eingeteilt. Die folgenden beiden Unterkapitel beschreiben die Achsen.

4.2.2 Flussperspektiven auf den Taktplan

Der Arbeitsfluss in getakteten Bauproduktionssystemen kann aus verschiedenen Perspektiven betrachtet werden. Abbildung 27 zeigt die beiden Perspektiven.

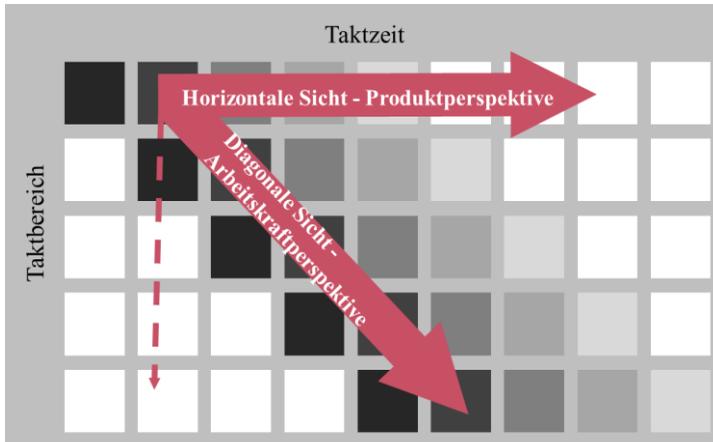


Abbildung 27: Perspektiven auf den Arbeitsfluss im Taktplan

Die perspektivische Betrachtung der Operation (Ressource) und des Produktes (Prozesses) nach Shingo und Dillon (1989) wird beibehalten und ist auch im Taktplan abbildbar. Die Flussperspektive aus Sichtweise der Operation bedeutet im übertragenen Sinne die Sicht des Nachunternehmers auf seine Arbeitspakete. In dieser Ansicht wird eine sich wiederholende Arbeitstätigkeit in Form eines Arbeitspaketes, wie beispielsweise die ‚Elektro Rohinstallation‘, ausgeführt. Während der Vergabephase werden verschiedenen Nachunternehmern und im Regelfall speziell ausgebildeten Arbeitskräften diversen Arbeitspaketen zugewiesen. Somit kann diese Sicht in getakteten Bauproduktionssystemen als **Arbeitskraftperspektive** (AKP) bezeichnet werden. Im Taktplan kann diese Perspektive diagonal abgebildet werden. In der Praxis kann es zu Abweichungen und Verschiebungen innerhalb des Taktplans kommen. Dadurch kann die systematische Anordnung der Arbeitspakete verloren gehen und die diagonale Perspektive ist nicht mehr eindeutig ersichtlich. Jedoch ist nicht der Ort der Wertschöpfung entscheidend, sondern der auf die Zeit bezogene Inhalt. Dies bedeutet, dass eine über die Zeit gleichmäßige Summenkurve entstehen sollte. Dadurch kann der Arbeitsfluss aus Sicht der Arbeitskraft aufrechterhalten bleiben. Um diesen Zustand ersichtlich zu machen, wird die Leistung innerhalb einer Taktzeit vertikal summiert. In Abbildung 27 mit einem gestrichelten Pfeil angedeutet. Dadurch kann festgestellt werden, welche Leistung die Ressource zu einem bestimmten Zeitpunkt im Projekt erbringen muss. Die Darstellung wurde bereits in Abbildung 26 genauer gezeigt.

An dieser Stelle soll erwähnt werden, dass die Arbeitskraftperspektive auch als Nachunternehmer- oder Gewerkeperspektive bezeichnet werden kann. In der Praxis kann ein Nachunternehmer mehrere Arbeitspakete übernehmen. Die Mehrfachbesetzung bildet einen Spezialfall mit gesonderten Regeln ab und wird erst an späterer Stelle genauer beschrieben.

Die **Produktperspektive** (POP) ist im Taktplan horizontal abgebildet. Hier wird der Arbeitsfluss aus Sicht des Produktes (einer Taktbereichseinheit) betrachtet.

Die beiden Perspektiven des Produktes und der Arbeitskraft spielen aus dem Blickwinkel des Generalunternehmers eine sehr wichtige Rolle und bilden die

Schnittstelle zwischen dem 3-Ebenen-Modell (vgl. Kapitel 3.2.4) und den Beteiligten. Das Interesse des Nachunternehmers wird in Form der Arbeitskraftperspektive berücksichtigt. Hierbei strebt der Generalunternehmer eine kontinuierliche Auslastung des Nachunternehmers und dessen Arbeitskräfte an, damit durch den wirtschaftlichen Einsatz seiner Ressourcen langfristig bessere Preise in der Vergabe erzielt werden können. Ein stockender Arbeitsfluss und zu geringe Arbeitsleistungen sorgen oft für langfristig erhöhte Angebotspreise.

Die Produktperspektive berücksichtigt dagegen die Kundensicht. Hierbei gilt es den Arbeitsfluss zu verbessern und dadurch die Durchlaufzeit zu reduzieren, um dem Kunden schneller die gewünschte Einheit übergeben zu können. Der GU muss diese beiden Interessen verbinden und eine projekt- und situationspezifische Lösung mit kurzen Durchlaufzeiten und einer kontinuierlichen Auslastung anstreben.

Die Portfolioperspektive nach Sacks (vgl. 2016, S. 651) betrachtet den projektübergreifenden Fluss. Durch die bauspezifische Abwicklung in Einzelprojekten findet diese Ansicht an dieser Stelle keine weitere Betrachtung in der Auswertung.

Im Folgenden sind die beiden wichtigen Perspektiven und deren Definitionen abschließend zusammengefasst:

- ⇒ Produktperspektive: Diese Perspektive betrachtet den Arbeitsfluss aus Sicht einer Einheit (Taktbereich), die dem Kunden später übergeben wird. Diese wird im Taktplan als horizontaler Arbeitsfluss dargestellt.
- ⇒ Arbeitskraftperspektive: Diese Perspektive betrachtet den Arbeitsfluss aus Sicht einer speziellen Arbeitskraft, die einem Nachunternehmer zugewiesen ist. Diese wird im Taktplan in diagonaler Richtung abgebildet.

Für die betrachteten Perspektiven verwendet diese Arbeit bewusst unterschiedliche Bezeichnungen im Vergleich zu Modig und Åhlström, um eine Abgrenzung zur stationären Industrie zu erreichen.

4.2.3 Flusseigenschaften im Taktplan

Wie bereits in Kapitel 2.4.7 beschrieben, kann nach Nezval (vgl. 1960, S. 35 ff.) ein guter Fluss mit den Eigenschaften Gleichmäßigkeit, Rhythmus und Kontinuität beschrieben werden. Werden die drei Eigenschaften auf ein getaktetes Projekt übertragen, so beziehen sich Nezvals Definitionen primär auf die Sicht eines Mitarbeiters bzw. einer Arbeitskolonne (vgl. Nezval 1960, S. 43). Somit beschreibt die Definition nach Nezval die Arbeitskraftperspektive. Nachdem im vorherigen Kapitel weitere Perspektiven identifiziert wurden, müssen die Eigenschaften zunächst ohne eine spezifische Perspektive auf den Arbeitsfluss verallgemeinert werden. Der Arbeitsfluss wird in der aufgespannten Matrix im Taktplan zwischen der Achse mit den Taktbereichen und der Achse mit den Taktzeiten in Form von Arbeitspaketen dargestellt.

Die **Kontinuität** wird durch eine konstante Füllung visualisiert, die sich auf die horizontale Taktplanachse bezieht und für die Zeit steht. Bei einer perfekten Kontinuität des Flusses entstehen somit keine ungefüllten Kästchen (Zeiträume) im Prozess. Die Eigenschaft Kontinuität spielt daher eine wichtige Rolle in der Arbeitsflussbetrachtung.

Der **Rhythmus** ist eine zeitbezogene Eigenschaft (vgl. Nezval 1960, S. 35). Genauer beschreibt Nezval eine rhythmische Arbeit als eine Arbeit, „...die sich nach gleichen Zeitintervallen wiederholt und bei ihrer Wiederholung gleich lange dauert“ (Nezval 1960, S. 35). Die zeitliche Einteilung in identische Taktzeiten ist ein maßgebendes Element der Taktung und als fixe Einheit im Taktplan auf der Abszisse aufgetragen.

Die Definition der Eigenschaft **Gleichmäßigkeit** nach Nezval bezieht sich primär auf die spezifische Arbeitskraftperspektive und bedeutet in diesem Zusammenhang, „...daß die einzelnen Arbeiter oder Arbeitskollektive mit gleich-bleibender Zusammensetzung bei der Wiederholung die gleichen Arbeiten verrichten und innerhalb einer bestimmten Zeit gleiche Arbeitspensen bewältigen. Hierbei verbrauchen sie die gleiche Materialmenge und belasten die Maschinen, die Transporteinrichtungen u. a. gleichmäßig.“ (Nezval 1960, S. 35) Perspektivenunabhängig bedeutet

dies, dass das Arbeitspensum Produktionsvolumen) der Arbeitspakete über die verschiedenen Taktzeiten hinweg gleichmäßig ist. Mit anderen Worten beschreibt die Gleichmäßigkeit den Produktionsumfang (Nezval 1960, S. 35) der Arbeitspakete im Verlauf der Zeit. Nezval nennt keine Definition und genaue Beschreibung dieser Kenngröße.

4.2.4 Aufbau des Arbeitsflussbewertungssystems

Die drei Flusseigenschaften und zwei Flussperspektiven grenzen das System ein. Es entsteht eine Matrix mit sechs Feldern wie in Tabelle 4 dargestellt. Jedes der Felder beschreibt eine spezielle Eigenschaft des Arbeitsflusses unter einer speziellen Sichtweise auf den Prozess.

Tabelle 4: Aufbau des Arbeitsflussbewertungssystems

Arbeitsfluss-Bewertungssystem		Flusseigenschaften		
		Rhythmus	Gleichmäßigkeit	Kontinuität
Flussperspektive	Arbeitskraftperspektive	1	3	5
	Produktperspektive	2	4	6

Die Beschreibung der Matrixinhalte ist Teil des folgenden Unterkapitels. Zunächst werden die einzelnen Felder allgemeingültig beschrieben und definiert, bevor die Untersuchungsfelder eingeschränkt werden.

4.3 Beschreibung der Untersuchungsfelder

4.3.1 Definition der Untersuchungsfelder

Die sechs Untersuchungsfelder sind in der Tabelle 5 definiert. Ein kleines Praxisbeispiel aus Sicht einer Arbeitskraft soll die Definition erläutern. Ein Handwerker ist täglich über mehrere Wochen auf der gleichen Baustelle (Kontinuität). Er arbeitet fünf Tage die Woche mit je acht Stunden pro Arbeitstag (Rhythmus). Seine Arbeit ist so eingeteilt, dass er jeden Tag vier Innentüren und somit die gleiche Arbeitsleistung einbaut (Gleichmäßigkeit).

Tabelle 5: Definition der Untersuchungsfelder

Untersuchungsfeld	Definition
Feld 1: Rhythmus aus der Arbeitskraft-perspektive	Bildet die Regelmäßigkeit der Vorgangsdauer ab, die gleiche Arbeitsschritte enthält und einem speziellen Nachunternehmer sowie einer speziellen Arbeitskraft zugewiesen ist.
Feld 2: Rhythmus aus der Produktperspektive	Bildet die Regelmäßigkeit der Vorgangsdauer ab, die eine spezielle Takteinheit durchläuft.
Feld 3: Gleichmäßigkeit aus der Arbeitskraft-perspektive	Bildet die Schwankungen im Produktionsvolumen einzelner Arbeitspakete ab, die gleiche Arbeitsschritte enthalten und einem speziellen Nachunternehmer sowie einer spezifischen Arbeitskraft zugewiesen sind.
Feld 4: Gleichmäßigkeit aus der Produkt-perspektive	Bildet die Schwankungen des Produktionsvolumens der Arbeitspakete ab, die eine spezielle Takteinheit durchlaufen.

Fortsetzung Tabelle 5:

Feld 5: Kontinuität aus der Arbeitskraft-perspektive	Bildet die Durchgängigkeit der Arbeit einer speziellen Arbeitskraft ab. Somit werden die Arbeitspakete betrachtet, die gleiche Arbeitsschritte enthalten und einem speziellen Nachunternehmer und einer speziellen Arbeitskraft zugewiesen sind. Eine Unterbrechung der Tätigkeiten wird beispielsweise durch ungefüllte Takte hervorgerufen.
Feld 6: Kontinuität aus der Produktperspektive	Bildet die Durchgängigkeit der Arbeit innerhalb der Arbeitspakete ab, die innerhalb einer speziellen Takteinheit stattfinden. Somit werden die Unterbrechungen, beispielsweise ungefüllte Takte, ausgewertet.

4.3.2 Eingrenzung der Untersuchungsfelder

Die einzelnen Untersuchungsfelder wurden im vorherigen Unterkapitel allgemein beschrieben. Bevor im nächsten Schritt detailliert auf die einzelnen Untersuchungsfelder eingegangen wird, werden die Kombinationen kritisch hinterfragt. Durch gegebene Rahmenbedingungen und Sichtweisen auf die Auswertung bilden nicht alle Felder der Matrix eine sinnvolle Kombination für die weitere Betrachtung. Aus der Produktperspektive (Untersuchungsfeld 4) ist die Auswertung der Gleichmäßigkeit nicht sinnvoll, da zum einen das Produktionsvolumen durch die Einheit bereits vorgegeben ist. Zum anderen sind die Schwankungen in der detaillierten Zusammensetzung im Produktionsvolumen der einzelnen Arbeitspakete und Arbeitsinhalte aus Sicht des Produktes nicht konstant, da sehr unterschiedliche Arbeit von den einzelnen Gewerken verrichtet wird und dies keine Auswirkungen auf das Produkt bzw. den Kunden selbst hat. Dieser Fall wird in der Arbeit nicht weiter betrachtet. Aus dieser Überlegung ergibt sich eine spezielle Kombination, die in der

Tabelle 6 in Form der Zahlen dargestellt ist. Eine der sechs Kombinationen entfällt. Die weiteren fünf Kombinationen stellen Untersuchungsfelder dar und werden in der vorliegenden Arbeit erneut aufgegriffen.

Tabelle 6: Arbeitsflussbewertungssystem mit Untersuchungsfeldern

Arbeitsfluss-Bewertungssystem		Flusseigenschaften		
		Rhythmus	Gleichmäßigkeit	Kontinuität
Flussperspektiven	Arbeitskraftperspektive	①	②	③
	Produktperspektive	④	Gleichmäßigkeit hat keine Auswirkung auf Produkt. Fallbetrachtung irrelevant.	⑤

4.4 Auswirkungen der Untersuchungsfelder auf den Taktplan

An dieser Stelle stellt sich die Frage, wie sich die theoretisch hergeleiteten Untersuchungsfelder im Taktplan widerspiegeln. Zwei Abbildungen erläutern die Fragestellung. Sie beschreiben jeweils einzeln die Eigenschaften anhand der beiden Perspektiven.

Abbildung 28 behandelt die drei Eigenschaften aus der Arbeitskraftperspektive jeweils im Soll- und Ist-Zustand. Untersuchungsfeld 1 (grün) zeigt die rhythmische Einteilung in Form der Taktzeit. Die Gleichmäßigkeit ist in Abbildung 28 rot markiert und zeigt die Abweichungen vom festgelegten Leistungsumfang (Größe der zu bearbeitenden Fläche in m²). Untersuchungsfeld 5 bildet die Kontinuität aus der Arbeitskraftperspektive. Die entstehenden Lücken sind in der Abbildung blau markiert.

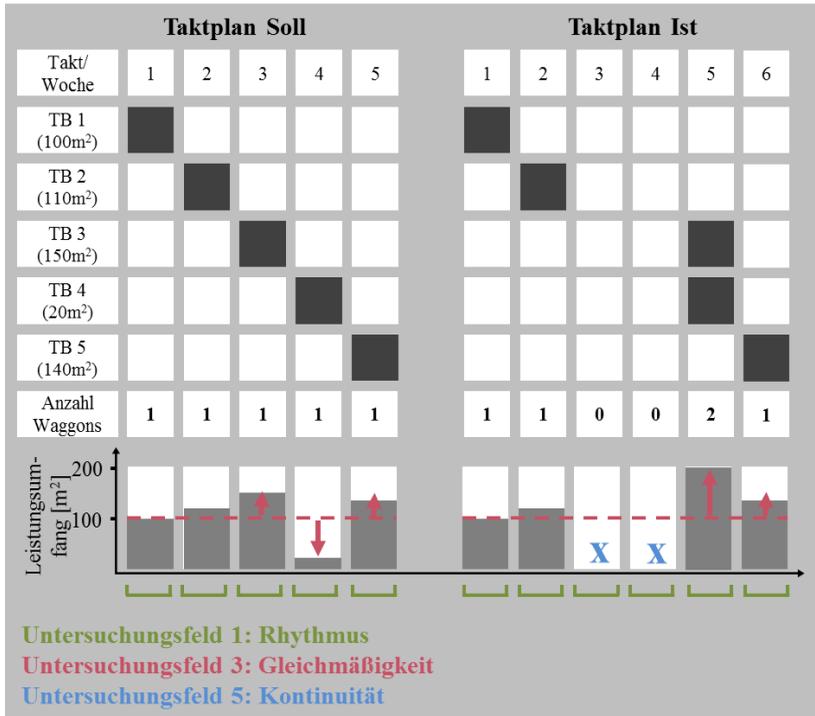


Abbildung 28: Eigenschaften aus der Arbeitskraftperspektive im Taktplan

Abbildung 29 zeigt die beiden Untersuchungsfelder Kontinuität (blau) und Rhythmus (grün) aus der Produktperspektive im Soll- und Ist-Zustand. Das Untersuchungsfeld Gleichmäßigkeit ist hier nicht ausschlaggebend.

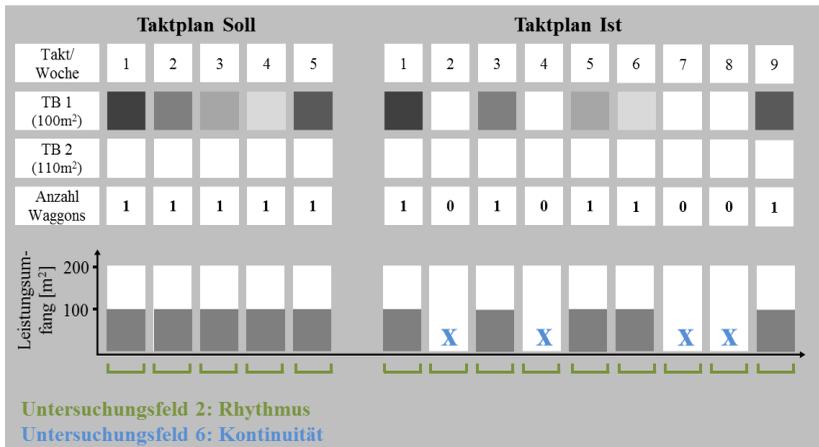


Abbildung 29: Eigenschaften aus der Produktperspektive im Taktplan

Die einzelnen Untersuchungsfelder sind nicht immer direkt im Taktplan ersichtlic. Durch einen Graphen unterhalb des Taktplans werden die Untersuchungsfelder sichtbar und quantifizierbar.

4.5 Auswirkungen der Messgrößen auf den Arbeitsfluss

Die verschiedenen Untersuchungsfelder hängen von bestimmten Messgrößen ab. Die einzelnen Messgrößen werden in diesem Unterkapitel beschrieben.

Der Takt bestimmt den Rhythmus maßgeblich in getakteten Systemen. Bei einem idealen Rhythmus beginnen alle Gewerke ihre Arbeit zum Taktstart und arbeiten bis Taktende. Als Messgröße wird auf Normebene die **Vorgangsdauer** der einzelnen Arbeitspakete im Taktplan bewertet.

Die Gleichmäßigkeit im Produktionsvolumen wird auf Normebene durch die Wahl der Taktbereiche beeinflusst. Die **Taktbereichsgröße** als Grundfläche kann als Referenzwert hierfür dienen.

Die Eigenschaft Kontinuität wird im Wesentlichen durch die Lücken oder Leerlaufzeiten im Taktplan beeinflusst. Existieren keine Lücken im Taktplan, so ist die Kontinuität durchgängig vorhanden. Auf der Normebene wird die Kontinuität durch **ungefüllte Waggons** beeinflusst.

In Abbildung 30 sind die Messgrößen der Untersuchungsfelder zusammengefasst.

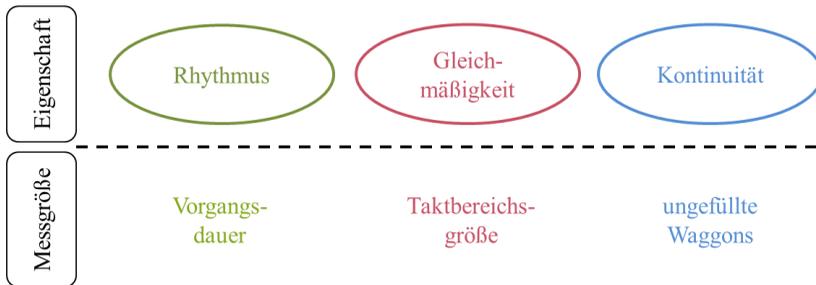


Abbildung 30: Messgrößen auf die einzelnen Flusseigenschaften

4.6 Kennzahlen zur Messung des Arbeitsflusses

4.6.1 Vorbemerkung

Um vergleichbare Aussagen zu den einzelnen Feldern der Matrix treffen zu können, müssen messbare Kennzahlen definiert werden. An dieser Stelle wird die Frage beantwortet, mit welchen Kennzahlen der Arbeitsfluss gemessen werden kann. In diesem Unterkapitel werden deshalb die quantitativen Inhalte des Bewertungssystems beschrieben. Den fünf verbliebenen Untersuchungsfeldern werden im Folgenden passende Kennzahlen zugewiesen. Die Kennzahlen sind so aufgebaut, dass die zuvor ermittelten Messgrößen in die Formeln einfließen. Ein fiktives Beispiel erläutert die jeweilige Berechnung der Kennzahl.

Das Ergebnis stellt eine mit Kennzahlen ausgefüllte Matrix am Ende des Kapitels dar. Diese bildet das Arbeitsflussbewertungssystem. Einige Kennzahlen sind bereits im Grundlagenteil dieser Arbeit erwähnt und beschrieben. Alle

weiteren Kennzahlen werden in diesem Kapitel zusätzlich ausführlich erläutert.

4.6.2 Untersuchungsfeld 1: Rhythmus aus der Arbeitskraftperspektive

Der Rhythmus in Systemen wird anhand der Vorgangsdauer gemessen. Je geringer die einzelnen Vorgangsdauern voneinander abweichen, desto rhythmischer ist das System. Die Abweichung wird zum Mittelwert der Vorgangsdauern gemessen. Zur genauen Quantifizierung und Vergleichbarkeit wird die normierte relative Standardabweichung (ϑ^*), auch normierter Variationskoeffizient genannt, gewählt. Durch das normierte Verhältnis der Standardabweichung zum arithmetischen Mittel entsteht ein projektübergreifend vergleichbarer Wert, der unabhängig von der Grundeinheit die Schwankung angibt. Die Normierung entsteht durch Division mit der Wurzel aus der Anzahl der Taktbereiche. Dies ist notwendig, da eine unterschiedliche Stichprobenanzahl (hier Taktbereichsanzahl = n = Anzahl der Vorgänge) pro Projekt vorhanden ist. Durch die Normierung ergibt sich ein Wert zwischen 0 und 1. Dieser ist somit projektübergreifend vergleichbar. (vgl. Kohn und Öztürk 2011, S. 61 f.) Die Formel für den normierten Variationskoeffizienten des Rhythmus aus Arbeitskraftperspektive ($\vartheta^*_{VD,AKP}$) ist nachfolgend abgebildet. Die Herleitung der Formel ist im Anhang 6 abgebildet. Ein sehr gleichmäßiges System ergibt einen möglichst geringen Wert.

$$\vartheta^*_{VD,AKP} [-] = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (VD_i - \overline{VD})^2}}{\sqrt{n} * \overline{VD}}$$

Formel 7: Normierter Variationskoeffizient der Vorgangsdauern aus Arbeitskraftperspektive (vgl. Kohn und Öztürk 2011, S. 62)

Hierin sind:

ϑ^* : normierter Variationskoeffizient bzw. normierte relativierte Standardabweichung

n : Anzahl der Taktbereiche bzw. Anzahl der Vorgänge

\overline{VD} : Mittelwert der Vorgangsdauer

VD_i : Vorgangsdauer des Vorgangs i

s_2 : Standardabweichung

AKP: Arbeitskraftperspektive

Beispiel: Ein Beispiel zeigt die Anwendung der Formel. Grundlage ist ein Balkenterminplan mit drei Vorgängen wie in Abbildung 31 dargestellt. Die jeweilige Vorgangsdauer ist in der rechten Spalte der Abbildung aufgelistet.

		Zeit					
		Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag	Vorgangsdauer
Vorgang	Vorgang 1	■					2 Tage
	Vorgang 2			■			3 Tage
	Vorgang 3	■					4 Tage

Abbildung 31: Berechnungsbeispiel Vorgangsdauer

$$\sigma^*_{VD,AKP} [-] = \frac{\sqrt{\frac{1}{3} \times ((2 - 3)^2 + (3 - 3)^2 + (4 - 3)^2)}}{\sqrt{3} * 3} = 0,16 [-]$$

Beispielberechnung normierter Variationskoeffizient der Vorgangsdauern aus
Arbeitskraftperspektive

Werden die Beispielszahlen in die Formel eingebracht, so ergibt sich ein Wert von 0,16 für den normierten Variationskoeffizienten der Vorgangsdauer. Je besser die Vorgänge in einem System aufeinander abgestimmt (nivelliert) sind, desto geringer ist der Wert der Kennzahl. Bei perfekt nivellierten Systemen wird ein Wert von Null erreicht.

Vorgänge in getakteten Projekten werden anhand der Taktzeit nivelliert. Im Zielzustand besitzen alle Vorgänge die gleiche Vorgangsdauer. Für getaktete Systeme kann somit folgende These aufgestellt werden:

These 1: Der Rhythmus aus Arbeitskraftperspektive in getakteten Systemen kann durch eine nivellierte Vorgangsdauer als gegeben betrachtet werden.

4.6.3 Untersuchungsfeld 2 - Rhythmus aus der Produktperspektive

Der Rhythmus aus der Produktperspektive kann ebenfalls anhand der Vorgangsdauer gemessen werden. Für dieses Untersuchungsfeld gelten die bereits aufgestellten Grundlagen analog zu Untersuchungsfeld 1. Es ergibt sich folgende Formel

$$\vartheta^*_{\text{VD,POP}} [-] = \frac{\sqrt{\frac{1}{m} \sum_{l=1}^m (\text{VD}_l - \overline{\text{VD}})^2}}{\sqrt{m} * \overline{\text{VD}}}$$

Formel 8: Normierter Variationskoeffizient der Vorgangsdauer aus Produktperspektive (vgl. Kohn und Öztürk 2011, S. 62)

Hierin sind:

ϑ^* : normierter Variationskoeffizient bzw. normierte relative Standardabweichung

m : Anzahl der Taktbereiche bzw. Anzahl der Vorgänge

$\overline{\text{VD}}$: Mittelwert der Vorgangsdauer

VD_l : Vorgangsdauer des Vorgangs l

POP: Produktperspektive

Die Formel verhält sich analog zur Anwendung aus der Arbeitskraftperspektive. Auch hierfür kann für getaktete Systeme eine These aufgestellt werden.

These 2: Der Rhythmus aus Produktperspektive in getakteten Systemen kann durch eine nivellierte Vorgangsdauer als gegeben betrachtet werden.

4.6.4 Untersuchungsfeld 3 - Gleichmäßigkeit aus der Arbeitskraftperspektive

Die Kennzahl hinter der Gleichmäßigkeit beruht auf der Größe der Taktbereiche. Diese setzen sich aus einzelnen Standardraumeinheiten (SRE) zusammen. Durch diesen Ansatz wird das Ziel verfolgt, den Produktionsablauf so zu gestalten, dass die Produktion möglichst gleichmäßig ausgelastet ist. Dies ist deshalb wichtig, da sich durch die Wiederholung eine Routine im Ablauf einstellen kann und ein rollierender Verbrauch von Materialien sowie ein regelmäßiger Personaleinsatz ermöglicht werden. Der Produktionsumfang q

und somit auch die Gleichmäßigkeit werden maßgeblich durch die Wahl und Zusammensetzung der Taktbereiche bestimmt. Zur Vereinfachung wird die Taktbereichsgröße auf Normebene in der Praxis häufig als gleichmäßig dargestellt. Für eine genauere Auswertung werden die detaillierte Zusammensetzung und Größe der Taktbereiche jedes Bauvorhabens betrachtet.

Zur genauen Quantifizierung und Vergleichbarkeit wird ebenfalls der normierte Variationskoeffizient (ϑ^*) eingesetzt. Es ergibt sich folgende Formel:

$$\vartheta^*_{F[-]} = \frac{\sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (F_i - \bar{F})^2}}{\sqrt{m} * \bar{F}}$$

Formel 9: Normierte Variationskoeffizient der Taktbereichsgrößen im Bauproduktionssystem (vgl. Kohn und Öztürk 2011, S. 62)

Hierin sind:

ϑ^* : normierter Variationskoeffizient bzw. normierte relativierte Standardabweichung

m: Anzahl der Taktbereiche

\bar{F} : Mittelwert der Taktbereichsfläche

F_i : Fläche des Taktbereichs i

POP: Produktperspektive

Beispiel: Ein Beispiel zeigt die Berechnung dieser Kennzahl. Das Beispiel besteht aus drei Taktbereichen. In der zweiten Spalte ist die Taktbereichsgröße aufgelistet.

Taktplan					
Taktbereichsgröße in m ²	1 W	2 W	3 W	4 W	5 W
TB 1	100 m ²				
TB 2	120 m ²				
TB 3	110 m ²				

Abbildung 32: Beispiel zur Gleichmäßigkeit aus Arbeitskraftperspektive

Im Beispiel gibt es drei Taktbereiche mit 100m^2 , 110m^2 und 120m^2 . Der Mittelwert \bar{x}_F liegt bei 110m^2 . Daraus ergibt sich eine Kennzahl von $\vartheta^*_F = 0,04$. Ein möglichst kleiner Wert wird angestrebt, da dadurch die Schwankungen minimiert werden und eine Routine entstehen kann.

$$\begin{aligned}\vartheta^*_F [-] &= \frac{\sqrt{\frac{1}{3} \times ((100 - 110)^2 + (110 - 110)^2 + (120 - 110)^2)}}{\sqrt{3} * 110} \\ &= 0,04 [-]\end{aligned}$$

Beispielberechnung normierte Variationskoeffizient der Taktbereichsfläche

Durch den Ansatz der SRE sollten getaktete Produktionssysteme einer gleichmäßigen Produktionsauslastung unterliegen. Daraus lässt sich These 3 ableiten:

These 3: Die Gleichmäßigkeit des Produktionsumfangs aus Arbeitskraftperspektive in getakteten Systemen kann durch den Ansatz der SRE als gegeben betrachtet werden.

4.6.5 Untersuchungsfeld 5 - Kontinuität aus der Arbeitskraftperspektive:

Aus Sicht der Arbeitskraft ist es sehr wichtig, dass in flussorientierten Systemen eine durchgängige Auslastung entsteht. Die durchgängige Auslastung ist in vielen Taktplänen auch als diagonale Linie ersichtlich, da die Taktbereiche für diese Darstellung sortiert sind. Dies ist allerdings nicht zwingend erforderlich, da aus Sicht der Ressource nur eine durchgängige Auslastung relevant ist und der Ort der Leistungserbringung eine untergeordnete Rolle spielt. Somit werden die gefüllten Waggons vertikal aufsummiert. Als erste Messgröße wirkt die Anzahl der Lücken im Taktplan aus Sicht der Arbeitskraft. Dies sind Stellen, an denen im Produktionsvolumen Nullstellen entstehen. Diese Messgröße wird anhand der Arbeitsflusseffizienz aus der Arbeitskraftperspektive ($\mathbf{AE}_{\text{AKP, Norm}}$) ausgewertet.

Die Kennzahl zählt die Anzahl der gefüllten Waggons und setzt diese ins Verhältnis zur Summe aus gefüllten und ungefüllten Waggons aus der vertikalen Perspektive. Somit wird die Anzahl der vollen Waggons ins Verhältnis zur benötigten Zeit gesetzt. Diese Kennzahl wird auch als Arbeitsflusseffizienz aus der Arbeitskraftperspektive (\mathbf{AE}_{AKP}) bezeichnet und basiert auf der Idee der Ressourceneffizienz nach Modig und Åhlström (2015). Die folgende Formel gilt für die Normebene:

$$\begin{aligned} & \mathbf{AE}_{AKP, Norm} [-] \\ = & \frac{\text{gefüllte Waggons}_{AKP} [-]}{\text{gefüllte Waggons}_{AKP} [-] + \text{ungefüllte Waggons}_{AKP} [-]} \\ = & \frac{\text{gefüllte Waggons}_{AKP} [-]}{\text{gefüllte Waggons}_{AKP} [-] + LW_{AKP} [-]} \end{aligned}$$

Formel 10: Arbeitsflusseffizienz aus der Arbeitskraftperspektive auf der Normebene

Hierin sind:

LW: Leerwaggon

AKP: Arbeitskraftperspektive

Die Anzahl gefüllter Waggons bezieht sich auf ein spezielles Arbeitspaket, das von einer Arbeitskraft eines Nachunternehmers besetzt ist. Die Kennzahl Leerwaggons (LW) zählt die Summe der ungefüllten Waggons (Arbeitsunterbrechungen) zwischen dem ersten und letzten gefüllten Waggon eines speziellen Gewerkes der diagonalen Perspektive. Die Leerwaggons sind im Taktplan enthaltene Unterbrechungen des Arbeitsflusses. Auch Trocknungszeiten werden als Unterbrechungen betrachtet, da hier keine Wertschöpfung stattfindet. Folgende Formel kann dabei verwendet werden.

$$\begin{aligned} LW_{AKP} [-] &= \sum_{i=1}^n \text{Unterbrechungen}_{AKP, Normebene, i} [-] \\ &= \sum_{i=1}^n \text{ungefüllte Waggons}_{AKP, i} [-] \end{aligned}$$

Formel 11: Anzahl Leerwaggons aus Arbeitskraftperspektive

Hierin sind:

AKP: Arbeitskraftperspektive

n: letzter, gefüllter Waggon des Arbeitspaketes

i: erster, gefüllter Waggon des Arbeitspaketes

Ziel ist die Reduzierung der ungefüllten Waggonen, um so nahe wie möglich an den $AE_{AKP, Norm}$ Wert von 1,0 zu kommen.

Beispiel: Im Beispiel wird die Arbeitskraftperspektive des rot umrandeten Waggonen betrachtet. Im diagonalen Verlauf des Waggonen in Abbildung 33 entstehen bei TZ 8 - 10 drei Leerwaggonen. Somit ergibt sich die Kennzahl $UW_{AKP} = 3$. Dies bedeutet, dass in drei Taktzeiten keine Wertschöpfung stattfindet. Der Zielwert $LW_{AKP} = 0$ wird angestrebt.

Taktplan																		
Takt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
TB1	■	■	1	■														■
TB 2		■	■	2	■													■
TB 3			■	■	3	■												■
TB 4				■	■	4				■								■
TB 5					■	■	5				■							■
TB 6						■	■	1	2	3	6		■					■
TB 7							■	■					7					■
TB 8								■	■					8				■

Abbildung 33: Fiktives Beispielprojekt für Kontinuität aus der Arbeitskraftperspektive

In Summe sind acht rot umrandete Waggonen vorhanden. Somit ergibt sich für die Kennzahl $AE_{AKP, Norm}$ ein Wert von $8 / (8 + 3) = 8 / 11$ oder 0,73. Dies bedeutet, dass die Arbeitskraft 73 % der Zeit tätig ist.

Ein Wert von 1,0 wird angestrebt. Diese Kennzahl steht in direktem Zusammenhang mit der Kennzahl LW_{AKP} , wirkt sich jedoch im Wert gegenteilig aus. Die Kennzahl LW ist anschaulich, da es sich um eine konkrete, direkt ablesbare und dadurch nachvollziehbarere Kennzahl für die Praxis handelt. Der Vorteil der AE -Kennzahl ist die Normierung zur Durchlaufzeit. Dadurch wird die Kennzahl unabhängig von den Rahmenparametern wie Anzahl der Taktbereiche, Taktzeit oder der Durchlaufzeit. Somit lassen sich die Projekte

besser vergleichen, da sich die Werte zwischen 0 und 1,0 befinden. Um die Kontinuität auch qualitative zu beschreiben, wird für die folgende Arbeit die Einteilung nach Tabelle 7 verwendet.

Tabelle 7: Einteilung der Kontinuität

Wert der Arbeitsflusseffizienz	Beschreibung
< 25%	Kontinuität nicht vorhanden
≤ 25 % und < 50%	Kontinuität kaum vorhanden
≤ 50% und <75%	Kontinuität spürbar
≥ 75 %	Kontinuität vorhanden

Als Grundlage zur weiteren Auswertung der Kontinuität aus Arbeitskraftperspektive wird folgende These aufgestellt.

These 4: Die Kontinuität aus der Arbeitskraftperspektive ist in getakteten Systemen $\geq 75\%$ und somit vorhanden.

4.6.6 Untersuchungsfeld 6 - Kontinuität aus der Produktperspektive

Analog zur Kontinuität aus der Arbeitskraftperspektive wird hier die Kennzahl Arbeitsflusseffizienz für die Produktperspektive ($AE_{POP, Norm}$) herangezogen.

Diese Kennzahl zählt die Anzahl der gefüllten Waggons und setzt diese ins Verhältnis zur Summe aus gefüllten und leeren Waggons aus der horizontalen Perspektive. Somit wird die Anzahl voller Waggons ins Verhältnis zur benötigten Zeit gesetzt. Diese Kennzahl basiert ebenso auf der Idee der Flusseffizienz nach Modig und Åhlström (2015). Die folgende Formel gilt für die Normebene:

$$\begin{aligned}
 & \mathbf{AE}_{\text{POP, Norm}} [-] \\
 &= \frac{\text{gefüllte Waggon}_{\text{POP}} [-]}{\text{gefüllte Waggon}_{\text{POP}} [-] + \text{ungefüllte Waggon}_{\text{POP}} [-]} \\
 &= \frac{\text{gefüllte Waggon}_{\text{POP}} [-]}{\text{gefüllte Waggon}_{\text{POP}} [-] + \text{LW}_{\text{POP}} [-]}
 \end{aligned}$$

Formel 12: Arbeitsflusseffizienz aus der Produktperspektive auf der Normebene

Hierin sind:

LW: Leerwaggon

POP: Produktperspektive

Die Kennzahl LW_{POP} zählt die Summe der Leerwaggon (Arbeitsunterbrechungen) zwischen dem ersten und letzten gefüllten Waggon eines Taktbereiches der horizontalen Perspektive.

$$\begin{aligned}
 \mathbf{LW}_{\text{POP}} &= \sum_{i=1}^n \text{Unterbrechungen}_{\text{POP, Normebene, } i} [-] \\
 &= \sum_{i=1}^n \text{Leerwaggon}_{\text{POP, } i} [-]
 \end{aligned}$$

Formel 13: Anzahl ungefüllte Waggon aus Produktperspektive

Hierin sind:

POP: Produktperspektive

n: letzter, gefüllter Waggon des Arbeitspaketes

i: erster, gefüllter Waggon des Arbeitspaketes

Ziel ist es, die leeren Waggon zu reduzieren und so nahe an den $\mathbf{AE}_{\text{POP, Norm}}$ -Wert von 1,0 zu gelangen. In diesem Fall wäre der Taktbereich durchgängig mit Arbeitspaketen gefüllt.

Beispiel: Im Beispiel wird der rot markierte TB2 betrachtet. Im horizontalen Verlauf der Waggon in TB 2 entstehen Lücken bei TZ 6 - 12 und TZ 14 - 16. Somit ergibt sich die Kennzahl $LW_{POP} = 10$. Der Zielwert $LW_{POP} = 0$ wird angestrebt.

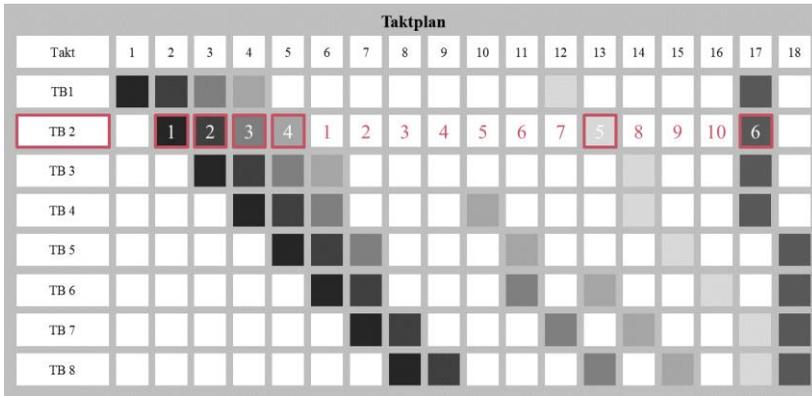


Abbildung 34: Fiktives Beispielprojekt für Kontinuität aus der Produktperspektive

In Summe sind sechs gefüllte und rot markierte Waggon vorhanden. Daraus ergibt sich für die Kennzahl $AEPOP_{Norm}$ ein Wert von $6 / (10 + 6) = 6 / 16$ oder 0,38. Das bedeutet, dass 38 % der Zeit Tätigkeiten im TB2 stattfinden. Die Kontinuität ist laut Tabelle 7 somit kaum vorhanden. Ein Wert von 1,0 ist erstrebenswert. Diese Kennzahl steht in direktem Zusammenhang mit der Kennzahl $LWPOP$, wirkt sich jedoch im Wert gegenteilig aus.

Für die Kontinuität aus der Produktperspektive wird folgende These aufgestellt.

These 5: Die Kontinuität aus der Produktperspektive ist in getakteten Systemen durch den Ansatz des Gewerkezeuges $\geq 75\%$ und dadurch vorhanden.

4.7 Zusammenfassung

Das Kapitel 4 geht auf die Subforschungsfrage ‚Wie kann die Güte des Flusses in getakteten Projekten gemessen werden?‘ ein. Die Antwort ist eine Fluss-Bewertungsmatrix, die die Flusseigenschaften den Flussperspektiven gegenüberstellt. Den sechs Feldern der Matrix wurden in diesem Kapitel fünf Kennzahlen zugeordnet. Ein Feld wurde auf Grund einer für die Arbeit nicht relevanten Kombination ausgeschlossen. Es ergibt sich folgende Kennzahlenmatrix:

Tabelle 8: Arbeitsflussbewertungssystem mit zugehörigen Kennzahlen

Arbeitsfluss-Bewertungssystem		Flusseigenschaften		
		Rhythmus	Gleichmäßigkeit	Kontinuität
Flussperspektiven	Arbeitskraftperspektive	$\mathfrak{G}^*_{VD,AKP}$	\mathfrak{G}^*_F	$AE_{AKP, Norm}$
	Produktperspektive	$\mathfrak{G}^*_{VD,POP}$	Gleichmäßigkeit hat keine Auswirkung auf Produkt. Fallbetrachtung irrelevant.	$AE_{POP, Norm}$

Dabei bilden die Kennzahlen primär die Normebene des 3-Ebenen-Modells ab. Die Normebene ist die Steuerungsebene aus Sicht des Generalunternehmers und steht somit zunächst im weiteren Fokus der Arbeit. Für diese Ebene wurden im Verlauf des Kapitels fünf Thesen aufgestellt, die die Grundlage einer empirischen Auswertung in Kapitel 5 bilden. Die nachfolgende Tabelle fasst die fünf Thesen zusammen.

Tabelle 9: Zusammenfassung der Thesen

Arbeitsfluss-Bewertungssystem		Flusseigenschaften		
		Rhythmus	Gleichmäßigkeit	Kontinuität
Flussperspektiven	Arbeitskraftperspektive	Der Rhythmus aus Arbeitskraftperspektive in getakteten Systemen kann durch eine nivellierte Vorgangsdauer als gegeben betrachtet werden.	Die Gleichmäßigkeit des Produktionsumfangs aus Arbeitskraftperspektive in getakteten Systemen kann durch den Ansatz der SRE als gegeben betrachtet werden.	Die Kontinuität aus der Arbeitskraftperspektive ist in getakteten Systemen $\geq 75\%$ und somit vorhanden.
	Produktperspektive	Der Rhythmus aus Produktperspektive in getakteten Systemen kann durch eine nivellierte Vorgangsdauer als gegeben betrachtet werden.	-	Die Kontinuität aus der Produktperspektive ist in getakteten Systemen durch den Ansatz des Gewerkezugens $\geq 75\%$ und dadurch vorhanden.

5 Auswertungen zum getakteten Bauproduktionssystem

5.1 Vorbemerkung

Der Arbeitsfluss nimmt in getakteten Bauproduktionssystemen eine entscheidende Rolle für das Ergebnis ein. Bisher wurde die Qualität des Arbeitsflusses und dessen Beeinflussung nicht ausreichend wissenschaftlich erforscht. Dieses Kapitel widmet sich dieser Aufgabenstellung.

Die Analyse erfolgt mit Hilfe einer Fallstudie eines getakteten Bauproduktionssystems eines ausgewählten Unternehmens. Eine Fallstudie betrachtet ein aktuelles Phänomen in einem realen Kontext (vgl. Yin 2003, S. 13 ff.) und bietet somit für die vorliegende Arbeit eine passende Methodik. Die Fallstudie bietet den Vorteil, dass nicht unmittelbar sichtbare Probleme in komplexen und realen Umfeldern betrachtet werden können (vgl. Liening und Paprotny 2005, S. 5).

Für die vorliegende Arbeit ist die Auswertung innerhalb der Fallstudie auf einen Teil eines getakteten Bauproduktionssystems beschränkt. Es werden Daten aus realen Projekten im Kontext des schlüsselfertigen Innenausbaus beleuchtet. Die Daten werden mit Hilfe der CRIPS-DM Methode aufbereitet. Zunächst werden im Kapitel 5.2 die Schritte ‚Business Understanding‘, ‚Data Understanding‘ und ‚Data Preparation‘ der CRISP-DM beschrieben. Der Schritt ‚Modeling‘ wurde bereits im Kapitel 4 behandelt und ein Modell abgeleitet. Die ‚Evaluierung‘ der Daten findet im weiteren Verlauf des fünften Kapitels Anwendung. (vgl. Jannaschk 2018, S. 14 ff.) Die Projektdaten werden hinsichtlich der fünf Untersuchungsfelder ausgewertet und die Thesen aus Kapitel 4 kritisch diskutiert. Um den Bewertungsrahmen der Fallstudie aus Sicht des Lesers besser nachvollziehen zu können, werden das betrachtete Unternehmen, die Rolle des Verfassers dieser Arbeit in Bezug auf die Projektdaten, die praktische Umsetzung von TPTS und der Datenaufbau zunächst beschrieben.

5.2 Bewertungsrahmen

5.2.1 Ausgewähltes Unternehmen und Rolle des Verfassers

Als Untersuchungsgegenstand für die Fallstudie wurde ein Unternehmen ausgewählt. Um den Bewertungsrahmen aus Sicht des Lesers besser nachvollziehen zu können, wird zunächst das Unternehmen beschrieben. Das ausgewählte Unternehmen ist die weisenburger bau GmbH aus Rastatt. Ein mittelständisches Bauunternehmen mit rund 500 Mitarbeitern und einer Gesamtjahresleistung von rund 350 Millionen Euro⁸. Seit dem Jahr 2010 ist die TPTS Methode ein fester Bestandteil des Bauproduktionssystems in diesem Unternehmen.

Das Unternehmen agiert als Generalunternehmer primär auf der Normebene des 3-Ebenen-Modells. Abbildung 35 zeigt den Einfluss (mittelgrauer Bereich) des Unternehmens im Rahmen dieses Modells. Auf der Mikroebene werden Nachunternehmer eingesetzt. Das Unternehmen besitzt eine Aufwandswert-Datenbank und greift fachlich sehr stark in die Mikroebene ein. Das bedeutet, dass beispielsweise Vorgaben zum angewandten Produkt wie z.B. dem Estrichbeschleuniger gegeben werden. Das Unternehmen greift auf Makroebene in den Verantwortungsbereich des Bauherrn ein. Beispielsweise werden speziell in der Akquise-Phase Produktoptimierungen zur Kostensenkung und Erreichung der Zielkosten herbeigeführt. Während der späteren Produktionsplanung haben die einzelnen Abläufe kaum Einfluss auf die Makroebene; ebenso nimmt die Makroebene kaum Einfluss auf die Normebene. Die TPTS hat somit kaum Berührungspunkte zur Makroebene.

⁸ Stand 01.05.2021

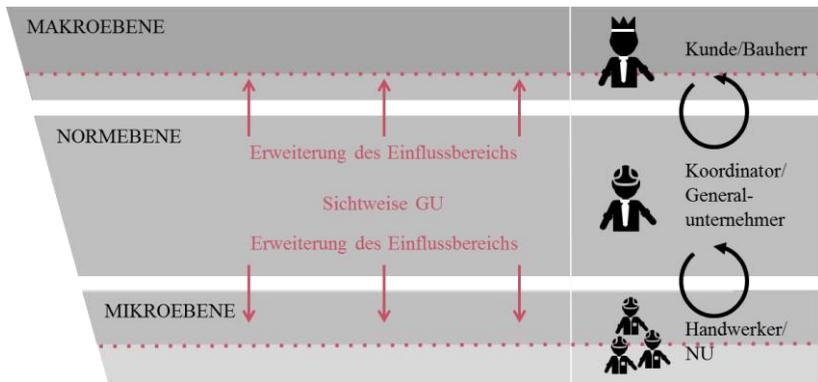


Abbildung 35: 3-Ebenen-Modell aus Sicht des betrachteten Generalunternehmers
(vgl. Dlouhy u. a. 2016b)

Der Verfasser agiert im Rahmen dieser Arbeit situationsbezogen als Beobachter oder als aktiver Teilnehmer der Taktplanung und -steuerung von Projekten. Die Erkenntnisse und Aussagen in dieser Arbeit basieren daher zu einem großen Teil auch aus der Praxiserfahrung des Verfassers. Die Daten sind aus über sechsjähriger Tätigkeit im gewählten Unternehmen und bilden den Umsetzungsstand zum Stand Oktober 2018 ab.

5.2.2 Umsetzung im Unternehmen

Dieses Kapitel beschreibt nicht die detaillierte Vorgehensweise der TPTS Methode, sondern stellt die Methode im Zusammenhang mit der Projektabwicklung im Unternehmen dar. Die angewandte Methode basiert auf den Schritten aus Kapitel 3.2.4. Für eine weitere detailliertere Beschreibung wird auf den Buchbeitrag "Taktplanung und Taktsteuerung bei weisenburger bau" (Binninger und Wolfbeiß 2018a) sowie auf einzelne Veröffentlichungen im Rahmen der IGLC Konferenz siehe Anhang 7 durch den Verfasser verwiesen.

Nach Auftragseingang und einige Monate vor Baustart wird mit dem Projektteam der Prozess in Form eines Workshops analysiert und die Prozessparameter ‚Arbeitsschritte‘ und ‚Aufwandswert‘ werden festgelegt. Der Einteilung des Bauvorhabens in Taktabschnitte folgt die Festlegung der Taktzeit. Der

Fokus der Taktung in dem betrachteten Unternehmen liegt lediglich auf dem Innenausbau. Für die weiteren Bereiche des Gebäudes, wie beispielsweise der Hülle oder der Tiefgarage, werden ebenfalls die notwendigen Arbeitsschritte definiert. Das Ergebnis des Workshops ist eine Sequenz der einzelnen Wertschöpfungsschritte für das Ablaufkonzept des gesamten Bauvorhabens. Durch eine Produktionsplanungsabteilung werden die weiteren Schritte der Taktplanung durchgeführt.

Die Zwischenergebnisse werden mit dem Projektteam regelmäßig abgestimmt und in weiteren Workshops ein Logistikkonzept, ein Vergabeterminplan, ein Entscheidungs- und Bemusterungsterminplan für den Kunden sowie ein Planungsterminplan erstellt. Alle abgeleiteten Informationen und Prozesse verwenden den detaillierten Taktplan als Ausgangsbasis.

In der Vergabephase werden den Nachunternehmern ihre eigenen Vorteile der Taktung sowie die projektspezifische Vorgehensweise im Detail erläutert und der vorhandene Ablaufplan wird Vertragsbestandteil. An dieser Stelle wird der Nachunternehmer zum ersten Mal aktiv zur Feedbackabgabe aufgefordert. Vorteile liegen hierbei für die Nachunternehmer primär in der Transparenz der Bauausführung hinsichtlich zugeordneter Arbeitsbereiche, definierter Vorleistung sowie zeitlicher Abhängigkeit. So können bereits zu Beginn der Ausführung Mitarbeiteranzahl, Maschinen, Materialien etc. taktweise vorbereitet und in das Projekt eingeplant werden. Die Nachunternehmer werden im Fallunternehmen nach der Verhandlung projektspezifisch ausgewählt.

Bevor die getaktete Ausbauphase beginnt, werden die beauftragten Nachunternehmer in einem halbtägigen Workshop zum Konzept der Taktung und dem definierten, projektspezifischen Vorgehen geschult. Dieser Termin findet sehr häufig direkt auf der Baustelle statt. An dieser Stelle werden erneut die detaillierten Ablaufschritte abgestimmt, da an diesem Termin häufig erstmalig die späteren Personen, die an der direkten Wertschöpfung beteiligt sind, anwesend sind.

Die Steuerung der Baustelle erfolgt kurzzyklisch durch die Bauleiter gemeinsam mit den Nachunternehmern. Als Grundlage für die tägliche Besprechung dient ein visuelles Steuerungsboard, die sogenannte Taktsteuerungstafel.

Während der Ausführung wird die Bauleitung in regelmäßigen Abständen von Prozessexperten mit einer Grundausbildung im Bereich Lean Management begleitet. Am Ende des Projektes findet ein ‚Lessons Learned‘ als kritischer Rückblick und zur Weiterentwicklung statt.

Parallel zu den Schritten der Produktionsplanung und -steuerung wird ein Managementprozess auf Projektebene aufgestellt. Dieser basiert auf dem übergeordneten Prozess des BPS von Kaiser (2013, S. 100 ff.) und wird im Beitrag von Wolfbeiß und Binner (2018) beschrieben. In regelmäßigen Abständen werden Audits und Regelbesuche durchgeführt, um den aktuellen Prozess durch Fragen und positive Best-Practice Fälle mit dem Soll-Zustand abzugleichen und Potenziale aufzudecken.

5.2.3 Datenaufbau

Vor und während der Ausführung eines Bauprojektes entstehen Datensätze. Die Daten können zum einen zeitlich abgegrenzt werden, zum anderen ist eine klare Datenhierarchie erkennbar. Zunächst wird auf die Datenhierarchie eingegangen. Das beobachtete Vorgehen im Fallbeispiel zeigt mehrere Detaillierungsstufen, die anhand des 3-Ebenen-Modells beschrieben werden können. In Abbildung 36 ist die Datenstruktur der TPTS Methode dargestellt und mit den Ebenen des 3-Ebenen-Modells verknüpft. Die Prozessanalyse definiert zunächst die **Arbeitsschritte** auf der Mikroebene. Jedem Arbeitsschritt ist ein Aufwandswert zugeordnet. Unterhalb der Stufe des Arbeitsschrittes, wäre zusätzlich die Stufe des **Handgriffes** möglich. Dieser Detaillierungsgrad ist im Unternehmen bisher noch nicht erreicht worden und in Abbildung 36 lediglich beispielhaft eingezeichnet. Die definierten Arbeitsschritte werden unter Betrachtung der vorhandenen Gewerkegrenzen zu **Arbeitspaketen** zusammengefasst. Dieser Schritt hängt von der Vergabe der Leistung ab und unterliegt in diesem Fall dem Generalunternehmer auf Normebene. Beispielsweise kann das Ziehen von Silikonfugen dem Fliesenleger, dem Gewerk Sanitär oder einem auf Fugen spezialisierten Unternehmen zugeordnet werden. Die Arbeitspakete werden **waggonisiert** und zu einem Zug in Reihenfolge gebracht. Dieser Schritt der **Zugbildung** ist ebenfalls auf der Normebene anzusiedeln. Die Verknüpfung der Züge für die verschiedenen **Funktionscluster** untereinander,

die Anordnung bezüglich der Meilensteine und die Verbindung zu den nicht getakteten Vorgängen im Ablaufplan sind dem Schritt **Bauvorhaben** auf Makroebene zugeordnet. Diese Datenhierarchie wird in Abbildung 36 in das 3-Ebenen-Modell eingeordnet.

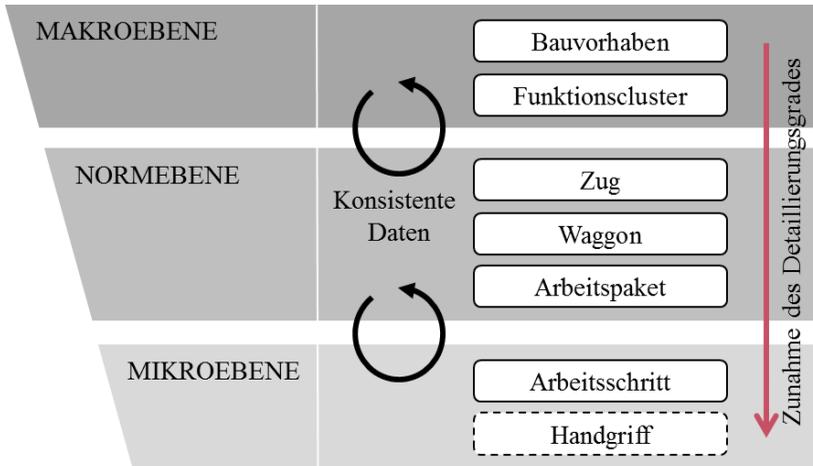


Abbildung 36: Datenstruktur der Ablaufplanung in Bezug zum 3-Ebenen-Modell

Die Daten der einzelnen Stufen sind aufeinander aufbauend und konsistent. In Richtung der Mikroebene steigt der Detaillierungsgrad an. Den einzelnen Detaillierungsstufen können weitere Informationen wie beispielsweise Personalkapazitäten, Qualitätsprüfpunkte oder Materialmengen angehängt werden. Die Mikroebene schließt mit den Arbeitsschritten ab und geht mit den Arbeitspaketen in die Normebene über. Die eigentliche Taktplanung findet auf der Normebene statt. Erst wenn für die einzelnen Funktionscluster die Taktplanung stattgefunden hat, werden die Ergebnisse mit den vertraglich fixierten Meilensteinen aus der Makroebene abgeglichen. Werden die Meilensteine nicht erreicht, muss eine Optimierung in der Taktplanung stattfinden. Da die Meilensteine sehr häufig durch den Vertrag und somit den Kunden vorgegeben werden, steht die Makroebene nicht direkt im Fokus der Auswertung.

Für die Analyse in diesem Kapitel werden die Taktpläne ausgewählter Projekte ausgewertet. Von einigen Projekten steht der Taktplan im geplanten Zustand (Soll) und ggf. der Taktplan im abgeschlossenen Zustand (Ist) zur Verfügung. Mit dem Vergleich vom Soll- zum Ist-Zustand kommt eine zeitliche Abgrenzung hinzu. Abbildung 37 zeigt die beiden Taktpläne eines Beispielprojektes mit den markierten Abweichungen zwischen Soll- und Ist-Zustand.

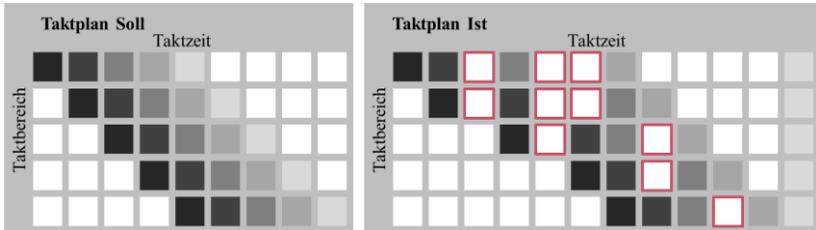


Abbildung 37: Schematische Darstellung des Taktplans im Soll- (links) und Ist-Zustand (rechts)

Die Analyse findet primär auf der Normebene statt, da hier das Einflussgebiet des GU liegt. Der Fokus der Datenauswertung liegt somit auf dem Zug, den Wagons und den Arbeitspaketen.

5.2.4 Auswahl der Projekte

In der Grundgesamtheit standen zum Zeitpunkt der Auswertung⁹ 118 Projekte im Bauproduktionssystem zur Verfügung, die mit der bereits beschriebenen TPTS Methode geplant sind bzw. wurden. Die Projekte befinden sich in verschiedenen Phasen und reichen vom Jahr 2011 bis ins Jahr 2018. Das angegebene Jahr orientiert sich dabei am Start des ersten getakteten Vorgangs. Bevor die detaillierten Analysen stattfinden können, müssen die Projektdaten auf Ihre Nutzbarkeit und Aussagekraft geprüft werden. Für die Auswahl der Projektdaten wird ein zweistufiges Vorgehen gewählt. Abbildung 38 stellt die beiden Filterungsstufen dar.

⁹ März 2018

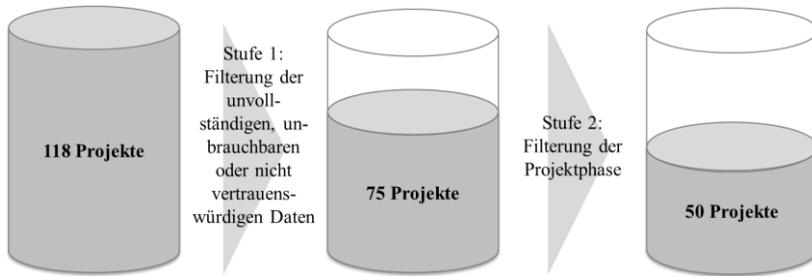


Abbildung 38: Zweistufige Filterung der Projekte zur Datenanalyse

Auf der ersten Filterungsstufe werden die Projekte mit unvollständigen, unbrauchbaren oder nicht vertrauenswürdigen Datengrundlagen aussortiert. Die Anzahl der Projekte reduziert sich damit von 118 auf 75 Projekte. Die Unvollständigkeit ist ein direkt messbares Kriterium und spiegelt sich primär in der lückenhaften Terminplanpflege. Mit der Eigenschaft ‚unbrauchbar‘ werden Projektdaten bezeichnet, die auf einer älteren Methodik-Ausprägung und Darstellungsform basieren. Diese Projekte sind für die Auswertung nur mit einem sehr hohen Aufwand und einem ungenügenden Detaillierungsgrad auf den Stand der anderen Datensätze zu bringen. Die Vertrauenswürdigkeit ist kein hart definiertes Kriterium und unterliegt der Einschätzung und Erfahrung des Verfassers. Die Umstände und Nachvollziehbarkeit sollen an dieser Stelle kurz erläutert werden. Um den Ist-Zustand der Taktpläne nach der Ausführung vergleichen zu können, müssen alle Projekte mit einem gleichen oder zumindest ähnlichen Maß an Genauigkeit angepasst worden sein. Für eine empirische Auswertung ist dies eine notwendige Voraussetzung zur Vergleichbarkeit. In der Praxis unterliegt der Vorgang der Anpassung oft den einzelnen Bauleitern und es sind nur selten Standards vorhanden. Als Folge würde die Terminplanpflege in einigen Projekten sehr unterschiedlich gehandhabt werden und die Vergleichbarkeit wäre nicht gegeben. Im betrachteten Unternehmen unterliegt die Aufgabe der Terminplananpassung einer zentralen Abteilung und zusätzlich sind Standards und Richtlinien für einen Anpassungsvorgang vorhanden. Eine Vergleichbarkeit des ausgeführten Terminplans ist aus den beiden genannten Gründen vorhanden. Der Verfasser der Arbeit ist ein aktiver Teil dieser Abteilung. Somit werden die ausgewählten Projektdaten als vertrauenswürdig eingestuft.

In der zweiten Stufe findet eine Filterung der Projekte nach dem Status der Projektphase statt. Die Projekte werden in die Phasen ‚abgeschlossen‘, ‚Planung‘ und ‚Ausführung‘ unterteilt. Unter der Projektphase ‚Planung‘ wird in dieser Arbeit nicht die herkömmliche architektonische Planung der HOAI Phasen 1 - 5 verstanden, sondern der Zeitraum ab der Produktionsplanung des Generalunternehmers bis zum Start des ersten Taktvorgangs. In diesem Fall beginnt diese Phase sehr häufig bereits in der HOAI Phase 5 – Ausführungsplanung. Die Phase ‚Ausführung‘ startet mit dem ersten und endet mit dem letzten Taktvorgang im Projekt. Im Anschluss hat das Projekt den Status ‚abgeschlossen‘. Da Aussagen über die Ausführung getroffen werden sollen, fließen zunächst die Projekte mit dem Status ‚abgeschlossen‘ und ‚Ausführung‘ in die Auswertung ein. Alle weiteren Projekte sind bezüglich des Planungsstandes zum Zeitpunkt der Datenerhebung in einer zu frühen Phase. Erfahrungsgemäß haben auftretende Veränderungen im Projekt und den Rahmenbedingungen bzgl. der prozessbegleitenden Planung und Vergabe zu diesem Zeitpunkt eine zu hohe Auswirkung auf die Abwicklung. Die Aussagekraft der Daten in Bezug auf die spätere Ausführung ist in dieser Phase noch nicht gegeben.

Es bleiben 50 Projekte für die empirische Auswertung bestehen. Eine Übersicht der Projekte ist in Anhang 8 sowie dem digitalen Anhang A zu finden. Um dem Leser eine erste Vorstellung der Grundgesamtheit an Daten zu geben, werden an dieser Stelle die Projekte auf Basis von einigen Merkmalen verglichen. Wie bereits zuvor erwähnt, stammen die Daten aus verschiedenen Jahren. Abbildung 39 zeigt die Anzahl der Projekte in Bezug auf das Merkmal Umsetzungsjahr. Fast 70 % der ausgewerteten Projekte entstammen aus den Jahren zwischen 2014 und 2016.

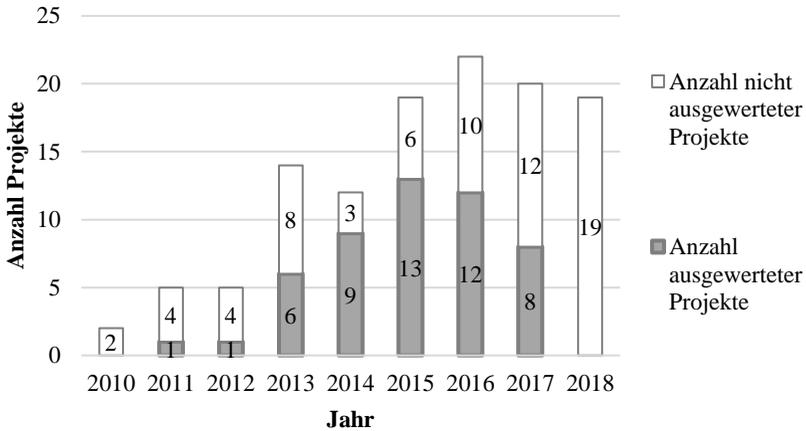


Abbildung 39: Anzahl der Projekte im Verlauf der Jahre

Aus den Jahren 2011 bis 2013 ist nur eine geringe Anzahl an Projekten in der Auswertung enthalten. Dies hängt auf der einen Seite mit der Aussortierung auf Grund des ersten Filters und der überholten Methodik¹⁰ im Verlauf der Jahre zusammen. Ein weiterer Grund ist die Implementierungsgeschwindigkeit der Methode im betrachteten Unternehmen. Im Jahr 2010 wurde die Methodik eingeführt und die Projektanzahl erst im Anschluss stetig erhöht. 2017 sinkt die Anzahl der ausgewerteten Projekte wieder ab. Dies hängt mit der zweiten Filterung zusammen. Viele Projekte befinden sich gerade in der Planung oder kurz vor der Ausführung.

¹⁰ Im Laufe der ersten Jahre wurde die Methodik mehrfach verändert. Bei überholter Methodik werden die Daten unterschiedlich aufbereitet.

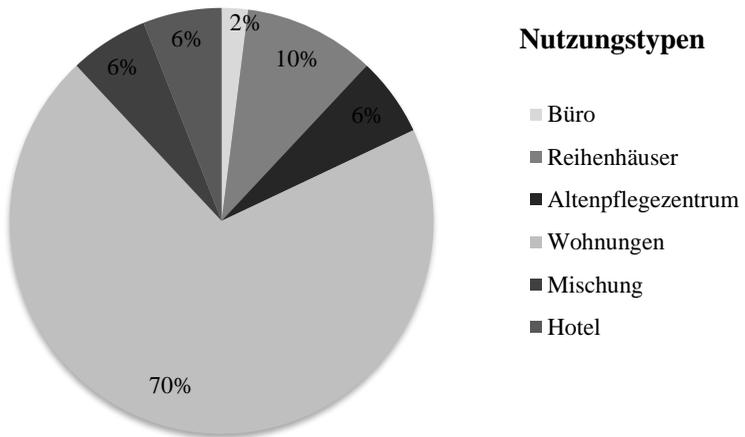


Abbildung 40: Aufteilung der Projekte nach Nutzungstypen

Abbildung 40 zeigt die Verteilung der verschiedenen Projekte hinsichtlich der Nutzungstypen. Die ausgewählten Projekte können in fünf Nutzungstypen oder einer Mischung daraus zugeordnet werden. Alle Projekttypen stammen aus dem schlüsselfertigen Innenausbau. Ein Großteil der Projekte sind Wohnungsbauprojekte (70 %). Dies liegt keinesfalls an der besonderen Eignung dieser Methode bei diesem Nutzungstyp, sondern in der schwerpunktmäßigen Konzentration des Unternehmens auf dieses Segment. Die Kategorie Mischung vereint mehrere Nutzungstypen in einem Bauvorhaben. Die häufigste Kombination ist die Mischung aus Reihenhäusern und Wohnungsbauten.

Die ausgewählten Projekte werden mit Hilfe der fünf Kennzahlen aus Tabelle 8 untersucht. Die Untersuchung wird in den folgenden drei Kapiteln, die nach den jeweiligen Eigenschaften gegliedert sind, beschrieben.

5.3 Auswertung der Eigenschaft ‚Rhythmus‘

5.3.1 Rhythmus der Vorgangslänge

Die Eigenschaft Rhythmus wird aus der Produkt- sowie Arbeitskraftperspektive betrachtet. Nachfolgend werden die These 1 und 2 kritisch hinterfragt und anhand einer empirischen Analyse von Praxisdaten überprüft.

In den verschiedenen Projekten werden die drei Taktzeiten Tag, zwei Tage und eine Woche eingesetzt. 14 % der Arbeitspakete besitzen eine geplante Vorgangslänge von zwei Tagen, rund 7 % von einem Tag und die restlichen 79 % eine Taktzeit von einer Woche.

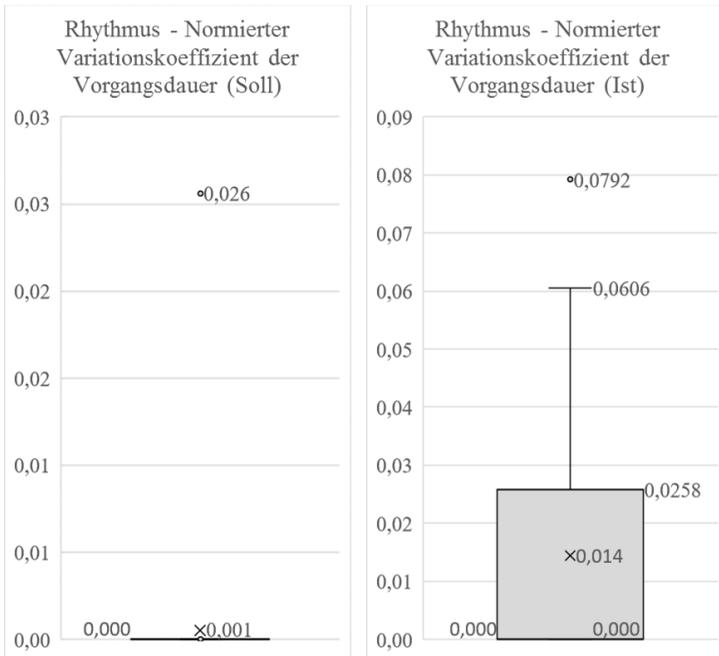


Abbildung 41: Normierter Variationskoeffizient der Vorgangsdauer im Soll- und Ist-Zustand

Abbildung 41 zeigt die Ergebnisse der Auswertung in Form einer Box-Whisker-Plot, kurz Boxplot genannt. Dies ist eine explorative Methode,

um den Median (hier ein Kreuz), das obere und untere Quantil und Dezil darzustellen. Der Bereich zwischen den Quantilen wird als grauer Kasten visualisiert. Die Dezile (hier 10% und 90%) werden mit einer kleinen Antenne, oben und unten am Kasten angehängt, abgebildet. Einzelne Punkte zeigen die Extremwerte, auch Ausreisser genannt. (vgl. Becker u. a. 2016, S. 62 f.) Dieser Diagrammtyp eignet sich gut, um die Streuung der Einzelwerte darzustellen (vgl. Falk u. a. 2014, S. 26).

Über alle Arbeitspakete verteilt weichen im Soll-Zustand des Taktplans 0,30 % der geplanten Arbeitspakete in der Taktzeit ab. Im Ist-Zustand steigt diese Anzahl auf 0,97 % an. Die geringen Prozentzahlen können sich daraus ergeben, dass im Normalfall bei einer Taktzeitüberschreitung das Arbeitspaket auf zwei Waggons verteilt wird. Die Grenzen zwischen den neuen Arbeitspaketen werden klar definiert.

Wird die Kennzahl „Normierte Abweichung der Vorgangsdauer“ aus Kapitel 4.5.1 und 4.5.2 herangezogen, so ergibt sich für das Gesamtprojekt eine durchschnittliche Abweichung von 0,001 für den Soll-Taktplan und 0,014 für den Ist-Zustand (siehe Abbildung 41). Die genauen Werte sind in Anhang 9 aufgelistet.

Im Soll-Zustand gibt es nur zwei Projekte, die von der Taktzeit abweichende Prozessdauern besitzen. Im Ist-Zustand ist in 18 von 44 Projekten eine Abweichung vorhanden, die jedoch nicht sehr hoch ausfällt.

5.3.2 Schlussfolgerung zum Rhythmus in der Vorgangsdauer

Die beiden Perspektiven wurden bei der vorherigen Analyse ganzheitlich betrachtet und ein Durchschnittswert für das Gesamtprojekt ermittelt. Die Analyse zeigt auf, dass es innerhalb der Fallstudie zu geringen Abweichungen im Soll- und Ist-Zustand kommt. Ein exakter mathematischer Nachweis kann somit nicht vollständig geführt werden. Die kleineren Abweichungen können damit begründet werden, dass es sich um Daten handelt, die von Menschen erzeugt werden. Daraus folgend können zu den Thesen 1 und 2 folgende Aussage getroffen werden:

Aussage zu These 1: In getakteten Bauproduktionssystemen ist der Rhythmus aus Arbeitskraftperspektive durch eine manuell nivellierte Vorgangsdauer in der Praxis erreichbar.

Aussage zu These 2: In getakteten Bauproduktionssystemen ist der Rhythmus aus Produktperspektive durch eine manuell nivellierte Vorgangsdauer in der Praxis erreichbar.

Die beiden Thesen können durch die geringe Abweichung für die Praxis als bestätigt betrachtet werden.

5.4 Auswertung der Eigenschaft ‚Gleichmäßigkeit‘

5.4.1 Gleichmäßige Einteilung der Taktbereiche

Die Eigenschaft Gleichmäßigkeit wird nur aus der Arbeitskraftperspektive ausgewertet (vgl. Kapitel 4.3.2). Somit wird nur das Untersuchungsfeld 3 des Arbeitsflussbewertungssystems betrachtet.

Der normierte Variationskoeffizient für die ausgewerteten 50 Projekte ist in der Abbildung 42 dargestellt. Die Auswertung zeigt auf, dass es beinahe in allen Projekten zu Abweichungen in der Taktbereichsgröße kommt.

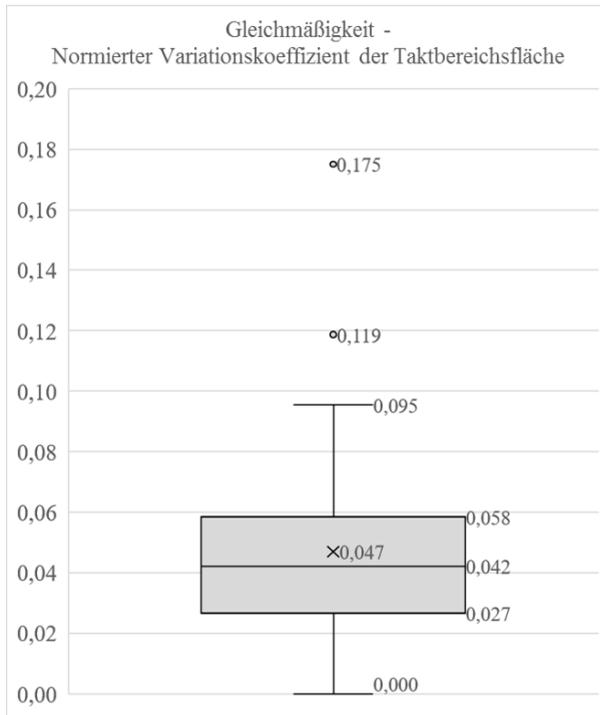


Abbildung 42: Gleichmäßigkeit aus Arbeitskraftperspektive – Normierter Variationskoeffizient der Taktbereichsfläche

Bei den Projekten mit einem geringen Variationskoeffizienten handelt es sich um architektonisch klar strukturierte und sehr gleichmäßige Gebäude. Hier ist im architektonischen Aufbau des Gebäudes ein hoher Wiederholeffekt erkennbar.

Die maximale normierte Abweichung liegt im Projekt P13 bei $\vartheta^*_F = 0,175$. Bei den Projekten mit einer höheren Abweichung sind unterschiedliche Gründe für den erhöhten Variationskoeffizienten festzustellen. P13 ist ein Bauvorhaben, das aus elf Reihenhäusern besteht. Der hohe Wert im Variationskoeffizient lässt sich dadurch begründen, dass entweder ein ($\approx 127 \text{ m}^2$) oder zwei ($\approx 254 \text{ m}^2$) Reihenhäuser zu einem Taktbereich zusammengelegt wurden. Hier wurde eine Unterart des Softstarts angewandt. Bei einem Zug ist der Softstart

(siehe Steuerungsmöglichkeit 8 in Tabelle 3) nicht direkt möglich. Um diesen Effekt dennoch zu nutzen, können die ersten Taktbereiche kleiner gewählt werden. Das Projekt P23 mit einem $\vartheta^*_F = 0,095$ besteht dagegen aus einem Geschosswohnungsbau und Reihenhäusern. Für die Taktbereiche wurden zwei Reihenhäuser ($\approx 290 \text{ m}^2$) oder mehrere Wohnungen ($\approx 160 \text{ m}^2$) eingeteilt. P39 weist einen Wert $\vartheta^*_F = 0,119$ auf. Hier sind nur sieben Taktbereiche vorhanden. Die Fläche des Taktbereich 1 wurde auf Grund des Softstarts kleiner gewählt. Für Taktbereich 7 bleibt nur eine kleinere Einheit bei der Aufteilung über. Die drei erläuterten Beispiele weisen erhöhte Schwankungen in der Taktbereichsgröße auf, die maßgeblich durch die Architektur des Gebäudes bestimmt werden. Es kann kein Zusammenhang zwischen Ausreißern und sonstigen Gebäudeparametern wie Gebäudeart oder der Taktbereichsgröße festgestellt werden. Die Annahme, dass die Taktbereichseinteilung von der architektonischen Aufteilung bestimmt und begrenzt wird, kann hier bestätigt werden.

Ein sehr geringer Wert von $< 0,001$ wird nur in fünf Projekten erreicht. Der durchschnittliche normierte Variationskoeffizient liegt bei 0,047. Dieser Wert kann als sehr gering eingestuft werden. Werden die beschriebenen Ausreißer nach oben nicht betrachtet, so kann die These 3 bestätigt werden. Durch den Ansatz der SRE kann ein gleichmäßiger Produktionsumfang erreicht werden.

5.4.2 Schlussfolgerung zur gleichmäßigen Einteilung der Taktbereiche

Die Auswertung zeigt auf, dass die Einteilung der Taktbereiche in der Praxis Schwankungen und Unregelmäßigkeiten aufweist. Durchschnittlich können diese Schwankungen als sehr gering eingestuft werden. Einige Beispiele im unteren Quantil deuten jedoch darauf hin, dass in der Praxis durch den Ansatz der Standardraumeinheit eine fast vollständige Nivellierung der Taktbereichsgrößen möglich ist. In These 3 wird ausgeführt, dass die Gleichmäßigkeit des Produktionsumfangs aus Arbeitskraftperspektive in getakteten Bauproduktionssystemen durch den Ansatz der SRE als gegeben betrachtet werden kann. Aus der bisherigen Auswertung wird folgende Aussage abgeleitet.

Aussage zu These 3: Die Gleichmäßigkeit der Taktbereichsgröße kann trotz kleiner Schwankungen aus der praktischen Sichtweise als vorhanden betrachtet werden. Somit herrscht eine gleichmäßige Auslastung für die Arbeitskräfte.

Die These wird in diesem Kapitel aus Sicht der Praxis bestätigt. Dennoch beeinflusst der architektonische Aufbau des Gebäudes die Wahl der Taktbereiche. Bei den weiteren Beispielen stellt sich die Frage, ob hier die optimale Zusammensetzung hinsichtlich der gleichmäßigen Taktbereichsgröße gewählt wurde. Beispielsweise kann für die Übersichtlichkeit oder durch sonstige Einflussgrößen wie Kundenentscheidungen eine andere Einteilung der Taktbereiche für einzelne Projekte sinnvoll sein. Für die gleichmäßige Einteilung der Taktbereiche wird kein systematischer und direkt beeinflussbarer Verbesserungsansatz aus Sicht des GU identifiziert.

5.5 Auswertung der Eigenschaft ‚Kontinuität‘

In Kapitel 4.5 werden die ungefüllten Waggons im Taktplan als entscheidende Messgröße identifiziert, die sich auf die Kontinuität auf Normebene aus der Arbeitskraft- wie auch der Produktperspektive auswirkt. In diesem Kapitel werden die ungefüllten Waggons in den Taktplänen in Form der Kennzahl Arbeitsflusseffizienz analysiert. Da die Kennzahlen der beiden Untersuchungsfelder 1 und 2 sehr nahe beieinander liegen, werden diese gemeinsam im Folgeabschnitt analysiert.

5.5.1 Flusseffizienz aus beiden Perspektiven

Die Taktpläne im Soll-Zustand sind einheitlich gefüllt. Im Soll-Zustand sind nur vereinzelte Lücken, auch als ungefüllte Waggons bezeichnet, erkennbar. Insgesamt sind im Soll-Zustand 1683 ungefüllte Waggons über alle Projekte hinweg vorhanden. Dies entspricht durchschnittlich rund 33,7 ungefüllten Waggons pro Projekt und 1,4 Waggons pro Taktbereich. Aus Sicht der Arbeitskraft ergeben sich keine Leerwaggons im Soll-Zustand. In 21 Projekten sind im Soll-Zustand keine ungefüllten Waggons enthalten. Die Ergebnisse der hohen durchschnittlichen Soll-Werte der Arbeitsflusseffizienz von über 90 %

bestätigen (vgl. Tabelle 10), dass der Soll-Taktplan als Ergebnis der Taktplanung eine Art Idealbild zur Zielerreichung widerspiegelt.

Während der Bauphase kommt es zu Ereignissen, die sich auf den Taktplan auswirken. Dies führt dazu, dass im Ist-Zustand naturgemäß deutlich mehr Lücken im Taktplan enthalten sein müssten. Die Auswertung bestätigt die Aussage. Im Ist-Zustand sind insgesamt 7739 ungefüllte Waggons vorhanden. Dies entspricht einer Steigerung von rund 460 %. Mit Ausnahme eines Projekts wurde in allen anderen Projekten eine Zunahme der ungefüllten Waggons festgestellt. Im Ist-Zustand gibt es kein Projekt ohne ungefüllte Waggons. Durchschnittlich sind im Ist-Zustand 175,9 ungefüllte Waggons pro Projekt und 6,6 ungefüllte Waggons pro Taktbereich vorhanden. In Einzelfällen wurde die Anzahl von keinem ungefüllten Waggon im Soll-Zustand auf über 400 Waggons im Ist-Zustand des Projektes gesteigert. Die Treppenstufen-Systematik im Taktplan ist so nicht mehr optisch wahrnehmbar. Bezogen auf die Flusseffizienz ergeben sich Werte von 80 % aus der Arbeitskraftperspektive und 68 % aus der Produktperspektive. Tabelle 10 stellt die Ergebnisse gegenüber.

Tabelle 10: Übersicht der Flusseffizienzen und deren Veränderungen in Prozentpunkten

	Soll	Ist	Differenz [Prozentpunkte]
AE_{AKP}	98,02 %	80,00 %	18,02
AE_{POP}	93,52 %	68,00 %	25,52
Differenz [Prozentpunkte]	4,50	12,00	

Wird die Kontinuität in der ausgewählten Kennzahl ‚Arbeitsflusseffizienz‘ grafisch aufgetragen, so ergibt sich für die Projektauswahl die Abbildung 43. Diese zeigt die Effizienzmatrix mit der Arbeitsflusseffizienz aus Arbeitskraftperspektive auf der Ordinate und der Produktperspektive auf der Abszisse. Die orangen markierten Punkte zeigen den Soll-Zustand und die blauen Punkte den Ist-Zustand. Die hervorgehobenen Punkte bilden den Durchschnitt. Werden die vier Zonen gleichmäßig bei einer Flusseffizienz von 0,5 (50 %) abgegrenzt, so befinden sich beinahe alle Punkte in der ‚perfekten Zone‘.

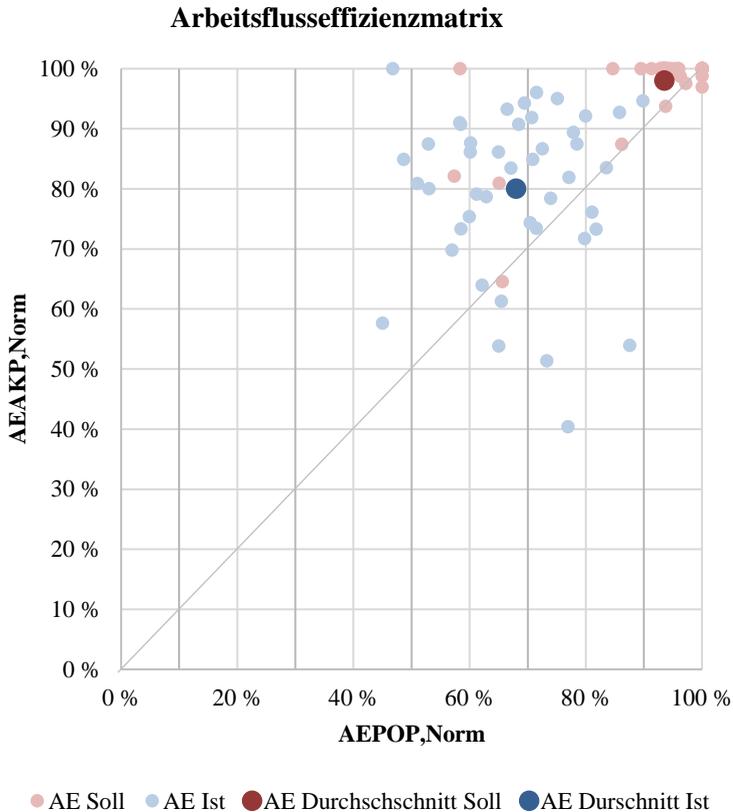


Abbildung 43: Arbeitsflusseffizienzmatrix der ausgewerteten Projekte

Auffällig ist dabei, dass die Arbeitsflusseffizienz aus Arbeitskraftperspektive durchschnittlich besser ausgeprägt ist, da die Punkte eher oberhalb bzw. links der diagonalen Achse liegen. Im Soll-Zustand ergibt sich eine Differenz von 4,6 Prozentpunkten und im Ist-Zustand von 12 Prozentpunkten. Vom Soll- zum Ist-Zustand ist eine klare Abnahme der Effizienzen aus beiden Perspektiven erkennbar. Tabelle 10 bildet dies deutlich ab. Die Arbeitsflusseffizienz aus

Produktperspektive sinkt um über 25 Prozentpunkte. Aus der Arbeitskraft-perspektive ist eine Differenz von über 18 Prozentpunkten messbar.

Die Änderungen vom Soll- in den Ist-Bereich entstehen nicht rein zufällig, sondern resultieren aus der Taktsteuerung, die aktiv mit verschiedenen Aktionen auf die Ereignisse der Baustelle reagiert. Die Aktionen werden als Mechanismen bezeichnet und ziehen verschiedene Konsequenzen hinsichtlich des Arbeitsflusses für den Taktplan nach sich.

5.5.2 Schussfolgerung zur Flusseffizienz

Die Eigenschaft Kontinuität ist sowohl aus der Arbeitskraftperspektive wie auch aus der Produktperspektive im Soll-Zustand auf Normebene sehr gut ausgeprägt und kann laut Tabelle 7 als vorhanden klassifiziert werden. Beinahe alle Punkte befinden sich im oberen Quadranten. Zu beachten gilt, dass in den ausgewerteten Projekten des Fallbeispiels bereits Produktoptimierungen, wie der Einsatz eines Estrichbeschleunigers, stattgefunden haben. Im Ist-Zustand nimmt die Kontinuität in beiden Perspektiven ab. Der Grund sind externe Einflüsse, die zu Störungen in Form von Lücken im Taktplan führen. An dieser Stelle der Arbeit können noch keine weiterführenden Aussagen zu den Gründen und den Zusammenhängen der beiden Flusseffizienzen getroffen werden. Hierfür sind weitere Analysen notwendig. Auffällig ist jedoch, dass die Kontinuität aus Arbeitskraftperspektive im Ist-Zustand noch als vorhanden kategorisiert werden kann, wohingegen die Kontinuität aus der Produktperspektive unter die 75 % Hürde sinkt.

Zu den aufgestellten Thesen können folgende Aussagen abgeleitet werden:

Aussage zu These 4: Die Kontinuität aus der Arbeitskraftperspektive ist in getakteten Systemen im Soll-Zustand sehr ausgeprägt vorhanden. Im Ist-Zustand sinkt die Kontinuität, kann dennoch als vorhanden klassifiziert werden.

Aussage zu These 5: Die Kontinuität aus der Produktperspektive ist in getakteten Systemen durch den Gewerkezug im Soll-Zustand ausgeprägt vorhanden. Jedoch müssen Trocknungszeiten optimiert werden. Im Ist-Zustand kann diese

These nicht bestätigt werden, da laut Tabelle 7 nur eine spürbare Kontinuität vorhanden ist.

5.6 Zusammenfassung der Auswertung getakteter Projekte

Das Kapitel 5 untersucht anhand einer Fallstudie die tatsächlichen Auswirkungen der TPTS Methode auf den Arbeitsfluss. Dabei werden die fünf Untersuchungsfelder aus Eigenschaften und Perspektiven des Fluss-Bewertungssystems einzeln betrachtet und mit Hilfe der Projektdaten quantifiziert. Die Auswertung greift die Thesen aus Kapitel 4 auf.

Die Auswertung zeigt auf, dass für die Praxis die Eigenschaft Rhythmus durch den Takt vorhanden ist. Thesen 1 und 2 können aus der praktischen Sichtweise als bestätigt angesehen werden. Die Gleichmäßigkeit aus Arbeitskraftperspektive ist in den ausgewerteten Projekten sehr hoch ausgeprägt. These 3 kann somit aus Sicht der Praxis ebenfalls bestätigt werden.

Die Auswertung zeigt ebenfalls auf, dass die Kontinuität die beeinflussende Eigenschaft hinsichtlich des Flusses in dieser Arbeit darstellt. An dieser Stelle wird auf den Unterschied in der Betrachtung des Flusses zwischen Arbeitsfluss von Modig und Åhlström im Vergleich zu Nezval verwiesen. Nezval betrachtet die drei Eigenschaften ‚Kontinuität‘, ‚Rhythmus‘ und ‚Gleichmäßigkeit‘, Modig und Åhlström lediglich die Eigenschaft ‚Kontinuität‘. Hier entsteht zunächst ein vermeintlicher Widerspruch: Dieser Widerspruch lässt sich damit begründen, dass Modig und Åhlström von anderen Rahmenbedingungen ausgehen. In der stationären Industrie und bei der Massenproduktion von sehr ähnlichen Produkten kann die Gleichmäßigkeit des Produktionsumfangs als annähernd gegeben betrachtet werden. Hinzukommend steuert die stationäre Industrie ihre Prozesse sehr konsequent, da die Puffer bereits im System stark reduziert wurden und eine starke Abhängigkeit der Vorgänge besteht. Durch geringe Puffer kann bei einer Störung nicht an einzelnen Stationen weitergearbeitet werden und ein Bandstopp ist die Folge. Ist die Gleichmäßigkeit im Produkt gegeben, so ist die Dauer der einzelnen Vorgänge der Arbeitsstationen auch rhythmisiert. Hinzu kommt, dass die Produktion auch langfristig und auf

eine hohe Wiederholanzahl ausgelegt ist. Im Vergleich zur Projektabwicklung nimmt die An- und Auslaufkurve keine entscheidende Rolle ein. Der Rhythmus ist somit gegeben. Da die zwei Eigenschaften Rhythmus und Gleichmäßigkeit im Untersuchungsrahmen als gegeben angesehen werden können, nehmen diese Kenngrößen eine untergeordnete Rolle ein. Der Fokus zur Messung der Flussqualität kann in speziellen Fällen lediglich auf die Kontinuität gerichtet werden. Die Bestätigung der Thesen 1 bis 3 in diesem Kapitel lässt eine Beschränkung auf die Kontinuität ebenfalls zu.

Zur Verbesserung des Flusses wird folglich die Eigenschaft Kontinuität näher betrachtet. Hier konnten in Kapitel 5 folgende Kernaussagen getroffen werden:

- ⇒ Die Kontinuität im Arbeitsfluss verschlechtert sich vom Soll- zum Ist-Zustand.
- ⇒ Die Kontinuität aus der Arbeitskraftperspektive ist besser ausgeprägt als die Kontinuität aus der Produktperspektive.

Übergeordnet kann folgende Aussage getroffen werden: Durch die Taktplanung ist es möglich einen guten Fluss zu integrieren, da die Eigenschaften ‚Rhythmus‘, ‚Gleichmäßigkeit‘ und ‚Kontinuität‘ vorhanden sind. Während der Ausführung kann die Eigenschaft ‚Kontinuität‘ durch Steuerungseingriffe negativ beeinflusst werden. Dieser Punkt wird in Kapitel 6 aufgegriffen. Dabei wird diese Eigenschaft vertieft analysiert und die Gründe für die Auswirkungen spezifiziert. Auf dieser Basis können anschließend Verbesserungsansätze abgeleitet werden.

6 Verbesserung der Kontinuität

6.1 Vorbemerkung

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse aus Kapitel 5 mit Hilfe weiterer Analysen zur Kontinuität ergänzt. Dadurch werden die detaillierten Zusammenhänge nachvollzogen, um die Flusseigenschaft ‚Kontinuität‘ verbessern zu können. Zunächst wird auf den Einfluss der Taktzeit eingegangen. Die Füllung der Waggons und die Differenz zwischen Soll und Ist ergänzen die Untersuchungen. Im Anschluss werden Verbesserungsansätze inkl. konkreter Möglichkeiten abgeleitet. Eine praktische Anwendung der Flusseffizienzen rundet das Kapitel ab.

6.2 Einfluss der Taktzeit auf die Kontinuität

In der bisherigen Auswertung wurden verschiedene Taktzeiten wie Woche oder Tag und Taktbereichsgrößen wie beispielsweise $100 - 300 \text{ m}^2$ gleichgesetzt und direkt miteinander verglichen. Die Vergleichsgrößen bilden die Einheiten Taktzeit und Taktbereich. Aus den Ergebnissen der Projektauswertung in Kapitel 5 lässt sich nicht schlussfolgern, dass die Kontinuität aus der Produkt- und Arbeitskraftperspektive durch die Taktzeit und Taktbereichsgröße beeinflusst wird. Zunächst werden die Flusseffizienzen der Taktzeit gegenübergestellt. In Abbildung 44 sind die verschiedenen Taktzeiten Woche (orange), 2 Tage (blau) und 1 Tag (grün) farblich markiert. Die grünen Punkte des Tagestaktes befinden sich eher links und unterhalb des Durchschnitts (dunkelblauer Punkt). Die blauen Punkte dagegen rechts und oberhalb des Durchschnitts. Eine klare Tendenz des Einflusses der Taktzeit ist nicht erkennbar.

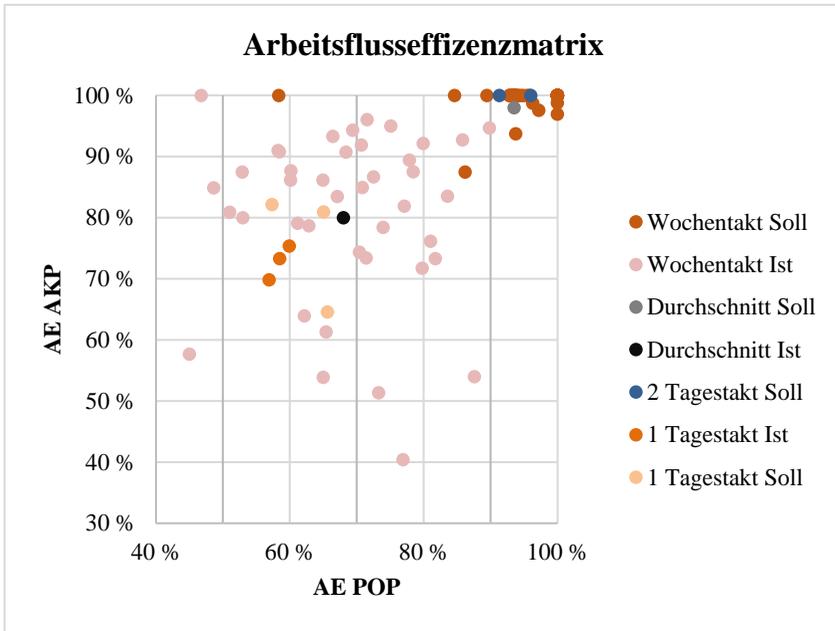


Abbildung 44: Arbeitsflusseffizienzmatrix mit verschiedenen Taktzeiten

Die Verschlechterung zwischen dem Ist- und Soll-Zustand ist durchgängig bei allen Taktzeiten mit Ausnahme eines Projektes erkennbar.

Tabelle 11 stellt die durchschnittlichen Flusseffizienzen und die Differenzen zwischen Soll- und Ist-Zustand einander gegenüber. Bei Projekten mit einer Taktzeit von einer Woche liegt der durchschnittliche Unterschied zwischen Soll und Ist bei über 18 Prozentpunkten aus Sicht der Arbeitskraftperspektive. Bei Projekten mit einer kurzen Taktzeit von einem Tag liegt der Unterschied im Mittel deutlich geringer bei knapp über drei Prozentpunkten. Für die Projekte mit einer Taktzeit von zwei Tagen gibt es keine Auswertung im Ist-Zustand.

Tabelle 11: Übersicht der Flusseffizienzen nach Taktzeiten

	Soll [%]		Ist [%]		Soll – Ist [Prozent- punkte]	
	AE _{POP}	AE _{AKP}	AE _{POP}	AE _{AKP}	AE _{POP}	AE _{AKP}
Durchschnitt gesamt	93,5	98,0	68,0	80,0	25,5	18,0
Durchschnitt Tag	62,7	75,9	58,5	72,9	4,2	3,0
Durchschnitt 2 Tage	93,7	100,0	-	-		
Durchschnitt Woche	95,6	99,4	68,7	80,5	26,9	18,9

Die grünen Punkte in Abbildung 44 liegen bei beiden Perspektiven deutlich unterhalb der restlichen Punkte. Dies deckt sich mit den Durchschnittswerten aus Tabelle 11. Beispielsweise liegt die durchschnittliche AE_{POP} im Soll-Zustand bei über 95 % für den Wochentakt und bei 62 % für den Tagestakt.

An dieser Stelle wird die Frage diskutiert, ob und wie sich die Taktzeiten besser miteinander vergleichen lassen. Hier muss ein genauerer Blick auf die Zusammensetzung geworfen und die beiden Größen Taktzeit und Taktbereich absolut betrachtet werden, sodass eine Vergleichbarkeit gegeben ist. Ein theoretisches Beispiel soll dies verdeutlichen:

Beim Bau eines Altenpflegezentrums wird pro Woche (fünf Tage pro Woche) ein Taktbereich von fünf Pflegezimmern bearbeitet. Das Beispielgewerk setzt dabei zwei Mitarbeiter für das Arbeitspaket ein. Für die fünf Zimmer sind die beiden Mitarbeiter die ganze Woche beschäftigt. Es werden somit zehn Personentage bzw. fünf Arbeitstage benötigt. Heruntergebrochen fallen auf ein Zimmer zwei Personentage an. Falls die Trocknungszeit dies zulässt, könnte die Taktzeit auf einen Tag und der Taktbereich auf ein Zimmer reduziert werden. Die Leistung ist weiterhin konstant. Der Unterschied ist, dass bereits nach dem ersten Tag der Raum einem anderen Gewerk übergeben werden kann. Die

Arbeitsflusseffizienz aus Produktperspektive wird verbessert und die Durchlaufzeit des Raumes stark gesenkt.

Das Beispiel zeigt, dass dieser Ansatz lediglich eine Auswirkung auf die Produktperspektive, jedoch nicht auf die Arbeitskraftperspektive hat. Um die Auswirkungen und Potenziale in der Produktperspektive auszuwerten, werden die Projekte im Wochentakt über ein theoretisches Modell auf die kleinste gemeinsame zeitliche Einheit (hier Tagestakt) und räumliche Einheit (SRE: hier Pflegezimmer, Hotelzimmer, Wohneinheit) heruntergebrochen. Auch hier soll ein Beispiel, das in Abbildung 45 dargestellt ist, das Vorgehen und die Idee verdeutlichen:

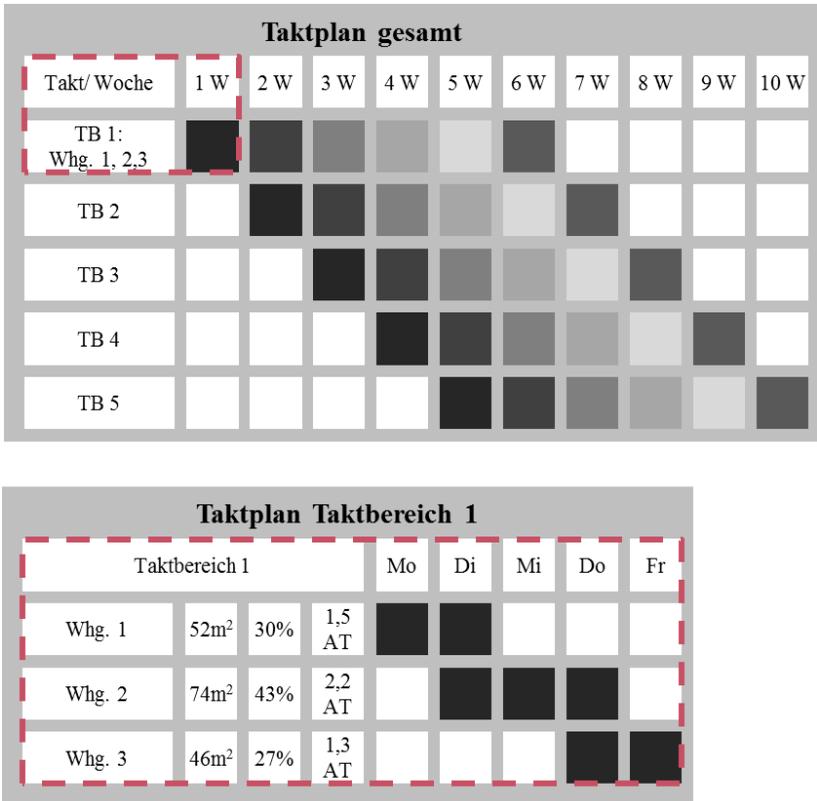


Abbildung 45: Beispiel - Normierung der Matrixachsen zur Flusseffizienzauswertung

Das Beispiel zeigt die Normierung eines Waggons der ersten Woche und des ersten Taktbereichs (TB1). Der Taktbereich besteht aus drei Wohnungen mit insgesamt 172 m². Der untere Teil der Abbildung zeigt diesen Bereich detailliert aufgeteilt. Die einzelnen Wohnungen werden als separate Taktbereiche angelegt. Ebenfalls wird die Taktzeit von einer Woche auf fünf Taktzeiten mit einem Arbeitstag aufgeteilt. Mit diesem theoretischen Vorgehen wird der neue Taktplan gefüllt. Die neue Prozessdauer wird über das Verhältnis der Taktbereichsgröße berechnet. Dabei entsteht für den Taktbereich Whg. 1 eine neue Prozessdauer von 1,5 Arbeitstagen ($52 \text{ m}^2 / 174 \text{ m}^2 \times 5 \text{ AT} = 1,5 \text{ AT}$). Im Taktplan wird dieser Vorgang auf zwei volle Taktzeiten aufgerundet. Mit der

Aufrundung wird die Flusseffizienz aus Produktperspektive negativ beeinflusst und die Ergebnisse leicht geglättet. In der Realität würden die Ergebnisse wahrscheinlich etwas stärker ausgeprägt sein. Bei diesem Beispiel sinkt die Flusseffizienz für Whg. 1 von 100 % auf 40 %, da 3/5 der Woche keine Arbeitskraft das Produkt bearbeitet.

Für die Auswertung werden 16 Projekte mit einem Wochentakt nach dem Zufallsmodus ausgewählt und über das theoretische Modell von einem Wochentakt bzw. Zweitages-Takt auf einen Tagestakt heruntergebrochen. Zwei weitere Projekte (P49 und P50), mit einer Taktzeit von zwei Tagen, erweitert die Auswertung. Ein beispielhafter Auszug eines Taktplans aus dem Projekt P16 befindet sich im Anhang 10. Die weiteren Taktpläne sind im digitalen Anhang B. Dabei ergeben sich die neuen Flusseffizienzen in Tabelle 12.

Tabelle 12: Übersicht der Flusseffizienzen aus Produktperspektive

Nr.	Projekt	AE_{POP,Soll} (Basis ur- spr. Takt- zeit) [%]	AE_{POP,Soll} (Basis Tag und SRE) [%]	AE_{POP,Ist} (Basis ur- spr. Takt- zeit) [%]	AE_{POP,Ist} (Basis Tag und SRE) [%]
1	P3	100,0	59,6	78,4	30,5
2	P7	92,9	23,7	69,4	19,9
3	P12	93,3	56,2	69,4	41,5
4	P16	93,3	43,7	66,4	28,4
5	P17	93,8	35,3	66,4	30,6
6	P18	94,1	40,4	61,2	28,2
7	P20	93,3	60,0	61,2	39,0

Fortsetzung Tabelle 12:

8	P22	100,0	52,8	-	
9	P29	100,0	51,7	75,1	34,9
10	P30	100,0	57,3	75,1	43,3
11	P32	100,0	51,1	58,3	35,0
12	P33	100,0	48,3	62,8	34,8
13	P37	100,0	29,7	58,3	17,1
14	P38	95,5	49,0	62,8	32,2
15	P39	100,0	70,9	73,3	51,7
16	P40	100,0	61,6	60,2	36,6
	Ø	97,3 %	49,5 %	66,6 %	33,6 %
17	P49	96,0	58,7		
18	P50	90,3	62,4		
	Ø	93,2 %	60,5 %		

Alle 16 Projekte im Wochentakt (P3 – P40) zeigen die gleiche Tendenz. Durchschnittlich sinkt die Flusseffizienz von einer Wochenbasis zu einer Tagesbasis um rund 48 Prozentpunkte im Soll-Zustand und 33 Prozentpunkten im Ist-Zustand. Dies entspricht ungefähr einer Halbierung der Effizienz. Die neuen AE sind in Abbildung 46 mit einem Diakritika gekennzeichnet. Die Werte für die Arbeitsflusseffizienzen aus Arbeitskraftsicht stammen aus der Tabelle 11.

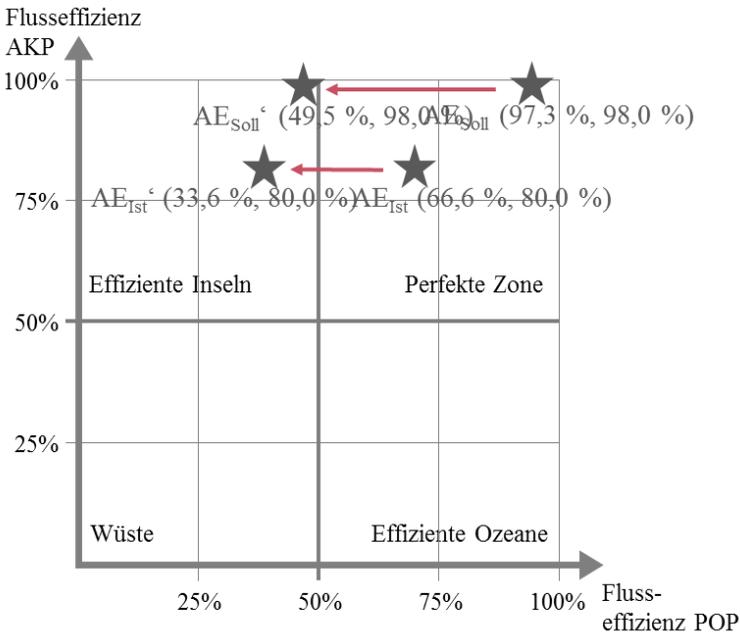


Abbildung 46: Einfluss der absoluten Betrachtung der Taktplanachsen auf die Kontinuität (vgl. Modig und Åhlström 2015, S. 112)

Bei den Projekten im Zweitages-Takt ist ein Verlust der Flusseffizienz von rund 33 Prozentpunkten im Soll-Zustand vorhanden. Der Ist-Zustand kann nicht verglichen werden. Die Auswirkungen werden anhand der Effizienzmatrix dargestellt. Die Arbeitsflusseffizienz aus Arbeitskraftperspektive bleibt unverändert. Deshalb entsteht eine horizontale Verschiebung der Positionen in der Matrix. Sowohl im Ist- als auch im Soll-Zustand verlässt die Arbeitsflusseffizienz die ‚perfekte Zone‘ und erreicht den Status ‚Effiziente Inseln‘. Ein theoretisches Potenzial von 48 Prozentpunkten im Soll-Zustand wird festgestellt

Die Ergebnisse zeigen auf, dass eine Vergleichbarkeit der Flusseffizienz nur vorhanden ist, wenn die Achsen des Taktplans auf ähnlichen Werten basieren. Durch eine Reduzierung der Detailtiefe, werden die Ergebnisse der Flusseffizienz positiv verfälscht. Durch die detaillierte Betrachtung zeigen sich die

positiven Effekte einer Taktbereichsverkleinerung und Taktzeitreduzierung deutlich, da kurze Taktzeiten eine höhere Arbeitsflusseffizienz aufweisen.

6.3 Füllung der Waggon

In Kapitel 5.2.1 wird beschrieben, dass sich der Einflussbereich eines GU primär auf der Normebene befindet. Dadurch kann die Vereinfachung getroffen werden, dass nach der Taktplanung bzw. Harmonisierung die einzelnen Waggon vollständig gefüllt sind. Dieser Schritt dient zur Vereinfachung auf dem Weg von der Mikroebene zur Normebene. Im Taktplan können die einzelnen Kästchen somit vollständig gefüllt dargestellt werden. Es ergeben sich sehr hohe Arbeitsflusseffizienzen aus der Arbeitskraft- und Produktperspektive im Soll-Zustand. Ohne Berücksichtigung der praktischen Ressourceneinteilung ist dieser Zustand theoretisch möglich. In einer weiteren Analyse wird deshalb auf die Mikroebene eingegangen und der Füllgrad der Arbeitspakete ermittelt. Diese Ebene spielt in der Baustellensteuerung eine wichtige Rolle. Bisherige Auswirkungen weisen in einigen Fällen darauf hin, dass die Waggon nicht immer vollständig gefüllt sind. Ein Beispiel hierfür ist der Einsatz des Mechanismus Blockabfertigung¹¹. Dies kann mit einer durchgängig zu geringen Auslastung oder mit vereinzelt Schwankungen in der Taktbereichseinteilung zusammenhängen. In der Realität sind die Waggon folglich sehr wahrscheinlich nicht vollständig gefüllt und enthalten einen Puffer. Aus diesem Grund wird an dieser Stelle ein Blick auf die Mikroebene des 3-Ebenen-Modells geworfen. Diese Ebene steht nicht im Fokus der Arbeit. Aus diesem Grund sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass dieses Kapitel keine systematische Untersuchung der Flüsse auf der Mikroebene abbildet, sondern lediglich ergänzende Untersuchungen der Normebene beinhalten.

Zur Verdeutlichung zeigt Abbildung 47 ein fiktives Beispiel der Füllung der Waggon in einem Taktplan. Diese Füllung wird als Füllgrad (FG) bezeichnet.

¹¹ Weitere Informationen folgen in Kapitel 6.4.1

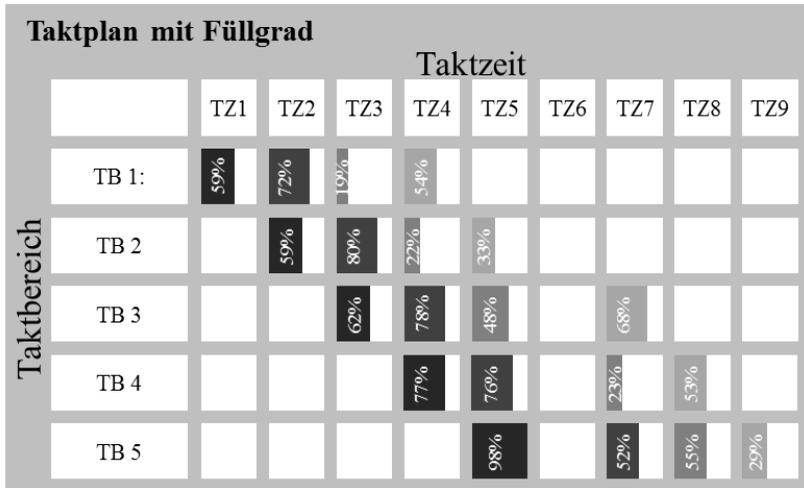


Abbildung 47: Füllgrad der Waggon

Der Waggon in TB1 zur TZ1 weist einen Füllgrad von 59 % auf. Die restlichen 41 % der Taktzeit werden nicht beansprucht und dienen als Puffer. Dieser Puffer muss auf der Baustelle transparent sein und aktiv in die Steuerung einbezogen werden. Je mehr Puffer vorhanden ist, desto sicherer kann die Taktzeit eingehalten werden. Im Gegensatz dazu sind diese Puffer ungenutzter Zeitraum ohne Wertschöpfung aus Sicht des Produktes und führen zu längeren Fertigstellungszeiten. Aus Sicht der Arbeitskraft führen zu große Puffer im Waggon am Ende der Taktzeit zu langen Stillstandzeiten und das System lässt sich für die Nachunternehmer nicht mehr wirtschaftlich abbilden. Der Nachunternehmer verfolgt das Interesse einer hohen Auslastung seiner Mitarbeiter. Kommt es nun in der Praxis zu überdimensionierten Puffern, so werden die Arbeitskräfte auf andere Baustellen abgezogen oder es wird das Ziel verfolgt, Leistungen aus anderen Taktbereichen vorzuziehen und eine Blockabfertigung kann entstehen. Beide Varianten sorgen in der Praxis für einen erhöhten Steuerungsaufwand seitens der Bauleitung des GU.

Der Füllgrad wirkt sich somit direkt auf den Arbeitsfluss und die Kontinuität aus. Die Höhe der Beeinflussung hängt von der Ursache ab. Ist der Taktbereich an dieser Stelle zu klein gewählt und somit das Produkt die Ursache, so sind

die Auswirkungen hinsichtlich des Arbeitsflusses auf das Produkt sehr hoch. Kommt die Ursache aus der geringen Auslastung der speziellen Arbeitskraft, wie beispielsweise eines Estrichlegers, dann sind die Auswirkungen auf die Arbeitskraftperspektive des speziellen Gewerkes sehr hoch.

Um die qualitativen Beschreibungen der Auswirkungen zu quantifizieren, wird ein Kennwert für den Füllgrad aufgestellt und der durchschnittliche Füllgrad der Arbeitspakete des Projektes berechnet. Zunächst wird der durchschnittliche Füllgrad ermittelt.

$$\overline{FG} = \frac{\sum_{m=1}^n FG_m}{n}$$

Formel 14: Mittlerer Füllgrad der Arbeitspakete des Projektes

Hierin sind:

\overline{FG}_m : Durchschnittlicher Füllgrad der Arbeitspakete m
 n : Maximale Anzahl an Arbeitspaketen

$$\text{mit } FG_m = \frac{VD_m}{TZ_m}$$

Formel 15: Füllgrad der Arbeitskraftperspektive (in Anlehnung an Binninger u. a. 2016b, S. 57)

Hierin sind:

TZ_m : Taktzeit des Arbeitspakets m
 VD_m : Vorgangsdauer des Arbeitspaketes m

$$\text{mit } VD_m = \sum_{x=1}^y \frac{V_x * AW_x}{8 \left[\frac{h}{d} \right] * MA_x}$$

Formel 16: Dauer des Arbeitspaketes (vgl. Binninger u. a. 2016b, S. 57)

Hierin sind:

V_x : Auszuführender Arbeitsinhalt (Masse bzw. Volumen) des Arbeitsschrittes x
 AW : Aufwandswert des jeweiligen Arbeitspaketes
 MA : Anzahl der Mitarbeiter des jeweiligen Arbeitspaketes

Mit Hilfe der Formeln sollen Werte ermittelt und darauf aufbauend Aussagen zur Waggonfüllung getroffen werden. Hierfür werden ausgewählte Projekte gesondert aufbereitet. Die Auswahl der Projekte erfolgt nach der Datenqualität

aus der Taktplanung. Dabei wurden die Auslastungsdiagramme aus dem harmonisierten Zustand als Ausgangsbasis verwendet. Lediglich einige kleinere Logik- und offensichtliche Datenfehler wurden ausgeräumt. 30 Projekte haben die Anforderungen an die Datenqualität erfüllt. Abbildung 48 zeigt den durchschnittlichen Füllgrad der 30 Projekte in Form einer Boxplot-Darstellung. Die Datentabelle zu den einzelnen Füllgraden befindet sich im Anhang 11. Alle weiteren Berechnungen zum Füllgrad sind im sind im digitalen Anhang C zu finden.

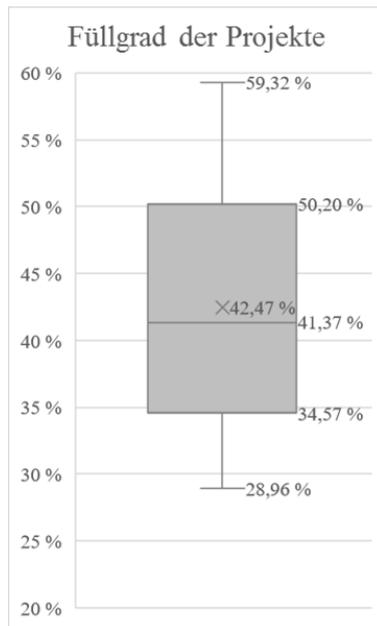


Abbildung 48: Durchschnittlicher Füllgrad der Waggon für alle untersuchten Projekte in %

Der durchschnittliche Füllgrad der Waggon für alle untersuchten Projekte liegt bei ca. 40,0 %. Der maximale Füllgrad wird im Projekt P46 mit ca. 64,0 % erreicht. Das bedeutet, dass die Nachunternehmer im besten Fall theoretisch nur 64,0 % ihrer Zeit ausgelastet sind. Natürlich gilt dies nur unter der Voraussetzung, dass die hinterlegten Aufwandswerte für den jeweiligen Nachunternehmer und die Situation passen.

Der durchschnittliche Füllgrad von 42,5 % erscheint gering und kann mit der Ermittlung der Aufwandswerte begründet werden. Hierbei werden nur die wertschöpfenden Tätigkeiten berücksichtigt. Verschwendungstypen Muda 1 und Muda 2 sind nicht enthalten. Einen großen Einfluss auf den Durchschnittswert haben die negativen Ausreißergewerke, die nur sehr schwierig mit der gewählten Geschwindigkeit des Systems in Einklang zu bringen sind. Zu den Vorgängen mit unterdurchschnittlichen Füllgraden gehören die in Tabelle 13 dargestellten Gewerke.

Tabelle 13: Übersicht negative Ausreißer auf Mikroebene

Gewerk / Vorgang	Füllgrad Wert	Bemerkung
Schreiner 1	4,5 %	Mindestanzahl 2 Arbeiter
Brandschutz	(11,3 %)	Wird nicht berücksichtigt, da nur ein Wert vorhanden
Estrich	33,1 %	Mindestanzahl 3 Arbeiter
HLS 2	13,8 %	Mindestanzahl 2 Arbeiter
Fliesen 1	22,3 %	Prozessbedingte Wartezeit (Trocknung)
Elektro 2	39,0 %	Prozessbedingt wenig Arbeitsinhalt
HLS 3	20,3 %	Prozessbedingt wenig Arbeitsinhalt
Schreiner 2	13,8 %	Mindestanzahl 2 Arbeiter
Metallbauer	(1,5 %)	Wird nicht berücksichtigt, da nur ein Wert vorhanden
Baureinigung	k. A.	Praxiserfahrung des Verfassers, keine Aufwandswerte vorhanden

Für den Vorgang Baureinigung kann keine empirische Aussage getroffen werden, da hier keine Berechnung über Aufwandswerte erfolgt. Die Praxiserfahrung des Verfassers zeigt eine klare Unterlast dieses Gewerkes. Die

Blockabfertigung dieses Gewerks in den Taktplänen bestätigt die Aussage. Der Metallbauer sowie der Brandschutz werden nicht näher betrachtet, da hier nur ein Wert aus der Mikroanalyse vorliegt. Die weiteren Gewerke haben prozessbedingt zu wenig Arbeit, da sie lediglich kleine Zuarbeiten liefern oder die Mindestanzahl an Mitarbeitern keinen höheren Wert (beispielsweise Estrich) zulässt.

Wird der Füllgrad mit den Erkenntnissen zur Arbeitsflusseffizienz auf Normebene verknüpft, so müssen die beiden Werte miteinander multipliziert werden. Dieser Wert wird als Arbeitsflusseffizienz Mikroebene (AE_{Mikro}) bezeichnet. Für die Arbeitsflusseffizienz aus der Arbeitskraftperspektive ergibt sich somit folgende Formel:

$$AE_{\text{AKP,Mikro}} = \text{FG} * AE_{\text{AKP,Norm}}$$

Formel 17: Arbeitsflusseffizienz Arbeitskraftperspektive auf Mikroebene

Hierin sind:

$AE_{\text{AKP, Mikro}}$: Arbeitsflusseffizienz aus der Arbeitskraftperspektive auf der Mikroebene

FG: Füllgrad

Norm: Normebene des 3-Ebenen-Modells

Aus der Produktsicht ergibt sich folgende Formel:

$$AE_{\text{POP,Mikro}} = \text{FG} * AE_{\text{POP,Norm}}$$

Formel 18: Arbeitsflusseffizienz Produktperspektive auf Mikroebene

Hierin sind:

$AE_{\text{POP, Mikro}}$: Arbeitsflusseffizienz aus der Produktperspektive auf der Mikroebene

FG: Füllgrad

Norm: Normebene des 3-Ebenen-Modells

Werden die vorhandenen Grundwerte in die Formeln eingesetzt, ergeben sich die Werte in Tabelle 14.

Tabelle 14: Arbeitsflusseffizienzen auf Mikro- und Normebene

	Norm	Füllgrad	Mikro
$AE_{AKP,Soll}$	98,0 %	42,5 %	41,7 %
$AE_{AKP,Ist}$	80,0 %	42,5 %	34,0 %
$AE_{POP,Soll}$	93,5 %	42,5 %	39,7 %
$AE_{POP,Ist}$	68,0 %	42,5 %	28,9 %

Dies bedeutet, dass die Arbeitskraft nur einen Bruchteil der Zeit tatsächlich Wertschöpfung betreibt bzw. am Produkt Wertschöpfung betrieben wird. Werden die Ergebnisse in der Effizienzmatrix nach Modig und Åhlström dargestellt, so ergibt sich die Abbildung 49. Die Werte für die Arbeitsflusseffizienz stammen aus der Tabelle 11.

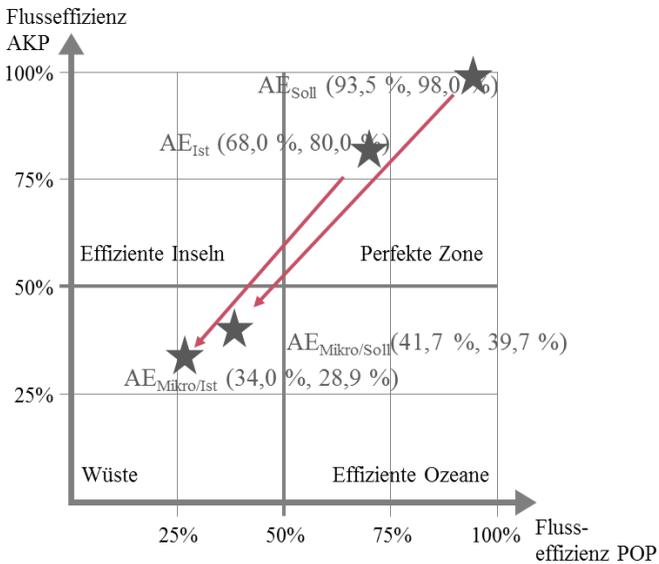


Abbildung 49: Position der Fluss-effizienzen in der Effizienzmatrix (vgl. Modig und Åhlström 2015)

Die Arbeitseffizienz auf Normebene liegt in der ‚perfekten Zone‘. Wird die Mikroebene hinzugenommen, so sinkt die Arbeitsflusseffizienz in den Quadranten ‚Wüste‘ ab. Von Soll zu Ist findet in beiden Fällen eine leichte Abnahme statt, die sich stärker in x-Richtung als in y-Richtung auswirkt. Dies deutet darauf hin, dass die Priorität in der Steuerung der Arbeitskraftperspektive vor der Produktperspektive liegt.

Verhalten von Waggons mit multipler Füllung von Arbeitspaketen

Die bisherigen Ausführungen basieren auf der Vereinfachung der singulären Besetzung von Waggons mit einem Arbeitspaket. Dies spiegelt auch den Regelfall wider und bildet den optimalen Zustand hinsichtlich klarer Verantwortlichkeiten und Baufreiheit im Taktbereich. Dennoch kommt es in über 20 % der Waggons zu einer Mehrfachbelegung mit zwei oder drei Arbeitspaketen. Dieser Schritt ist Teil der Waggonisierung aus der Taktplanung. In der Praxis konnten dabei drei Fälle der Anordnung der Arbeitspakete im Waggon beobachtet werden, die in der nachfolgenden Tabelle aufgelistet sind. Ein Schema mit den verschiedenen Anordnungen ist in Abbildung 50 dargestellt. Die parallele Anordnung der Waggons (W3) bedeutet, dass die Gewerke auf derselben Fläche arbeiten, ohne sich im Ablauf zu behindern. Bei einer sequenziellen Anordnung (W4) gehen die Gewerke nacheinander in den Taktbereich und können direkt voneinander abhängig sein. Die dritte Variante ist die Rotation (W7). Es kann auch eine Kombination aus der sequenziellen und parallelen Variante gebildet werden (W5).

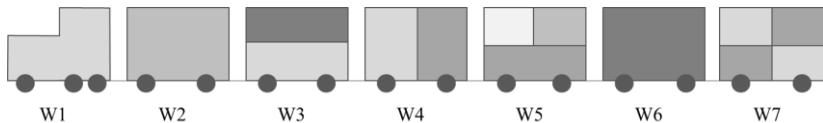


Abbildung 50: Schematische Darstellung einer Waggonisierung in einem Zug

Die verschiedenen Fälle haben unterschiedliche Auswirkungen auf den Füllgrad und werden im unteren Teil der Tabelle 15 aus den drei Perspektiven der vorherigen Kapitel betrachtet und die Auswirkungen auf den Fluss bzw. die Kontinuität beschrieben. Ein gezielter Einsatz der drei Fälle kann sich positiv auf den Fluss auswirken.

Tabelle 15: Anordnung der Arbeitspakete im Waggon

Fall	parallel	sequenziell	rotierend
Beschreibung	Gewerk A und B haben keine bzw. untergeordnete Abhängigkeit und können nebeneinander arbeiten.	Gewerk A ist dem Gewerk B sehr stark zeitlich untergeordnet und dient nur als kleiner Lückenfüller, damit kein extra Waggon mit einem geringen Füllgrad für Gewerk A entsteht. Zusammen-gerechnet liegen beide Zeiten unter der Taktzeit.	Gewerk A und B haben eine sehr starke Abhängigkeit und müssen Hand in Hand arbeiten und sehr gezielt aufeinander abgestimmt sein.
Beispiel	Endinstallation Elektro und Heizung	Elektro muss Steckdosen aus der geschlossenen Wand des Trockenbauers holen	Heizung und Sanitär Installation
Schaubilder			
Auswirkung Produktperspektive	Wahrscheinlich positiv, da der Taktbereich sich besser füllen kann. Waggons können eingespart werden und die Durchlaufzeit reduziert sich.	Sehr positiv, da der Taktbereich besser gefüllt ist. Waggons können eingespart werden und die Durchlaufzeit reduziert sich.	Wahrscheinlich positiv, da der Taktbereich sich besser füllen kann. Waggons können eingespart werden und die Durchlaufzeit reduziert sich.
Auswirkung Arbeitskraftperspektive	Keine Auswirkungen	Negative Auswirkungen, da Unterbrechungen entstehen und die Eigenschaft Kontinuität negativ beeinflusst wird.	Keine Auswirkungen, wenn Dauer der beiden Arbeitspakete ähnlich ist.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass der Füllgrad der einzelnen Waggons im Durchschnitt nicht sehr hoch ist. Dadurch entsteht eine negative Auswirkung auf die Kontinuität und somit den Arbeitsfluss. Durch eine Erhöhung des Füllgrades kann ein System effizienter gestaltet werden. Der geringe Füllgrad ist aktuell noch stark von dem Verschwendungsanteil in den Prozessen geprägt. Die Berechnungen sind auf theoretischer Basis erfolgt. Praktische Beobachtungen zeigen, dass sich die Handwerker und die Baustelle eigenständig optimieren und den Füllgrad für sich gestalten. Somit sind die Erkenntnisse lediglich theoretischer Natur und nicht direkt auf die Praxis übertragbar. Hinsichtlich einer stärkeren Aussagekraft müssen weitere Untersuchungen in der Praxis durchgeführt werden. In dieser Arbeit können lediglich einige Verbesserungsansätze für die Erhöhung des Füllgrades identifiziert werden.

6.4 Analyse der Differenz zwischen Soll und Ist

6.4.1 Beeinflussende Mechanismen

Eine der Schlussfolgerungen aus dem vorherigen Kapitel zeigt auf, dass sich die Kontinuität im Arbeitsfluss vom Soll- zum Ist-Zustand verschlechtert. In den folgenden Abschnitten werden zunächst die Verschiebungen ermittelt und deren Auswirkungen qualitativ interpretiert.

Ungefüllte Waggons sind die Messgröße der Wahl zur Interpretation der Kontinuität auf Normebene. Um diese Messgröße zu bewerten, werden die Soll- und Ist-Taktpläne aus dem betrachteten Unternehmen einzeln und zusätzlich die Veränderungen vom Soll- zum Ist-Zustand betrachtet und interpretiert. Als Grundlagen der Interpretation dienen dabei die vom Verfasser bereits veröffentlichten Anpassungsmechanismen (Binnerer u. a. 2017c), die in Kapitel 3.3 beschrieben sind. Ein Beispiel in Abbildung 51 zeigt das Ergebnis einer Analyse des Ist-Taktplans und der Interpretation der entstandenen ungefüllten Waggons eines Projektes auf.

Taktplan Ist																	
Takt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
TB 1	HLS1	M1; GD	●	EST	S2	→ M2			FL1	E2; HLS4	→ BO1		BR; TR				
TB 2		HLS1	M1; GD	●	EST	S2	1	1	1	M2	FL1	2	E2; HLS4	BO1	BR; TR		
TB 3			HLS1	M1; GD	●	EST	S2	1	1	1	M2	2	FL1	E2; HLS4	BO1	BR; TR	
TB 4				HLS1	M1; GD	●	EST	S2	1	1	1	2	M2	FL1	E2; HLS4	BO1	BR; TR

Nr.	Mechanismus	Beschreibung	Störungskategorie
1	Verschiebung	Mitarbeiter von M2 nicht auf Baustelle	Ressourcen
2	Zugstopp	Nacharbeiten bei BO1 und FL2 im Vortakt 15	Prozess

Abbildung 51: Beispielhafte Analyse eines Taktplans hinsichtlich der Messgröße ‚ungefüllte Waggons‘

Für die ungefüllten Waggons in der oberen Abbildung sind verschiedene Mechanismen verantwortlich, aus denen sich verschiedene Schlüsse ziehen lassen. Im Folgenden wird die Interpretation der oben beschriebenen Abbildung beispielhaft erläutert. An Stelle 1 kommt es zu einer Verschiebung des Arbeitspaketes M2, da die Mitarbeiter nicht auf der Baustelle anwesend sind. An der Stelle 2 wird der Mechanismus Zugstopp eingesetzt. Hier entsteht eine vertikale Lücke im Taktplan. Grund hierfür sind Nacharbeiten wegen mangelnder Qualität im Vortakt. Die mit einem schwarzen Punkt markierten Lücken sind bereits bei der Taktplanung entstanden und im Soll-Zustand berücksichtigt.

Das Beispiel zeigt die Vorgehensweise bei der Analyse. Dabei wird das Ziel verfolgt, die Änderungen im Taktplan chronologisch rückwärts nachzuvollziehen. Es gibt kein zentrales System im Unternehmen, in dem eine durchgängige Dokumentation erfolgt. So war der Verfasser gefordert, sich die Informationen aus eigener Praxiserfahrung, dem Bautagebuch, ergänzenden Interviews mit den zuständigen Bau- und Projektleitern sowie Besprechungsprotokollen herauszufiltern. Die meisten Änderungen können nachvollzogen und zugeordnet werden. Bei rund 8 % der Änderungen kann im Nachgang keine Angabe zum Grund getätigt werden.

Die Analyse der elf ausgewählten Taktpläne ergab acht Mechanismen, die sich auf die Messgröße ungefüllte Waggon auswirken und in den folgenden Abschnitten beschrieben werden.

Die einzelnen Mechanismen werden sehr unterschiedlich eingesetzt und können sich sehr unterschiedlich auf die Messgröße und die Perspektive auswirken. Als Beispiel gilt der aktive und reaktive Einsatz. Aktiv bedeutet, im Voraus mögliche Probleme zu erkennen und den Taktplan anzupassen. Ein Beispiel ist hierfür ist die Planung eines ungefüllten Waggon als Pufferwagon oder Trocknungswaggon bereits in der Taktplanung. Dieser Waggon dient beispielsweise als Puffer bei Änderungswünschen des Kunden. Reaktiv bedeutet erst zu handeln, wenn das Problem bereits aufgetreten ist. Die Analyse soll das Verhalten vom Soll- zum Ist-Zustand prüfen. Die Mechanismen werden in diesem Fall meist reaktiv eingesetzt. In der weiteren Analyse wird daher in die Merkmale lokal / global sowie in die Stärke der Auswirkung gering / mittel / hoch unterschieden. Global bezeichnet den systematischen und konsequenten Einbau des Mechanismus. In diesem Fall sind meist alle Taktbereiche involviert. Lokal stellt das Gegenteil dar und ist meist örtlich auf wenige Taktbereiche beschränkt. Ein Beispiel hierfür ist der Einbau eines Leerwaggon, der sich nur auf einen Taktbereich beschränkt. Das Merkmal Stärke bezieht sich auf die Anzahl der ungefüllten Kästchen. Gering bedeutet dabei, dass nur vereinzelte Waggon beeinträchtigt werden. Werden mehrere Waggon involviert, so ist die Stärke mittel zutreffend. Bei sehr vielen Waggon ist die Stärke hoch anzugeben.

In den folgenden Abschnitten werden die bereits aufgelisteten Mechanismen beschrieben und die Auswirkungen hinsichtlich der Messgröße analysiert.

Mechanismus 1: Verschiebung

Bei einer Verschiebung rücken einzelne Waggon der Sequenz zeitlich nach hinten. Dadurch werden automatisch ungefüllte Waggon in die entstehende Lücke eingesetzt. Dieser Mechanismus wird deshalb in der Praxis auch als Pufferwagon/ Trocknungswagen bezeichnet. Meist wird dieser Mechanismus bereits in der Planung und somit aktiv und konsequent eingesetzt. Es gibt auch vereinzelt Fälle, bei denen der Mechanismus inkonsequent und reaktiv im Taktplan vorkommt. Beispielsweise wenn aus kurzfristigen und vorübergehenden Einflüssen die Trocknungszeit nicht eingehalten werden kann. Dieser Mechanismus wird am häufigsten eingesetzt und kommt 44-fach in den ausgewerteten Projekten vor.

Dieser Mechanismus kann je nach Einsatz verschiedene Auswirkungen auf die Messgröße haben, die in Abbildung 52 dargestellt sind.

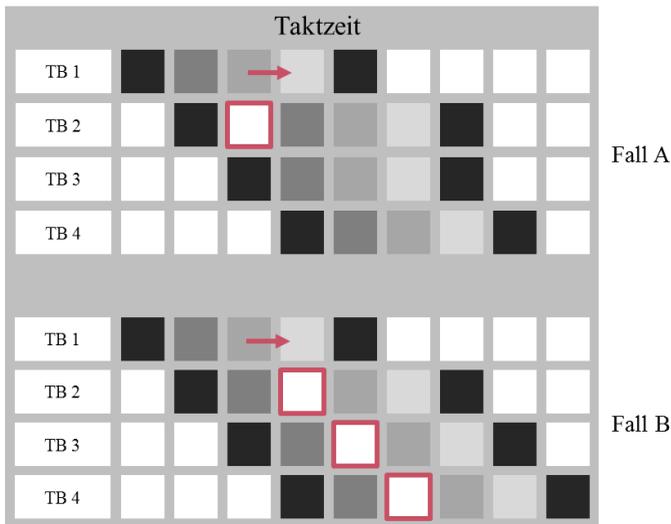


Abbildung 52: Mechanismus Verschiebung

Fall A inkonsequent: Der Fall A beschreibt den inkonsequenten Einsatz des Mechanismus. Es kommt zu einer Störung im TB 1 an der markierten Stelle.

Als Folge wird der Prozess im TB 2 lokal angehalten und verschoben. Die Auswirkungen werden im Taktbereich 2 abgefangen, ohne direkten Einfluss auf die anderen Taktbereiche zu nehmen. Aus der Produktperspektive entsteht nur in TB 2 eine Lücke, die Auswirkungen auf die Kontinuität hat. Aus der Arbeitskraftperspektive entsteht eine Lücke für jedes Gewerk zwischen TB 1 und TB 2. Diese Lücke tritt im Gegensatz zum Zugstopp nicht geballt in einer Taktzeit auf, sondern verteilt sich je Gewerk auf eine andere Taktzeit. Dies hat negative Auswirkungen auf die Eigenschaft Kontinuität, wenn die Verschiebung und der Leerwaggon nicht bereits im ersten Taktbereich eintreten. Zwischen TB 2 und TB3 entsteht eine Doppelbelastung, da die Abläufe nach der Störung parallel laufen. Dies hat Auswirkungen auf die Eigenschaft Gleichmäßigkeit.

Fall B konsequent: Der Fall B beschreibt den konsequenten und systematischen Einsatz des Mechanismus und ist im unteren Teil der Abbildung 52 zu sehen. Es kommt zu einer lokalen Störung im TB 1 im markierten Waggon. Als Folge wird ein markierter Pufferwaggon an dieser Stelle eingesetzt. Dieser Fall hat Auswirkungen auf die Kontinuität aus der Produktperspektive eines jeden Taktbereichs. Bezogen auf die Arbeitskraftperspektive entsteht keine oder in Spezialfällen nur eine sehr geringe Auswirkung analog zu Fall A. Wenn beispielsweise die Störung erst im vierten Taktbereich auftritt, so kann eine Lücke zwischen dem dritten und vierten Taktbereich entstehen. Die Gleichmäßigkeit bleibt beständig.

Mechanismus 2: Zugstopp

Der Zugstopp ist ein Stellhebel der Taktsteuerung und vergleichbar mit dem Bandstopp aus der stationären Industrie. Er führt zu einem kompletten Stillstand der Produktion oder großen Teilen der Produktion. Er wird eingesetzt, wenn es zu einem größeren Problem kommt, das nicht lokal und ohne weitreichende Auswirkungen zu lösen ist. Bei einem Zugstopp liegt die volle Aufmerksamkeit auf dem verursachenden Problem. Es wird dadurch Druck erzeugt, das Problem nachhaltig zu lösen, damit es nicht erneut zum Zugstopp kommt.

Der Zugstopp zeigt sich im Taktplan durch eine vertikale Lücke aus ungefüllten Waggons. Er ist zunächst auf eine Taktzeit begrenzt und bleibt in der Praxis bestehen, solange das Problem nicht gelöst ist. Der Zugstopp ist somit eine Puffertaktzeit. Abbildung 53 zeigt den Mechanismus Zugstopp.

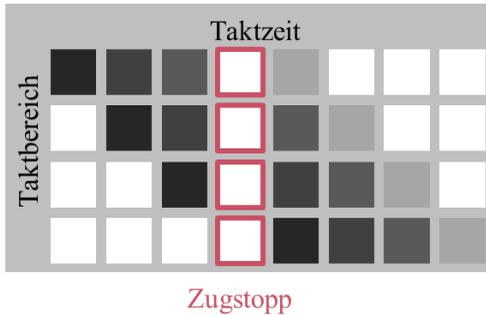


Abbildung 53: Mechanismus Zugstopp

Der Mechanismus Zugstopp wurde in den elf ausgewerteten Projekten 20 Mal eingesetzt. Rechnerisch würde jedes Projekt durchschnittlich rund zwei Zugstopps enthalten. Tatsächlich beinhalten nur sieben der elf ausgewerteten Projekte einen Zugstopp. Ein genauerer Blick auf die Verteilung der Zugstopps zeigt einen Zusammenhang zum Jahr des Projektes. Der Zugstopp wurde in den ersten Jahren kaum eingesetzt. Um die Nachhaltigkeit des Steuerungseingriffes zu verbessern kommt später der Zugstopp häufiger zum Einsatz. Dies ist damit zu begründen, dass ein Zugstopp aus der praktischen Sicht die größten und radikalsten Auswirkungen hat und somit in der Praxis „ernstgenommen“ wird. Der Zugstopp wird meistens sehr konsequent durchgesetzt. Wird er reaktiv eingesetzt, so wird er als Zugstopp bezeichnet. Beim aktiven Einsatz wird die Bezeichnung Puffertaktzeit verwendet.

Der Zugstopp hat Auswirkungen auf beide Perspektiven. Durch die vertikale Lücke ist jeder Taktbereich und somit das Produkt betroffen. Es entsteht somit eine Lücke, die Auswirkungen auf die Eigenschaft Kontinuität aus Produktperspektive hat. Vergleichbare Auswirkungen entstehen im Bereich der Arbeitskraftperspektive. Hier wird für die Dauer einer kompletten Taktzeit nicht gearbeitet, sondern lediglich die Störungsursache behoben. Dies kann zu

Arbeitsausfällen führen. Auch hier wird die Kontinuität der Arbeitskraftperspektive negativ beeinflusst.

Mechanismus 3: Blockabfertigung

Die Blockabfertigung ist vergleichbar mit einer kurzzeitigen Erhöhung der Losgröße an einer Arbeitsstation in der stationären Industrie. Vor und nach der Station entstehen Staus bzw. Wartezeiten.

Die Blockabfertigung wird sehr häufig dann eingesetzt, wenn ein Waggon bzw. eine spezielle Tätigkeit das Ziel verfolgt, isoliert betrachtet, sich selbst zu optimieren. Beispielsweise führen eine zu geringe Auslastung eines Waggons oder lange Anfahrtswege dazu, dass die Arbeitskraft danach strebt, mehrere Taktbereiche in einer Taktzeit zu bearbeiten. Eine weitere Begründung liegt in der Zulieferlogistik. Einige Zulieferunternehmen passen ihre Prozesse noch nicht auf eine kleinteilige Anlieferung an und können so die Preise der Massenerlieferung nicht erreichen. Folge ist eine erhöhte Losgröße in der Praxis.

Im Taktplan ergeben sich durch die Blockabfertigung Säulen aus spezifischen Waggons. Abbildung 54 zeigt eine Blockabfertigung des rot markierten Waggons. Vor und nach dem Block entstehen Leerräume, die ungefüllte Waggons beinhalten und mit einem Dreieck markiert sind.

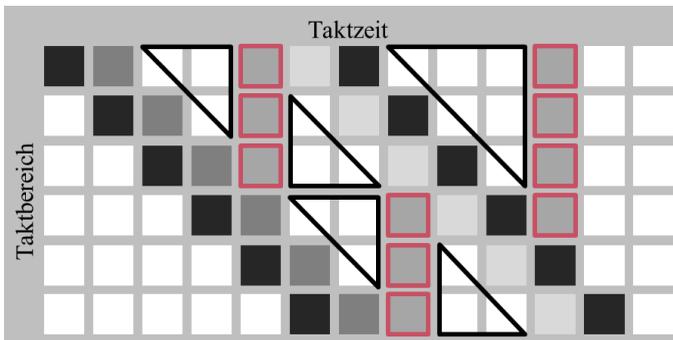


Abbildung 54: Mechanismus Blockabfertigung

Die Blockabfertigung kommt in elf Projekten neun Mal vor. Sehr häufig findet Blockabfertigung gegen Ende einer Gewerkesequenz statt. Speziell die letzten Gewerke ‚Baureinigung‘, ‚Feininstallation Elektro‘ und ‚Sanitär‘ sowie der ‚Türenbau‘ sind sehr häufig betroffen. Hier wirkt sich nur der markierte Leer- raum vor der Blockabfertigung aus. Ein Sonderfall ist die Doppeltaktung, die die kleinste Form der Blockabfertigung bildet. Diese Form der Abwicklung wird in der Praxis genutzt, um den Wünschen des Nachunternehmers ohne große Auswirkungen auf den Taktplan entgegenzukommen. Speziell beim Est-richeinbau kommt dieser Mechanismus vor. Die Doppeltaktung zieht einen un- gefüllten Waggon pro Taktbereich mit sich.

Durch den Mechanismus Blockabfertigung entstehen aus der Produktperspek- tive ungefüllte Waggon im Taktplan. Die Durchlaufzeit wird erhöht und die Kontinuität negativ beeinträchtigt. Aus der Arbeitskraftperspektive ergeben sich nur Auswirkungen für das Gewerk aus der Blockabfertigung. Hier kommt es zu Lücken zwischen den Blöcken und die Eigenschaft Kontinuität wird neg- ativ beeinflusst. Auch die Eigenschaft Gleichmäßigkeit aus Sicht der Arbeits- kraft ist bei einer Blockabfertigung negativ beeinträchtigt.

Mechanismus 4: Waggonentfall

Der Mechanismus Waggonentfall kann ebenfalls vielseitige Gründe haben. Beispielsweise können schlichtweg zu viele Arbeitsschritten in der Taktpla- nung eingebaut worden sein oder es gab Änderungen im Leistungssoll, die ei- nen Entfall verursachen. Auf einen Waggonentfall kann mit zwei Varianten reagiert werden: Bei Fall A rückt die anschließende Sequenz auf. Dieser Fall zieht keine ungefüllten Waggon nach sich. Bei Fall B wird der entfallene Waggon durch einen ungefüllten Waggon ersetzt. Es entsteht eine Lücke. Ab- bildung 55 zeigt die beiden Fälle. Der entfallene Waggon ist in TB 1 rot mar- kiert.

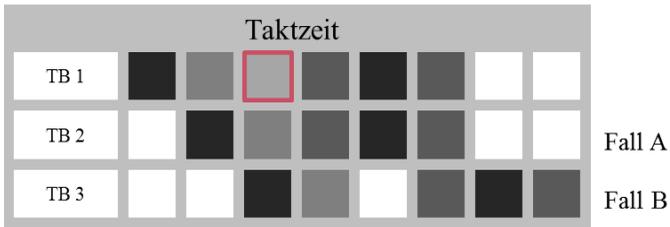


Abbildung 55: Mechanismus Waggonentfalls

Dieser Mechanismus kommt in den Projekten der Analyse viermal vor, jedoch innerhalb eines einzigen Projektes. Hier wird das Leistungssoll auf Basis fehlender Kunden sowie einer Ausgliederung aus der Taktung stark reduziert. Aus der Produktperspektive entstehen im Fall A keine größeren Effekte auf die Kontinuität des Flusses. Lediglich die Gleichmäßigkeit wird aus der Arbeitskraftperspektive punktuell negativ beeinträchtigt, dies geschieht analog zu dem Mechanismus zuvor. Im Fall B wird die Kontinuität negativ beeinflusst. Der Mechanismus wirkt sich auf die Arbeitskraftperspektive hinsichtlich der Kontinuität nicht negativ aus.

Mechanismus 5: Waggonergänzung

Bei einer Waggonergänzung wird ein zusätzlicher Waggon in die Sequenz eingefügt. Dabei kommen neue Arbeitsinhalte hinzu. In der Praxis kann dies der Fall sein, wenn beispielsweise eine Änderung durch den Kunden erfolgt oder ein Fehler in der Planungsphase passiert. Abbildung 56 zeigt eine Waggonergänzung ab TB 2. Der neue Waggon ist rot markiert.

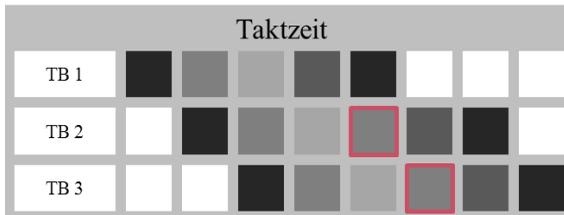


Abbildung 56: Mechanismus Waggonergänzung

Die Waggonergänzung wurde vierfach in den ausgewerteten Projekten identifiziert. Bei Einsatz einer Waggonergänzung entsteht aus Arbeitskraftperspektive eine kleine Lücke und die Kontinuität wird negativ beeinflusst. Ausnahme dabei bildet der Fall, dass die Ergänzung am Ende des Zuges stattfindet. Der Mechanismus hat keine Auswirkungen auf die Kontinuität aus der Produktperspektive. Nur die Sequenz verlängert sich und die Durchlaufzeit erhöht sich.

Mechanismus 6: Zugsequenzsplit

Bei einem Zugsequenzsplit wird die Zugsequenz geteilt. Grund dafür sind größere Störungen im Ablauf oder fehlende Entscheidungen. Im Taktplan zeigt sich der Mechanismus durch Einbau von ungefüllten Waggonen in der Gewerkesequenz. Allerdings grenzt sich der Mechanismus entscheidend von einer Verschiebung ab. Bei einem Zugsequenzsplit wird der Ausbauprozess zunächst auf unbestimmte Zeit angehalten und bei einer lokalen Störung wieder hinten in die Ausbaureihenfolge eingereiht. Abbildung 57 zeigt ein Zugsequenzsplit mit lokaler Auswirkung bei dem sich der weitere Ausbau von TB 2 hinten an die Reihenfolge andockt.

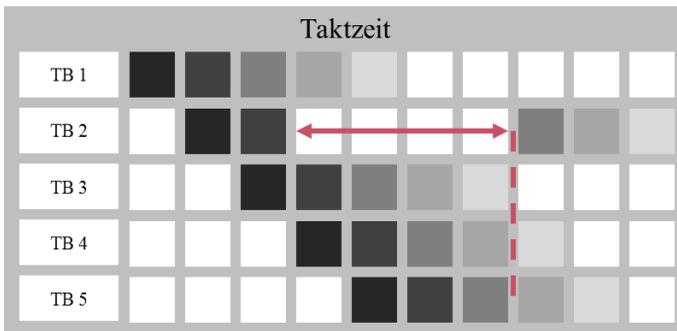


Abbildung 57: Mechanismus Zugsequenzsplit mit lokaler Auswirkung

Der Mechanismus Zugsequenzsplit wurde zwei Mal innerhalb eines Projektes eingesetzt.

Bei dem Zugsequenzsplit entsteht meistens eine kleinere Lücke aus der Arbeitskraftperspektive am Ort der Störung. Die Kontinuität wird aus dieser

Perspektive nur geringfügig negativ beeinflusst. Aus der Produktperspektive entsteht eine sehr große lokale Auswirkung auf den entsprechenden Taktbereich. Aus dieser Perspektive wird die Kontinuität stärker beeinträchtigt.

Mechanismus 7: Waggonsplit

Bei einem Waggonsplit werden die Arbeitspakete innerhalb eines Waggons geteilt und es entsteht ein neuer Waggon. Es werden keine neuen Arbeitsinhalte in der Sequenz hinzugefügt, sondern vorhandene Arbeiten neu aufgeteilt. In der Praxis kann dies daran liegen, dass eines der Arbeitspakete eine Störung aufweist. Abbildung 58 zeigt den Einsatz eines Waggonsplits in TB 1. Es entstehen die neuen Waggon a und b.

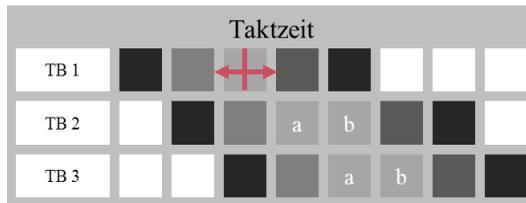


Abbildung 58: Mechanismus Waggonsplit

Der Mechanismus wurde zweifach in den ausgewerteten Projekten festgestellt. Die Auswirkungen verhalten sich analog zu dem Mechanismus Waggonergänzung. Bei Einsatz eines Waggonsplits entsteht aus Arbeitskraftperspektive eine kleine Lücke und die Kontinuität wird negativ beeinflusst. Der Mechanismus hat keine Auswirkungen auf die Kontinuität aus der Produktperspektive. Lediglich die Sequenz verlängert sich und die Durchlaufzeit wird erhöht.

Mechanismus 8: Waggonwechsel

Bei einem Waggonwechsel werden vorhandene Arbeiten neu sortiert und zwei Waggon miteinander ausgetauscht. In Abbildung 59 findet ein Waggonwechsel im TB 2 statt. Dieser Waggonwechsel kann konsequent oder inkonsequent eingesetzt werden.

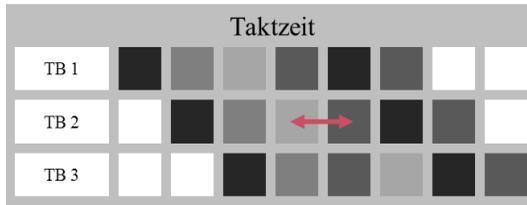


Abbildung 59: Mechanismus Wagonwechsel

Der Mechanismus fand zweimal in den Projekten statt. Es ergeben sich durch den Einsatz keine Auswirkungen auf die Kontinuität aus der Produktperspektive. In der Arbeitskraftperspektive können lokale Lücken entstehen.

Zusammenfassung zum Einfluss auf die Kontinuität

Die acht festgestellten Mechanismen wirken sich unterschiedlich auf die Kontinuität aus. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die Auswirkungen des jeweiligen Mechanismus.

Tabelle 16: Auswirkungen der beeinflussenden Mechanismen auf die Kontinuität

Mechanismus	Auswirkungen Kontinuität aus Produktperspektive	Auswirkungen Kontinuität aus Arbeitskraftperspektive	Sonstige Auswirkungen
Verschiebung Fall A	lokal, gering	lokal, mittel	negativ auf Gleichmäßigkeit
Verschiebung Fall B	global, mittel	lokal, mittel	-
Zugstopp	global, mittel	global, mittel	negativ auf Durchlaufzeit
Blockabfertigung	global, mittel-hoch	lokal, gering (Ausnahme betroffenes Gewerk – hier global, hoch)	negativ auf Durchlaufzeit, negativ auf Gleichmäßigkeit

Fortsetzung Tabelle 16:

Waggonentfall Fall A	-	-	negativ auf Gleichmäßigkeit, positive auf Durchlaufzeit
Waggonentfall Fall B	lokal, gering	-	-
Waggonergänzung	-	lokal, gering	negativ auf Durchlaufzeit
Zugsequenzsplit	lokal, mittel	lokal, gering	negativ auf Durchlaufzeit
Waggonsplit	-	lokal, gering	negativ auf Durchlaufzeit
Waggonwechsel	-	lokal, gering	negativ auf Gleichmäßigkeit

6.4.2 Störungsgründe

Die bisherigen Analysen zeigen einen deutlichen Unterschied der Soll- und Ist-Taktpläne. Die Unregelmäßigkeiten im Ablauf des Ist-Taktplans entstehen durch Störungen auf der Baustelle oder durch externe Einflüsse. Das vorhergehende Unterkapitel erläutert, wie auf Störungen in der Praxis reagiert wird und welche Mechanismen zum Einsatz kommen.

Um die Kontinuität des Flusses auf den Baustellen zu verbessern, müssen diese Störungen genauer analysiert werden. An dieser Stelle stellt sich die Frage, weshalb die Störungen überhaupt auftreten. In diesem Unterkapitel wird eine Auswahl an Projekten betrachtet und die Störungsgründe durch Interviews mit Bauleitern und Projektleitern, im Rahmen von Expertengesprächen, validiert. Die Auswertung basiert auf der rechten Spalte der Abbildung 51. Diese Analyse listet bereits die Störungsgründe in Form von Kategorien auf. Zur Kategorisierung der Störungsgründe dienen die Herleitungen von Ballard und

Howell (1994, S. 4). Zusammen mit einigen Ergänzungen sind die für die weitere Arbeit relevanten Kategorien in Tabelle 17 zusammengefasst.

Tabelle 17: Kategorien der Störungsgründe

Kategorie	Beschreibung
Prozess	Qualität im Prozess nicht ausreichend, Geschwindigkeit zu schnell oder zu langsam
Ressource	Fehlende Ressourcen, zu viele Ressourcen vorhanden, Ressourcenbedarf für taktbezogene Leistung nicht wirtschaftlich abbildbar (zu geringe Leistung)
NU-Organisation	Fehlende Organisation und Planung durch NU
Vorleistung	Fehlende Vorleistung, um Arbeitspaket früher beginnen zu können
Kunde	Fehlende Entscheidungen oder Änderungen durch Kunde
Äußere Einflüsse	Witterung, Temperaturen, Klima
Material	Fehlendes oder defektes Material
Planung/techn. Information	Informationen und technische Klärungen, fehlende Planungsunterlagen
Sonstiges	Zusammenfassung aller weiteren Störungsgründe
k. A.	Keine Angaben vorhanden

Es wurden elf¹² zufällig ausgewählte Projekte analysiert. Ein Beispiel eines aufbereiteten Taktplans ist im Anhang 12 enthalten. Die weiteren aufbereiteten Taktpläne sind im elektronischen Anhang C zu finden. Anhang 13 enthält eine Zusammenfassung der Interviewergebnisse. Zusätzlich ist eine Übersicht der Störungen und der Zuordnung zu den Kategorien in Anhang 14 zu finden. Die folgende Abbildung zeigt die Häufigkeit der Störungsgründe in der jeweiligen Kategorie.

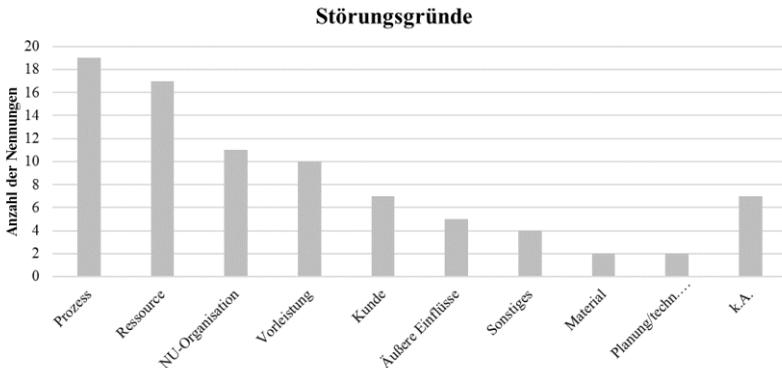


Abbildung 60: Störungsgründe zugeordnet zu den Kategorien

Die Analyse der elf Projekte zeigt insgesamt 84 Störungen auf. In allen gebildeten Kategorien ist eine Störung vorhanden. Die Analysen zeigen, dass äußere Einflüsse, Material und fehlende Planung / technische Klärung nur 10 % der Störungen ausmachen. Der Kunde als Störfaktor nimmt Platz fünf der häufigsten genannten Gründe ein. Hier werden in den beobachteten Baustellen häufig Umplanungen durch zu späte Entscheidungen verursacht. Die Bauleitung nennt den Kunden als Verursacher. An dieser Stelle muss die kritische Frage gestellt werden, ob der Kunde überhaupt wusste, zu welchem Zeitpunkt er eine Entscheidung zu treffen hat. Eine stärkere Integration und Transparenz kann das Verständnis für Bauprozesse beim Kunden schärfen. Die

¹² Eigene Festlegung: Stichprobe soll mindestens 20 % und somit 10 Projekte beinhalten. Als Rückfallplan werden 15 Projekte aufbereitet, wohingegen nur in 11 Projekten die notwendige Datenqualität durch die Experten geliefert wurde. Ziel der Stichprobe >20 % ist eingehalten.

Praxiserfahrung des Verfassers zeigt, dass bereits eine Grundlagenschulung zum Ablauf und dessen Besonderheiten ein erhöhtes Verständnis des Kunden erreichen kann.

Ein weiterer Grund ist die fehlende Vorleistung. In vielen Fällen wird der Vortakt nicht diszipliniert genug bewertet und freigegeben. Somit kommt es zum Start der neuen Taktzeit zu einer fehlenden Vorleistung und das Nachfolgegewerk wird entweder in seinem Arbeitsprozess beeinträchtigt oder kann nicht mit der Arbeit beginnen. Durch eine strengere Kontrolle der Vorleistung und einer höheren Disziplin der Nachunternehmer kann auf den Missstand reagiert werden. Zudem müssen die Störstellen im Verlauf genauer beobachtet werden. Wird die fehlende Leistung in einem Taktbereich über mehrere Gewerke hinweg festgestellt, so kann es daran liegen, dass der einzelne Taktbereich zu groß gewählt wurde. Ist dauerhaft ein Gewerk betroffen, so kann der Grund in der Unterbesetzung des Gewerks liegen.

Die NU-Organisation ist mit 13 Nennungen einer der drei häufigsten Störungsgründe. An vielen Stellen herrschen interne Probleme bei einzelnen Nachunternehmern. Im Rahmen der Untersuchungen wurde eine klare Tendenz der fehlenden Organisation und Sensibilität für Prozesse in allen Fällen erkennbar. Ein detaillierter Eingriff in den Prozess durch den GU ist aus rechtlichen Gründen nicht möglich und die Organisation der Prozesse liegt beim Nachunternehmer. Eine Schulung der Nachunternehmer und Integration in den Gesamtprozess sowie die Schaffung von Transparenz durch den Taktplan sind mögliche Lösungsansätze.

Fehlende Ressourcen sind der am zweithäufigsten genannte Störungsgrund. Die Ursache hinter den fehlenden Ressourcen kann nicht abschließend geklärt werden, da die Ursachen vielfältig sein können. Es werden mögliche Ursachen genannt und Lösungsansätze gegeben. Kommt es häufiger zu lokalen und zeitlich begrenzten Ressourcenausfällen auf Grund von Krankheit oder beispielsweise kulturellen Ereignissen, so könnten Pufferressourcen oder Springer Hilfestellung geben. Ein großes Problem stellt auch die Belastung durch andere Baustellen, gepaart mit einer fehlenden Synchronisierung, dar. Sehr häufig konnte in der Praxis beobachtet werden, dass die geforderte Taktleistung durch einen verstärkten Ressourceneinsatz in einem Bruchteil der Zeit abgewickelt

wurde. Parallel wurde in der restlichen Taktzeit eine zweite Baustelle ohne Taktplanung abgewickelt. Die zweite Baustelle hat die Ressourcen länger als die Taktzeit genutzt. Die Baustellen waren somit nicht synchronisiert und es kam zu fehlenden Ressourcen auf der ersten Baustelle. Hier muss zwingend eine Abstimmung der beiden Baustellen stattfinden oder es darf nicht zum Einsatz des gleichen Personals kommen. Es muss darauf geachtet werden, die Baustelle konstant mit den gleichen Personen zu besetzen, damit die Einarbeitungseffekte auch genutzt werden können. Die Entscheidungsgewalt über das Personal liegt jedoch letztendlich beim Nachunternehmer. Ein langfristiger Ressourcenmangel könnte über einen effektiveren Einsatz der Mitarbeiter kompensiert werden. Dies zieht eine Verschwendungsminimierung mit sich, die zur Wertschöpfungserhöhung führt.

Der Hauptgrund liegt im tatsächlichen Arbeitsprozess des Nachunternehmers. Hier gibt es wesentliche Unterschiede zwischen den Nachunternehmern. Die Analysen im Rahmen der Untersuchungen des Verfassers zeigen auch hier ein klares Bild auf. Der Verschwendungsanteil liegt in einigen Analysen bei über 60 %. Hinzu kommt die hohe Schwankung in der Arbeitsgeschwindigkeit um bis zu 100 %. Unzureichend ausgestattete Mitarbeiter, fehlende Vorplanungen, schlechte Arbeitsplatzeinrichtung sind nur einige der beobachteten Probleme des Arbeitsprozesses. Eine bessere NU-Auswahl und eine Selektion hinsichtlich prozessbezogener Kriterien können Abhilfe schaffen. Die ausgewählten Partnerunternehmen können im Anschluss intensiv geschult werden.

Zusammengefasst ist festzustellen, dass sehr viele Störungen ihre Ursache in der Zusammenarbeit mit dem Nachunternehmer haben und dies sich negativ auf die Kontinuität im Ist-Zustand auswirkt. Durch eine optimierte Zusammenarbeit mit dem Nachunternehmer könnte die Eigenschaft Kontinuität positiv beeinflusst werden. In der Praxis wird die Zusammenarbeit über einen Werkvertrag und einer Pauschalpreisbildung geregelt. Die Zusammenarbeit ist zeitlich stark begrenzt und endet zunächst mit Abschluss des Projektes. In der Verhandlung werden primär die technischen Schnittstellen und der Preis intensiv diskutiert. Kulturelle Themen in der Zusammenarbeit und die zwischenmenschliche Ebene werden dann im Laufe des Projektes adressiert. Zusammen mit einer fehlenden Transparenz kann dies zu einem Zustand des Misstrauens

führen und der Ansatz des „Over the Wall Approaches“ (Projektmagazin Glossar o. J.) entsteht.

6.5 Zusammenfassung und Ableitung von Verbesserungsansätzen

6.5.1 Vorbemerkungen

Im sechsten Kapitel wurden bisher drei detaillierte Analysen auf Basis der Erkenntnisse aus Kapitel 5 durchgeführt. Dabei ergeben sich folgende drei Aussagen hinsichtlich der Flusseigenschaft Kontinuität.

1. Kurze Taktzeiten weisen eine höhere Arbeitsflusseffizienz auf.
2. Die Füllung der Waggon liegt bei durchschnittlich 42,5 % und kann als gering bezeichnet werden. Dies minimiert die Flusseffizienz auf der Mikroebene.
3. In der Zusammenarbeit mit dem Nachunternehmer liegen wesentliche Ursachen für Störungen, die die Kontinuität im Ist-Zustand verschlechtern.

In den folgenden Unterkapiteln werden auf Basis dieser Erkenntnisse Lösungsansätze zur Verbesserung der Flusseigenschaft Kontinuität erarbeitet.

6.5.2 Verbesserungsansatz 1: Verkleinerung der Takte

Die Einteilung der Achsen der Matrix im Taktplan bestimmt den Takt. Sie haben große Auswirkungen auf den Fluss und speziell die Eigenschaft Kontinuität. Werden die möglichen Kombinationen näher betrachtet so können sich vier Fälle in der Praxis ergeben: Fall 1 deckt große Taktbereiche und lange Taktzeiten ab. Auf klassischen Baustellen ist dieser Fall sehr häufig anzutreffen. Daraus resultieren lange Durchlaufzeiten oder eine hohe Parallelisierung, die häufig zusätzlich nicht ausreichend koordiniert wird. Im Fall 2 werden die Taktbereiche reduziert und eine höhere Wiederholung stellt sich ein. Das

System ist oft nicht ausgelastet, solange damit nicht eine Taktzeitreduzierung wie in Fall 3 einhergeht.

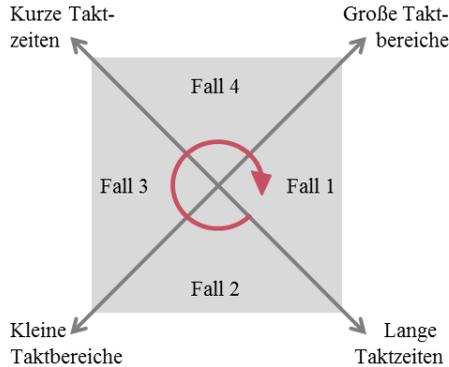


Abbildung 61: Kombinationen der Achseinteilung (vgl. Binninger und Wolfbeiß 2018b)

Fall 4 schließt den Kreis der Optimierung und der Zyklus kann von vorne beginnen. (Binninger und Wolfbeiß 2018b) Kapitel 6.1 zeigt auf, dass durch geringe Taktzeiten eine Erhöhung der Arbeitsflusseffizienz stattfinden kann. Da Fall 2 hinsichtlich der Ressourcen keine sinnvolle Kombination ergibt, werden die Potenziale des dritten Falls hinsichtlich Kontinuität im Folgenden näher betrachtet. Dieser Fall optimiert den Takt durch eine Detaillierung der Achseinteilung in beiden Richtungen. Die kleinteiligere Einteilung der Abszisse ist als Taktzeitreduzierung bekannt. Sollen die benötigten Ressourcen konstant gehalten werden, so ist eine verhältnismäßige Verkleinerung der Taktbereichsgröße auf der Ordinate erforderlich. Als Nebeneffekt erhöht sich die Wiederholungsanzahl und die Grundlage für eine Routine verbessert sich. Ein Beispiel in Abbildung 62 zeigt diesen Ansatz. Hier wird der Taktbereich gedrittelt und die Einteilung des Bauwerks von drei auf neun Taktbereiche erhöht.

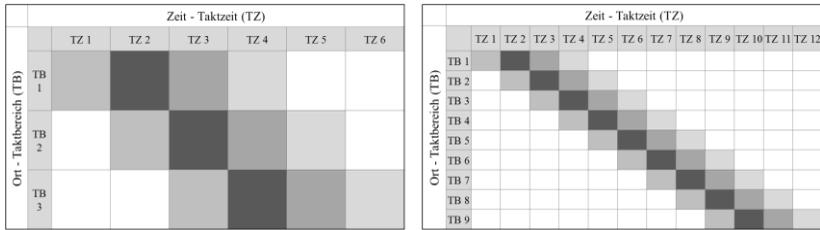


Abbildung 62: Taktbereichsreduzierung und Taktzeitverkürzung

Werden die Projekte auf derselben Basis (siehe Kapitel 6.1) betrachtet, so ergibt sich eine Flusseffizienz AE_{POP} bei einem Wochentakt von 48 % im Soll-Zustand und 37 % im Ist-Zustand. Dies entspricht einer negativen Entwicklung von 48 Prozentpunkten im Soll- und 32 Prozentpunkten im Ist-Zustand. Dahingegen liegen die bereits ausgeführten Projekte mit einem Tagestakt bei durchschnittlich 63 % AE_{POP} im Soll-Zustand und 58 % AE_{POP} im Ist-Zustand. Hier ist durch die kleinteiligere Einteilung von Projekten eine direkte Steigerung der Arbeitsflusseffizienz um 15 Prozentpunkte im Soll- und 21 Prozentpunkte im Ist-Zustand erkennbar. Wird darüber hinaus in Erwägung gezogen den aktuell vorhandenen Puffertag (Freitag) bei kurzen Taktzeiten nicht zu berücksichtigen, so kann bei Tagestaktbaustellen eine geplante AE_{POP} von durchschnittlich 78 % erreicht werden. Somit wäre eine theoretische Potenzialauserschöpfung von weiteren 30 % im Planungszustand möglich. Dies bedeutet für die Praxis, dass die einzelnen Einheiten im geplanten Zustand durch einen Tagestakt zu ca. 80 % anstatt beim Wochentakt nur zu 48 % der Zeit besetzt wären. Dies hätte ebenfalls Auswirkungen auf die Durchlaufzeit.

Die geplante Arbeitsflusseffizienz aus der Arbeitskraftperspektive nimmt im Tagestakt Werte von ca. 76 % an. Im Vergleich zum Durchschnittswert von rund 99 % im Wochentakt fällt dieser Wert sehr gering aus. Wird in diesem Fall der geplante Puffertag am Freitag reduziert, so können im Tagestakt ebenfalls Werte von 100 % erreicht werden. Unter der Berücksichtigung der Vermeidung von Puffertagen, wirkt sich eine Taktzeitreduzierung somit sehr positiv auf die Kontinuität aus.

Darüber hinaus ergeben sich weitere Effekte auf den Fluss: Die Taktzeit hat sich somit von drei Tagen auf einen Tag reduziert. Die Eigenschaft Rhythmus

wird in Form der Wiederholungsanzahl verbessert. Speziell aus der Arbeitskraftperspektive werden die Effekte des Rhythmus stärker spürbar und halten länger an. Es bieten sich hier folgende Vorteile:

- ⇒ Erhöhung des Lerneffekts und der Routine
- ⇒ Schnellere Rückmeldung zum Ergebnis
- ⇒ Frühe Erkennung von Abweichungen und Missständen

Die Reduzierung der Taktzeit hat weitere Vorteile. Die Durchlaufzeit bzw. Bauzeit des Projektes können stark beeinflusst werden. Dies wird anhand des Beispiels aus Abbildung 62 und der folgenden Formel¹³ erläutert (vgl. Nezval 1960, S. 42).

$$\text{Bauzeit [AT]} = (\text{Anzahl Taktbereich}_{\text{Zug}} [-] + \text{Anzahl Waggons} [-] - 1) \times \text{Taktzeit [AT]}$$

$$\text{Bauzeit}_{3\text{AT}} = (3 + 4 - 1) \times 3 \text{ [AT]} = 18 \text{ AT}$$

$$\text{Bauzeit}_{1\text{AT}} = (9 + 4 - 1) \times 1 \text{ [AT]} = 12 \text{ AT}$$

Beispielberechnung Bauzeit mit unterschiedlichen Taktzeiten

Die Variante mit dem Tagestakt benötigt theoretisch ein Drittel weniger Zeit als die Variante mit einer Taktzeit von drei Tagen. Hinzu kommt ein weiterer Vorteil. Durch die Verkürzung der Bauzeit kann in vielen Fällen gleichzeitig die Anzahl der Züge reduziert werden, da der längere Zug dennoch innerhalb der Bauzeit liegt. Somit entsteht eine geringere Belastung für den Handwerker und die Eigenschaft Gleichmäßigkeit wird ebenfalls positiv beeinflusst.

Zu beachten gilt, dass mit Verkürzung der Taktzeit und Verkleinerung der Taktbereiche auch die Anzahl der benötigten Waggons steigt. Trocknungszeiten spielen bei der Taktzeitreduzierung eine sehr wichtige Rolle, da sie nicht skalierbar sind, sondern eine feste Größe einnehmen. Taktbereichs-verkleinerungen sorgen dafür, dass Ressourcen Platzprobleme bekommen. Hier können weitere Waggons eingeführt werden, damit sich die Ressource auf die

¹³ Voraussetzung: Anzahl der Taktbereiche pro Zug ist gleich und Züge starten gleichzeitig.

Waggons aufteilen kann. Tabelle 18 zeigt die Anzahl der Waggons im Verhältnis zur Taktzeit.

Tabelle 18: Verhalten der Waggonanzahl und Leerwaggons bezogen auf die Taktzeit

Taktzeit	Anzahl Waggons	Anzahl Leerwaggons
1	37,7	13,3
2	24,0	1,5
5	15,9	0,8

Die Nachteile liegen in der vermeintlich geringeren Flexibilität, kleinteiligeren Bereitstellung von Material und Ressourcen sowie der Erhöhung der Rüstzeiten. Für die genannten Nachteile sind in der Praxis ausreichende Reaktionsmöglichkeiten vorhanden.

Die Taktzeitreduzierung in Kombination mit der Taktbereichsverkleinerung ist in der Praxis nur limitiert anwendbar und stark von den Rahmenbedingungen abhängig. Die Reduzierung der Taktbereichsgröße ist auf natürliche Weise durch das Bauwerk limitiert. Hier gilt die Aussage, dass eine Taktbereichsgröße mindestens einer SRE entsprechen muss. Die Festlegung einer SRE ist allerdings flexibel. In den ausgewerteten Projekten entspricht die SRE in den meisten Fällen einer Wohnung. Dies ist die kleinste Einheit des Bauwerks, die an den Kunden übergeben werden kann. Aus diesem Grund macht aus Kundensicht eine kleinere Einteilung keinen Sinn. In Anbetracht eines langen Arbeitsflusses kann die Detaillierung der Wohnung zielführend sein. Hier kann im ersten Schritt eine Aufteilung in Zimmer erfolgen. Eine Vier-Zimmer-Wohnung mit drei Schlafzimmern, Bad, Wohnzimmer, Flur, Abstellraum, WC und Küche wird somit erneut unterteilt. Dadurch könnte die Taktbereichsgröße um ein Vielfaches kleiner ausfallen. Folgende Punkte sollten dabei nicht vernachlässigt werden:

- ⇒ **Arbeitsinhalt und Umfang:** Die Arbeitsschritte in den einzelnen SRE sollten sehr ähnlich sein. Ist dies nicht der Fall, so ist eine Nivellierung des Produktionsumfangs und der Inhalte nur schwer umsetzbar.
- ⇒ **Gegenseitige Abhängigkeit:** Die Arbeitskräfte arbeiten sehr eng zusammen und beeinflussen sich gegenseitig. Arbeiten mit Lärm- und Staubbelastigung dürfen sensible Arbeitsschritte wie beispielsweise „Streichen“ nicht negativ beeinträchtigen. Es ist zu beachten, dass die Zimmertüren im Vergleich zur Wohnungseingangstür erst sehr spät im Prozess gesetzt werden und eine klare Abtrennung der SRE nicht möglich ist.
- ⇒ **Versorgungswege:** Die Versorgung der Zimmer verläuft durch den Flur. Dieser kann bei Tätigkeiten in den angrenzenden Räumen nicht ausgebaut werden und würde im Nachgang erfolgen. Die Wohnung muss zu einem späteren Zeitpunkt erneut betreten werden. In der Zwischenzeit sind die fertigen Räume auf Grund der fehlenden Zimmertüren nicht geschützt.

Eine weitere Möglichkeit wäre die Einteilung des Produktes in sehr kleine Einheiten wie m^2 oder m^3 . Die Durchlaufzeit könnte stark reduziert und der Fluss verlängert werden. So hätte eine Wohnung mit $100 m^2$ auch 100 Wiederholungen anstatt nur einem Vorgang. Die zuvor beschriebenen drei Punkte würden sich zuspitzen. Hinzu kommt noch die Schwierigkeit der physischen Einteilung und Einhaltung der Taktbereiche.

Die Reduzierung der Taktzeit hat Grenzen in der Organisation des Ablaufs. Während in der Industrie Taktzeiten im Sekunden-Bereich realisierbar (FORMAT-4 Maschinenbau 2017) sind, liegt die Taktzeit im Bauwesen in den meisten Fällen bei Tagen. Die ausgewerteten Beispiele zeigen die drei Taktzeiten Tag, zwei Tage und Woche. Pro Taktzeit muss eine Leistung fertiggestellt sein und die Übergabe samt Qualitätskontrolle an den nächsten Prozess erfolgen. Eine Reduzierung des Taktes bedeutet somit eine Erhöhung der Schnittstellenanzahl. Ebenfalls müssen die auftretenden Probleme schneller gelöst werden, damit die Taktzeit und Übergabe eingehalten werden kann. Handelt es sich um sehr stabile Prozesse, so ist eine Reduzierung des Taktes möglich. Auch Zulieferprozess und Ressourcenbereitstellung müssen auf die kleinen Takte optimiert werden. Kleine Takte enthalten ebenfalls geringeren Puffer, um auf

Abweichungen im Produkt zu reagieren. Dennoch sind kleine Takte im Bauwesen realisierbar. Projektbeispiele mit Taktzeiten von einer Stunde (Binninger u. a. 2018; Dlouhy u. a. 2017) und 15 Minuten (Heinonen und Seppänen 2016) wurden bereits veröffentlicht.

Die Verbesserung der Eigenschaft Rhythmus aus Arbeitskraftperspektive kann durch eine Reduzierung der Taktbereichsgröße erzielt werden. Eine parallele Verkürzung der Taktzeit verstärkt diesen Effekt. Nebeneffekte treten dabei bei der Gleichmäßigkeit und Kontinuität auf. Wird die Eigenschaft Kontinuität aus Produktperspektive auf einer absoluten Skala ausgewertet, so ergeben sich starke Auswirkungen der Taktzeit und Taktbereichsgröße. Dennoch ist diese Verbesserungsmaßnahme limitiert anwendbar.

6.5.3 Verbesserungsansatz 2: Erhöhung des Füllgrades

Der Taktplan auf Normebene zeigt eine vollständige Füllung der Takte an. Die Auswertung auf Mikroebene ergänzt diese Darstellung und deckt die tatsächliche Auslastung in Form des Füllgrades auf. Es handelt sich hier nur um die theoretische und berechnete Füllung des Taktes. Dennoch lässt sich die Aussage ableiten, dass die Kästchen nie ganz gefüllt sind. In vielen Fällen herrscht ein sehr geringer theoretischer Füllgrad. Beispielsweise lassen sich das Arbeitspaket ‚Einbringung Estrich‘ und der ‚Einbau Innentüren‘ hervorheben. Der Türenbauer benötigt für eine Tür ca. 0,6 h. Da eine durchschnittliche 3-Zimmer-Wohnungen zwischen drei und sechs Innentüren besitzt, kommt der Türenbauer bei einem Tagestakt nur auf einen Füllgrad von durchschnittlich 0,45 % (0,6 h x 6 Türen / 8 h).

Bei der Harmonisierung wird die Personalstärke der Kolonnen so angepasst, dass ein besserer Füllgrad erreicht wird. Bei vielen Gewerken lässt sich auch durch die Harmonisierung der Füllgrad dieser Takte nicht signifikant anheben, da hier eine technische, organisatorische oder vertragliche Barriere herrscht. Beispielsweise ist es sinnvoll, zum Vertragen der Türen zwei Personen einzuplanen. Hier kann kaum am Stellhebel Personalstärke gearbeitet werden.

Zur Verbesserung des Füllgrades gibt es verschiedene Ansätze. Die folgenden Abschnitte beschreiben die wichtigsten Verbesserungen sowie deren Anwendung und diskutieren die Ansätze kritisch.

Workable Backlog

Eine Verbesserungsmöglichkeit ist der aktive Einsatz von Workable Backlogs, die auch als Ausweichflächen bezeichnet werden. Workable Backlogs sind Arbeitsbereiche eines Bauwerks, die wenige Abhängigkeiten zwischen den Gewerken aufweisen und zeitlich unkritische Vorgänge für das Gesamtbauvorhaben enthalten. Ist das Gewerk früher als in der vorgegebenen Taktzeit fertig, können diese ausgewiesenen Bereiche als Ausweichfläche für das betroffene Gewerk dienen. Ein Beispiel ist in Abbildung 63 dargestellt. Hier werden die dunklen Arbeitspakete von Bereich C so angeordnet, dass sie die Vorgänge mit geringem Füllgrad in TZ 5 und TZ 6 im Taktplan ausgleichen.

		Zeit - Taktzeit (TZ)											
		TZ 1	TZ 2	TZ 3	TZ 4	TZ 5	TZ 6	TZ 7	TZ 8	TZ 9	TZ 10	TZ 11	TZ 12
Ort - Taktbereich (TB)	TB 1	■	■	■	■								
	TB 2		■	■	■	■							
	TB 3			■	■	■	■						
	TB 4				■	■	■	■					
	TB 5					■	■	■	■				
	TB 6						■	■	■	■			
	TB 7							■	■	■	■		
Workable Backlog	A			■	■	■			■	■	■		
	B		■	■	■								
	C						■	■	■				
	D				■	■		■	■	■			
	E									■	■	■	

Abbildung 63: Taktplan mit ausgewiesenem Workable Backlog

Die Praxiserfahrung zeigt, dass dieser Ansatz entweder eine sehr hohe Disziplin und Koordination benötigt oder die Flächen im Workable Backlog nur unzureichend abgearbeitet werden bzw. oft die notwendige Vorleistung zum benötigten Zeitpunkt fehlt. Hinzu kommt, dass der Wechsel während der Taktzeit eine zusätzliche Rüstzeit erfordert, da beispielsweise das Gewerk bei einem Wohnungsbau vom Obergeschoss in die Tiefgarage umziehen muss. Der Verfasser empfiehlt einen gezielten Einsatz dieses Ansatzes und eine einfache Visualisierung auf der Baustelle. Eine bessere Alternative stellt die detailliertere Planung dieser Flächen und konkrete Abstimmung mit dem Taktplan dar, da hier die Kapazitäten besser geplant werden können.

Zugverzahnung

Ein zweiter Verbesserungsansatz ist die Zugverzahnung. Dieser Ansatz ist für Gewerke interessant, die nur einen sehr geringen Füllgrad in ihrem Arbeitspaket haben. Bei diesem Ansatz werden einzelne Kolonnen in mehreren Zügen gleichzeitig eingesetzt. Ziel ist es, durch die Überlappung von mehreren Zügen einen höheren Füllgrad aus Perspektive der Arbeitskraft zu erreichen. Die Zugverzahnung kann innerhalb eines Bauvorhabens mit mehreren Zügen erfolgen oder baustellenübergreifend eingesetzt werden. Gibt es beispielsweise zwei Züge auf zwei Baustellen mit einem Füllgrad von jeweils 40 % für das Gewerk Estrich, werden die Baustellen zusammengelegt. Es kann somit ein theoretischer Füllgrad von 80 % aus der Arbeitskraftperspektive erreicht werden. Wichtig ist dabei, dass die entstehenden Rüstzeiten beachtet werden. Liegen die beiden Baustellen zu weit voneinander entfernt, kann die Rüstzeit durch den Fahrweg einen hohen Anteil übernehmen. Die Fahrzeit fällt bei der klassischen Projektabwicklung oft auf den Anfang und das Ende des Arbeitstages, sofern der Anfahrtsweg nicht zu lange ist. Bei einem Wochentakt könnte somit jeden Tag eine andere Baustelle angefahren werden, ohne dass eine signifikante Rüstzeitverlängerung entsteht. Dies erfolgt unter der grundlegenden Annahme, dass im Innenausbau kaum eine feste Baustelleneinrichtung vor Ort notwendig ist. Bei kurzen Taktzeiten kann diese Möglichkeit nicht immer genutzt werden, da ein Baustellenwechsel innerhalb des Tages nur in sehr wenigen Fällen sinnvoll ist. Hier ist das Verhältnis von Rüstzeit zu Bearbeitungszeit zu hoch. In der Praxis wird dieser Ansatz bereits mehrfach umgesetzt, ist aber

kaum dokumentiert, da dieser Prozess dem externen Nachunternehmer obliegt. Gerade für das Gewerk Estrich oder Maler kann dieser Ansatz sehr sinnvoll sein, da diese Gewerke kaum Baustelleneinrichtung vor Ort vorhalten müssen bzw. die Baustelleneinrichtung mit dem Auto täglich transportiert wird.

Aus der Arbeitskraftperspektive kann mit diesem Ansatz der Füllgrad und somit die Kontinuität sehr positiv beeinflusst werden. Aus der Produktperspektive hat der Ansatz keine Auswirkungen auf den Fluss. Der Ansatz hat vertraglich keine Auswirkungen und ist lediglich eine organisatorische Herausforderung.

Springer

In einigen Fällen entsteht ein geringer Füllgrad auf Grund einer ungünstigen Mitarbeiterzusammensetzung. Hierfür kann der Einsatz eines Springers zielführend sein. Als Beispiel kann hier der Türenbauer genannt werden. Den Einbau der Innentüren kann ein Mitarbeiter alleine durchführen. Für den Transport der Innentüren ist allerdings ein weiterer Mitarbeiter notwendig, da diese sehr sperrig sind und oft in kleinen Treppenhäusern im Wohnungsbau ein Risiko der Beschädigung darstellen. Die Verbesserungsmöglichkeit des Springers bietet in diesem konkreten Fall eine Lösung. Hierbei kommen Helfer zum Einsatz, die ausgewählte Arbeitskräfte nur punktuell unterstützen. Bezugnehmend auf das angeführte Beispiel kann der Türenbauer während der kurzen Logistikphase mit einem zweiten Mitarbeiter unterstützt werden. Dieser Ansatz ist in der Industrie bereits etabliert. (REFA 1993, S. 170) Alternativ könnte auch ein Multihandwerker, der verschiedene Arbeitspakete und Arbeitsschritte beherrscht, eingesetzt werden. Er kann in Urlaubssituationen als Springer agieren und die einzelnen Arbeitspakete unterstützen. Die große Hürde im Bauwesen liegt hier in den Vertragsmodellen. Oft werden Pauschalen gebildet oder auf Basis von Einheitspreisen für einzelne Gewerke abgerechnet. Dabei kann der ganzheitliche Optimierungsgedanke in den Hintergrund rücken und es kommt zu singulären Verbesserungen. Zudem besteht eine Hürde in der Gewährleistungsabgrenzung. Ein Springer wird flexibel eingesetzt und erfordert deshalb ein ganzheitliches Projektdenken, Vertrauen und eine übergeordnete Koordination. Eine Gesamtvergütung und Partizipation am Gesamterfolg sind hier sehr hilfreich.

Gewerkegrenzen-Auflösung

Eine weitgreifende Variante des Springer-Ansatzes ist die Gewerkegrenzen-Auflösung. Die Automobilindustrie lebt diesen Ansatz vor, in dem die Mitarbeiter mit Hilfe einer Qualifikationsmatrix an verschiedenen Arbeitsstationen ausgebildet werden und einsetzbar sind. Somit kann bei Bedarf der Mitarbeiter von Station 2 bei Station 1 aushelfen. Es entsteht dabei ein Zusatzeffekt, sodass der Mitarbeiter von Station 2 auch die Qualität von Station 1 kontrollieren kann, da die Arbeitsschritte bekannt sind. Dieser Ansatz hat den Vorteil, dass die Arbeitspakete sehr flexibel eingeteilt werden könnten und keinen starren Grenzen untergeordnet werden.

Historisch geprägt herrscht im Bauwesen eine starke Teilung und Spezialisierung des Handwerks. Dies führt zu klaren Grenzen und Verantwortungsbereichen und einem tiefen Detailwissen. Eine Auflösung dieser Grenzen hätte den Vorteil einer einfachen Verteilung des Aufwandes, einer gleichmäßigen Auslastung und einer höheren Flexibilität in der Personalplanung auf der Baustelle. Abbildung 64 zeigt ein Beispiel einer Gewerkegrenzen-Auflösung. Die Arbeitsschritte des rot markierten Arbeitspakets werden auf die beiden anderen Arbeitspakete verteilt. So entsteht eine konstante Auslastung von 90 %.

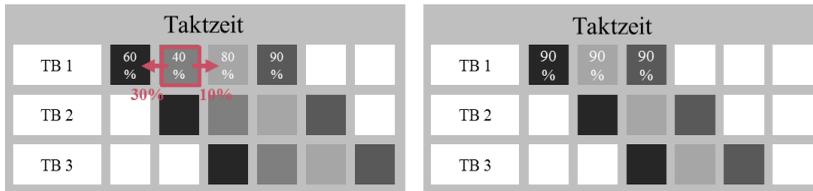


Abbildung 64: Beispiel einer Gewerkegrenzen-Auflösung

In den ausgewerteten Projekten liegt der durchschnittliche Aufwand pro Einheit bei 71,8 Arbeitsstunden. Dies entspricht bei einer durchgängigen Besetzung von zwei Mitarbeitern ca. 36 Zeitstunden und somit 4,5 Arbeitstagen¹⁴. Ohne Berücksichtigung der Trocknungszeiten besteht ein theoretisches Potenzial von über 90 % Bauzeitverkürzung aus der Produktsicht im Bezug zur

¹⁴ Ein Arbeitstag hat acht Zeitstunden

durchschnittlichen Durchlaufzeit von 16 Wochen. Aus Arbeitskraftsicht könnte eine sehr konstante Auslastung erzielt werden. Auch Schwankungen in den einzelnen Taktbereichen könnten über einen Puffer oder die Verschiebung von Mitarbeitern ausgeglichen werden.

Kritisch zu betrachten sind der Komplexitätsgrad der Arbeit und das notwendige Ausbildungsniveau. Es handelt sich hier um eine handwerkliche Tätigkeit, die spezielle Anforderungen mit sich bringt. Die Abläufe und Handgriffe werden während der Berufsausbildung intensiv trainiert und die Arbeitskraft ist auf diese Bewegung spezialisiert. Ebenfalls ist die Arbeitskraft mit dem Material und dessen Verarbeitung vertraut. Auch das benötigte technische Knowhow ist auf den meisten Baustellen sehr hoch. Eine andere Ausrichtung wird für neue Herausforderungen sorgen und die Effizienz der bisher eingespielten Abläufe wird sich zunächst reduzieren. Eine Produktstandardisierung und Abstimmung mit dem Arbeitsprozess hinsichtlich der neuen Anforderung wirkt dem Effizienzverlust entgegen. Hinzu kommt die Abgrenzung in Bezug auf die Gewährleistung. Eine einheitliche Trennung und Struktur sorgt für eine klare Abgrenzung des Fehllersschuldens hinsichtlich der Gewährleistung. Wenn nun der Fall eintritt, dass Mitarbeiter des Arbeitspakets 2 dem Arbeitspaket 1 aushelfen, so muss die Verantwortung in einer traditionellen Vertragskonstellation klar hinsichtlich der Gewährleistung abgegrenzt sein oder die Vertragskonstellation wird geändert. Ähnliche Fragestellungen hinsichtlich der Abgrenzung kommen bei den Themen Abrechnung, Motivation und Interesse der Mitarbeiter, Schuldfragen etc. auf. Traditionelle Vertragsarten, wie beispielsweise ein Pauschalvertrag für jedes einzelne Gewerk, sind dann nicht mehr möglich. Hier müssen entweder neue Vertragsformen gefunden werden oder eine klare Abgrenzung definiert sein.

Um die vertraglichen Fragestellungen zu umgehen, bestünde eine weitere Möglichkeit in einer Gewerkegrenzen-Auflösung innerhalb eines Unternehmens. Ein Unternehmen müsste sich auf mehrere Gewerke spezialisieren und innerhalb seiner Aufgabenpakete eine Gewerkegrenzen-Auflösung durchführen. Eine flexible Einteilung der Mitarbeiter innerhalb der Arbeitspakete des übergreifenden Unternehmens ist einfach umsetzbar. Hier sind lediglich Schulungs- und Weiterbildungsmaßnahmen notwendig.

Ein hoher Standardisierungsgrad im Produkt und dem Prozess unterstützt diese Idee und vereinfacht die Steuerung und Schulung der Mitarbeiter.

6.5.4 Verbesserungsansatz 3: Zusammenarbeit

Im Analysekapitel wird die Zusammenarbeit mit dem externen NU als eine der Hauptstörungsquellen identifiziert. Es gibt verschiedene Zusammenarbeitsformen, auch Sourcing-Varianten genannt, die sich je nach Betrachtungsaspekt in verschiedene Dimensionen gliedern lassen. In der Baubranche ist das Outsourcing in der heutigen Zeit wohl die bekannteste Variante. Outsourcing stellt das Gegenteil des Insourcings dar und gilt seit mehreren Jahrzehnten als strategische Grundausrichtung in der Baubranche (vgl. Zilch u. a. 2012, S. 588 f.). In anderen Industrien und Bereichen gibt und gab es eine ähnliche Entwicklung. So wurden beispielsweise in vielen Unternehmen unabhängig von der Branche die IT ausgelagert. Das Outsourcing verfolgt laut der gängigen Literatur das primäre Ziel, Leistung an externe Unternehmen auszulagern, um sich auf die Kernkompetenz zu fokussieren. (vgl. Bergen 2017, S. 4 f.) Als einer der positiven Nebeneffekte werden die Verantwortung und das Risiko ebenfalls ausgelagert. Genau dieser Effekt ist vermutlich einer der Hauptgründe für Bauunternehmen einzelne Bauprozesse ausgelagert zu betreiben. Im Laufe der Jahrzehnte hat sich die Situation so zugespitzt, dass ein eigenes Berufsfeld des Generalübernehmers (siehe Kapitel 2.3.5) mit einer vollständigen Auslagerung der Bauprozesse entstand. Dies wird auch als totales Outsourcing bezeichnet. (vgl. Bergen 2017, S. 17; von Jouanne-Diedrich o. J., S. 127) Genauer betrachtet, ist der Bauprozess die Kernkompetenz im Bauen. Aus diesem Grund widerspricht das Outsourcing-Vorgehen der Baubranche dem klassischen primären Ziel sich auf die Kernkompetenz zu fokussieren.

Der Verbesserungsansatz in diesem Kapitel soll die Zusammenarbeit mit dem Nachunternehmer fördern und das Ziel der langfristigen Störungsminimierung verfolgen. In dieser Arbeit hat keine weiterführende Auswertung hinsichtlich möglicher detaillierter Störungsursachen stattgefunden. Nach Erfahrungen des Verfassers könnten die Hauptursachen für die Störungen in einer mangelnden Transparenz, fehlendem Verständnis füreinander und die auftretende

Situation, unterschiedlichen Zielen und Interessen sowie nichtausgesprochenen Erwartungen liegen.

Es werden beispielhaft vier verschiedene Möglichkeiten vorgestellt, die nicht als abschließend und vollständig zu betrachten sind. Die vier Möglichkeiten sind in der Reihenfolge des Grades des Eingriffes und der Auswirkungen geordnet:

- ⇒ Kulturelle Aspekte stärken - Vertrauen aufbauen
- ⇒ Vertragliche Anpassungen
- ⇒ Partnerschaft und Kooperation
- ⇒ Insourcing / Backsourcing

Kulturelle Aspekte stärken

Eine Verbesserungsmöglichkeit ist die Berücksichtigung kulturellen Aspekte der Zusammenarbeit. In einer klassischen Projektabwicklung ist die Zusammenarbeit nur über klare Fakten auf Inhalts- und Sachebene im Vertrag geregelt. Kulturelle Themen auf der Beziehungsebene werden selten adressiert. Mögliche kulturelle Differenzen werden nicht thematisiert und die Gefahr von Störungen in der späteren Zusammenarbeit ist sehr hoch. Als Folge kann schnell eine Konfliktsituation entstehen, die sich auf Grund von fehlendem Verständnis des Gegenübers nach den Stufen von Friedrich Glasl (1997) bis hin zum gemeinsamen Untergang in Form einer Insolvenz zuspitzen kann. Um das Risiko für die Entstehung dieser Abwärtsspirale zu vermeiden, müssen frühzeitig Maßnahmen in Form von beispielsweise Teambuilding eingeleitet werden. Durch gezielten Einsatz kann die Zusammenarbeit signifikant verbessert werden kann (vgl. Lauer 2010, S. 146 ff.).

Vertragliche Anpassungen

Wird die vertragliche Situation als mögliche Störungsursache gesehen, kann über eine Anpassung des Vertrags eine bessere Zusammenarbeit erzielt werden. Darüber hinaus müssen verschiedene Verträge aufeinander abgestimmt sein. Erste Ansätze unter dem Namen ‚Integrated Project Delivery‘ (IPD) sind im internationalen Bauwesen vorhanden. Die Umsetzung in Form eines

Mehrparteivertrages, auch relationale Verträge genannt, gibt es bereits. Dieser Ansatz wird bisher verstärkt auf dem nordamerikanischen Kontinent umgesetzt. In Australien gibt es ähnliche Ansätze, die unter dem Namen ‚Alliancing‘ bekannt sind (vgl. Schlabach 2013, S. 53). Finnland und die skandinavischen Länder haben ebenfalls diesen Ansatz integriert (vgl. Merikallio 2017, S. 292 ff.). In Deutschland findet die Umsetzung bisher sehr zögerlich statt, da dieses Vorgehen nicht dem Vorgehen der VOB entspricht. Die im Jahr 2018 gestartete ‚Initiative Teambuilding‘ nimmt sich dieses Themengebiets an und verfolgt das Ziel, eine Projektentwicklungsform für den deutschen Baumarkt zu entwickeln (Initiative TeamBuilding 2019).

Die Idee des Mehrparteivertrages besteht darin, verschiedene Parteien am Bau gleichzeitig über einen gemeinsamen Vertrag zu binden. Der Vertrag hat die Besonderheit, dass Risiko und Gewinn aufgeteilt werden. Oft werden in diesem Vertrag nur die Grundsätze der Zusammenarbeit festgelegt. Die Fakten auf der Inhalts- und Sachebene werden im Laufe des Projektes definiert. Dadurch werden Vertrauen und Transparenz in der Zusammenarbeit gefördert. Bisher wird dieser Ansatz primär in der frühen Projektphase zwischen Bauherrn, Generalunternehmer und Planer eingesetzt. Es können monetäre, zeitliche als auch qualitative Effekte daraus entstehen. Werden dieser Ansatz und die Grundidee auf die ausführenden Unternehmen erweitert, so kann die Zusammenarbeit verbessert werden.

Partnerschaft und Kooperation

Die Idee hinter dieser Verbesserungsmöglichkeit liegt in einer langfristigen Bindung der Baupartner. Ein Generalunternehmer sucht sich eine begrenzte Auswahl an Partner- oder Kooperationsunternehmen. Über einen Vertrag wird die projektübergreifende Zusammenarbeit geregelt. So würden auf der Inhalts- und Sachebene Einheitspreise und Standarddetails fixiert werden. Auf der Beziehungsebene wird die Zusammenarbeit geregelt. Eine hohe Standardisierung erleichtert die langfristige Zusammenarbeit. Mit dem Ansatz könnten die An- und Ablaufeffekte der Zusammenarbeit minimiert werden. Ebenfalls würde sich eine zeitliche und monetäre Investition in die Zusammenarbeit lohnen, da sich die resultierenden Effekte über mehrere Projekte hinweg amortisieren könnten. Beispielsweise könnte das kaufmännische Abwicklungssystem

zwischen den Kooperationspartnern automatisiert werden und es würde eine Win-win-Situation entstehen.

Insourcing / Backsourcing

Mittlerweile hat sich in vielen Bereichen und Branchen das Verständnis verändert und es kommt zu einem Backsourcing. Dies ist die Rückholaktion eines ehemaligen Outsourcing-Vorgangs. Wohingegen sich das Insourcing als erstmalige Integration externer Unternehmensprozesse abgrenzt. Die Beweggründe sind vielschichtig. Neben einer nicht funktionierenden externen Schnittstelle, könnten beispielsweise der Verlust von Know-how, zu große Marktabhängigkeit, fehlende Partner, mangelndes Vertrauen etc. weitere Gründe gegen Outsourcing sein (vgl. Six 2004, S. 75). Mit zunehmender Wichtigkeit der Digitalisierung in der heutigen Zeit, können interne IT-Kompetenzen zum entscheidenden Marktvorteil werden. Eine logische Folge daraus, ist das In- oder Backsourcing dieser Kompetenz.

Wird ein Blick in die Historie des Bauwesens geworfen, so hatten die Bauunternehmen größtenteils das Wissen und den direkten Bauprozess im eigenen Unternehmen integriert. Im Laufe der letzten Jahrzehnte wurde der Baumarkt in Form von Regulierungen und technischen Anforderungen immer komplexer. Gepaart mit einem hohen Preisdruck ist eine Spezialisierung in Form von Handwerksgewerken die Folge. Im klassischen Wohnungsbau wurden somit vom Bauherrn verschiedene Unternehmen beauftragt. Im schlüsselfertigen Wohnungsbau sind nach Erfahrung des Verfassers aktuell zwischen 15 und 30 Unternehmen für die Erstellung eines Bauwerks notwendig. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit einer Koordinationsebene in Form eines GU oder GÜ, die sich oft aus klassischen Rohbauunternehmen heraus entwickelt und erst im Laufe der Zeit die Kompetenzen in den weiteren schlüsselfertigen Gewerken erarbeitet haben. Somit wäre in diesem Fall von einem Insourcing die Rede. Der Hauptgrund für das bisherige Outsourcing liegt in der Risikoverteilung und Flexibilität bei einem Marktumbruch. Im Gegensatz werden Abstriche in der Zusammenarbeit akzeptiert.

Durch die detaillierte Produktionsabwicklung mit Hilfe von TPTS steigen die Anforderungen an die Stabilität und Qualität des Ablaufes. Da der Ablauf

durch kurze Vorgänge und viele Abhängigkeiten geprägt ist, steigt die direkte Anforderung an die Schnittstellen zwischen den Nachunternehmern. Die Auswertung aus Kapitel 6.3 zeigt die Auswirkungen auf und bestätigt die Schnittstellenthematik zwischen NU und GU sowie zwischen den Nachunternehmern. Verbunden mit den Besonderheiten des Bauwesens, beschrieben in Kapitel 2.2.1, liegt die Schlussfolgerung nahe, dass mit einer engeren Bindung der Handwerker die entstehenden Herausforderungen besser gehandhabt werden können. Insourcing bzw. Backsourcing stellen eine Möglichkeit dar. Durch die Historie im Bauwesen überwiegt in vielen Fällen ein Insourcing.

Ein Wandel hin zum totalen Insourcing ist ein sehr großer Schritt und wahrscheinlich nicht sinnvoll. Es gibt allerdings Möglichkeiten des selektiven Outsourcings, auch als Outtasking oder Smartsourcing bezeichnet. (vgl. von Jouanne-Diedrich o. J., S. 127) Übertragen auf das Fallbeispiel der Auswertung könnten die kritischen Gewerke mit vielen Schnittstellen intern abgewickelt werden, wohingegen die bereits gut funktionierenden Unternehmen weiterhin mit einem Outsourcingmodell abgewickelt werden. Intern und extern entstehende Monopolstellungen könnten durch ein Multi Sourcing anstatt eines Single Sourcing minimiert werden. Dabei wird beispielsweise nicht nur ein internes oder externes Team aufgebaut, sondern gleich mehrere. Diese Teams stehen in einem indirekten Wettbewerb; somit kann eine vermeintliche Monopolstellung ausgehebelt werden.

Neuere Entwicklungen wie das Next-Generation-Outsourcing fokussieren verstärkt die Aspekte auf der Geschäftsprozessebene anstatt auf der Sach- und Inhaltsebene (vgl. Keuper u. a. 2009, S. 37). Diese Ansätze könnten eine vielversprechende Wirkung erzielen.

6.5.5 Übersicht der Verbesserungsmöglichkeiten

Der Verfasser identifiziert drei Verbesserungsansätze zur Steigerung der Arbeitsflusskontinuität. Abbildung 65 stellt die drei Ansätze, die in den vorherigen Unterkapiteln beschrieben sind, dar und fasst das Ziel und die Möglichkeiten zusammen.



Abbildung 65: Übersicht der Verbesserungsansätze

6.5.6 Potenzialermittlung

Die Ermittlung des Gesamtpotenzials wird mit Hilfe eines Taktplans nachvollziehbar erläutert:

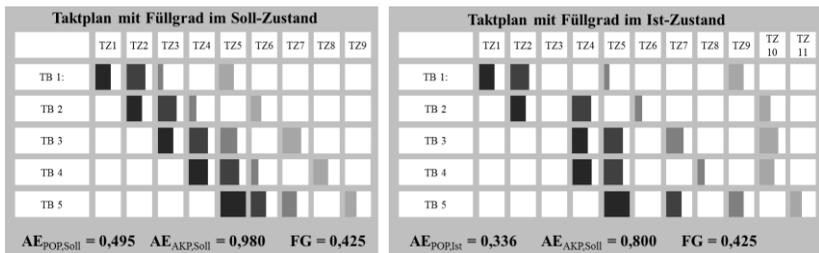


Abbildung 66: Beispieltaktpläne zur Ermittlung des Gesamtpotenzials

Als Ausgangsbasis werden die Taktpläne mit einer Taktzeit von einer Woche definiert, da der Großteil der Projekte in dieser Kategorie liegt. Diese werden auf die Taktzeit von einem Tag (siehe Kapitel 6.1) normiert. Die Analysen in Kapitel 6.3 zeigen auf, dass der durchschnittliche Füllgrad 42,5 % beträgt. Im normierten Soll-Zustand des Taktplans wird eine Arbeitsflusseffizienz aus Produktperspektive von $AE_{POP,Soll} = 49,5 \%$ erreicht. Dieser Wert sinkt im Ist-Zustand auf $AE_{POP,Ist} = 33,6 \%$ (siehe Tabelle 12). Aus der Arbeitskraftperspektive wird der Wert $AE_{AKP,Soll} = 98,0 \%$ und $AE_{AKP,Ist} = 80,0 \%$ (siehe Tabelle 10) erreicht. Zur Ermittlung des Gesamtpotenzials wird die Formel 17 aus Kapitel 6.3 verwendet.

$$AE_{POP,Soll,Mikro} = FG * AE_{POP,Soll,Norm} = 42,5 [\%] * 49,5 [\%] = 21,0 \%$$

Beispielberechnung Arbeitsflusseffizienz aus Produktperspektive Soll

$$AE_{POP,Ist,Mikro} = FG * AE_{POP,Ist,Norm} = 42,5 [\%] * 33,6 [\%] = 14,9 \%$$

Beispielberechnung Arbeitsflusseffizienz aus Produktperspektive Ist

$$AE_{AKP,Soll,Mikro} = FG * AE_{AKP,Soll,Norm} = 42,5 [\%] * 98,0 [\%] = 41,7 \%$$

Beispielberechnung Arbeitsflusseffizienz aus Arbeitskraftperspektive Soll

$$AE_{AKP,Ist,Mikro} = FG * AE_{AKP,Ist,Norm} = 42,5 [\%] * 80,0 [\%] = 34,0 \%$$

Beispielberechnung Arbeitsflusseffizienz aus Arbeitskraftperspektive Ist

Für die Arbeitsflusseffizienz aus der Produktperspektive wird ein theoretisches Potenzial von 79,0 % im Soll-Zustand und 85,1 % im Ist-Zustand festgestellt. Dies bedeutet, dass die Durchlaufzeit je Taktbereich in der Theorie im Soll-Zustand um beinahe 80 % gesenkt werden kann. Im Ist-Zustand ergeben sich durch äußere Einflüsse weitere Störungen. Hier ist eine theoretische Durchlaufreduzierung von ca. 85 % vorhanden. In der Arbeitskraftperspektive ist das Potenzial deutlich geringer. Hier ist eine theoretische Reduzierung von 58,3 % bzw. 66,0 % möglich.

In der Praxis müssen auf die theoretischen Werte Abschläge festgelegt werden. Ein Füllgrad von 90 % (7,2 h / 1 d) erscheint als realistischer Wert, da

Schwankungen in den Taktbereichen und Störungen somit abgefangen werden können. Hierfür sind in Kapitel 6.5.3 Verbesserungsvorschläge vorhanden.

Die Arbeitsflusseffizienz im Ist-Zustand kann durch eine Minimierung der Störungen mit Hilfe der Maßnahmen aus Kapitel 6.5.4 ansatzweise auf das Niveau des Soll-Zustandes angehoben werden. Bei einer Taktzeit von einer Woche ist eine $AE_{POP} = 0,8 - 0,9$ realistisch erreichbar. Dies zeigen einzelne Projekte bereits auf. Bei Taktzeiten von einem Tag ist $AE_{POP} = 0,65$ ein erreichbarer Wert. Der letztgenannte Wert wird als praktische Potenzialgrenze auf Grund der Projekte P46 und P47 festgelegt.

$$AE_{POP,Ziel} = FG * AE_{POP,Norm} = 90 [\%] * 65 [\%] = 54,0 \%$$

Berechnung der praktisch erreichbaren Arbeitsflusseffizienz aus
Produktperspektive als Zielwert

Die Flusseffizienz aus der Produktperspektive kann somit im Aktuellen-Zustand von 14,9 % auf 54 % im Ziel-Zustand angehoben werden. Es ergibt sich ein praktisches Gesamtpotenzial der Arbeitsflusseffizienz von rund 39 Prozentpunkten.

Für die Arbeitskraftperspektive ergibt sich durch die Erhöhung des Füllgrades auf 90 % eine ähnliche Tendenz in der Arbeitsflusseffizienz.

$$AE_{AKP,Ziel} [\%] = FG_P * AE_{AKP,Norm} [\%] = 90 [\%] * 98 [\%] = 88,2 \%$$

Berechnung der praktisch erreichbaren Arbeitsflusseffizienz aus
Arbeitskraftperspektive als Zielwert

Die Ergebnisse sind in Abbildung 67 dargestellt. Die Arbeitsflusseffizienz im aktuellen und gemessenen Zustand befindet sich im Quadranten ‚Wüste‘. Durch die abgeleiteten Verbesserungsvorschläge kann eine höhere Arbeitsflusseffizienz erreicht werden. Der Zielwert liegt in der ‚perfekten Zone‘.

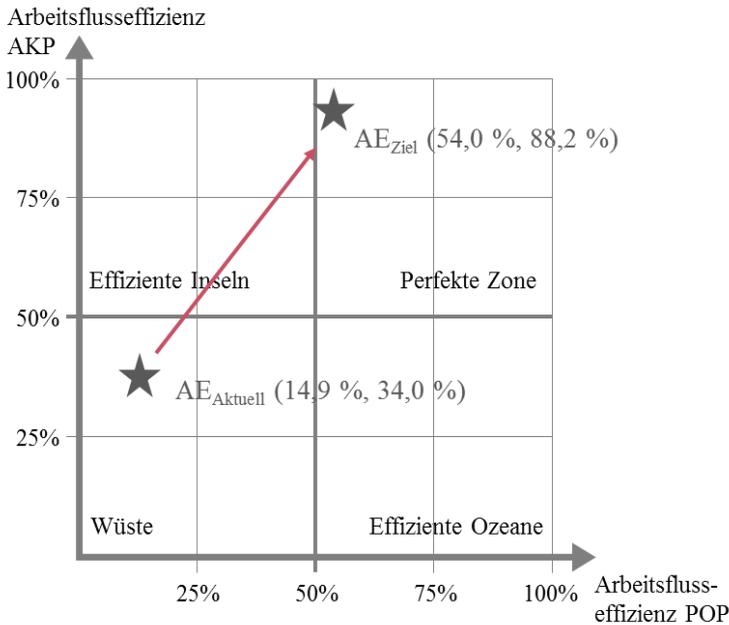


Abbildung 67: Darstellung der Arbeitsflusseffizienzen im aktuellen und Ziel-Zustand (vgl. Modig und Åhlström 2015)

6.6 Praktische Anwendung der Flusseffizienzen

6.6.1 Vorbemerkung

Bisher wurden die beiden Flusseffizienzkennwerte getrennt voneinander ausgewertet und über eine grafische Auswertung miteinander verbunden. In diesem Kapitel werden die beiden Kennwerte mathematisch verknüpft und eine Zielfunktion definiert. Die neue Kennzahl wird aus verschiedenen Betrachtungswinkeln analysiert. Darüber hinaus wird eine Empfehlung zum Umgang mit dieser Kennzahl aus Sicht eines Generalunternehmers gegeben.

Die neue Kennzahl ‚Arbeitsflusseffizienz Gesamt‘ (AE_{ges}) wird durch die beiden Flusseffizienzen AE_{AKP} und AE_{POP} gebildet.

$$AE_{\text{ges}} [-] = x_{\text{AKP}} * AE_{\text{AKP}} [-] + y_{\text{POP}} * AE_{\text{POP}} [-]$$

Formel 19: Verknüpfung der Flusseffizienzen

Hierin sind:

AE_{ges} : Arbeitsflusseffizienz gesamt

x_{AKP} : Vorfaktor der Arbeitskraftperspektive

y_{POP} : Vorfaktor der Produktperspektive

Bedingung 1: $0 \leq x_{\text{AKP}} \leq 1$;

Bedingung 2: $0 \leq y_{\text{POP}} \leq 1$;

Bedingung 3: $x_{\text{AKP}} + y_{\text{POP}} = 1$

Über die beiden Vorfaktoren x_{AKP} und y_{POP} stehen die beiden Flusseffizienzen in direktem Zusammenhang. Bedingungen 1 und 2 normieren die beiden Vorfaktoren auf einen Wert zwischen 0 und 1. Durch Bedingung 3 werden die beiden Vorfaktoren miteinander verknüpft und die jeweilige Flusseffizienz gewichtet.

6.6.2 Fallbetrachtungen und Wichtung

In diesem Kapitel wird die Frage diskutiert, wie die Gewichtung anhand der beiden Vorfaktoren erfolgt. Dabei werden verschiedene Szenarien durchleuchtet und diskutiert. Die verschiedenen Szenarios werden anhand eines Beispiels durchgespielt und miteinander verglichen. Die Betrachtung ist nicht als abschließend und vollständig zu bewerten. Es sollen lediglich einige Aspekte aufgezeigt werden.

Marktsituation

Fall A: Kundenmarkt (Käufermarkt)

Die Situation des Käufermarktes entsteht durch einen Überschuss an Angebot im Vergleich zur Nachfrage. Der Käufer ist durch eine freie Auswahl im Vorteil und hat eine höhere Marktmacht.

Diese Situation ist teilweise in den Rezessionsjahren Anfang des neuen Jahrhunderts vorzufinden (vgl. Die Deutsche Bauindustrie o. J.). Aus Sicht des Generalunternehmers besteht somit durch den Ressourcenüberschuss eine freie Auswahl an Nachunternehmern auf dem Arbeitsmarkt. Die Arbeitskraftperspektive spielt in diesem Fall eine untergeordnete Rolle, da ausreichende Ressourcen vorhanden sind. Die Produktperspektive rückt damit in den Vordergrund und kann bei richtiger Nutzung durch kurze Durchlaufzeiten zu einem Marktvorteil führen.

Fall B: Nachunternehmermarkt (Verkäufermarkt)

Der Verkäufermarkt beschreibt eine Marktsituation, bei der eine hohe Nachfrage und wenig Angebot herrschen. Der Engpass liegt in der Beschaffung und Produktion. Der Verkäufer ist somit in der vorteilhaften Position und kann durch die Knappheit auf dem Markt freier agieren. (vgl. Irgel 2004, S. 393 f.)

Diese Marktsituation besteht aktuell in großen Teilen der Baubranche. Am Beispiel des Generalunternehmers aus dem Fallbeispiel liegt die Nachfrage an günstigem Wohnraum in Ballungszentren weit über dem vorhandenen Angebot. Die fertiggestellten Immobilien werden deshalb sehr schnell verkauft. Der Verkaufspreis und die Fertigstellungsdauer spielen eine untergeordnete Rolle und werden vom Käufer akzeptiert. Die Folge der hohen Nachfrage ist ein entstehender „Bauboom“, der eine Ressourcenknappheit an Material oder Arbeitskräften mit sich ziehen kann. Aktuell befindet sich die Baubranche in Deutschland in dieser Situation (vgl. Die Deutsche Bauindustrie o. J.).

Aus Sicht des Generalunternehmers ist es schwierig Arbeitskräfte bzw. Nachunternehmer zu binden. Es ist deshalb entscheidend, dass die Nachunternehmer effizient eingesetzt werden. Die Arbeitskraftperspektive spielt somit eine entscheidende Rolle. Es sollte deshalb der Fokus auf die Ressourceneffizienz gelegt werden.

Output-Messgrößen

Fall C: Schnelle Bauzeiten

In einigen Fällen spielt die Bauzeit die entscheidende Rolle. Beispielsweise setzt Dlouhy (2020) die Bauzeit als wichtigstes Kriterium an, wenn es um den Ausbau von Industriehallen am Beispiel von Automobilproduktionen geht. Ein weiteres Beispiel ist die Renovierung von Verkaufsflächen (Binninger u. a. 2018). Hier sollte der Regelbetrieb möglichst geringfügig tangiert werden; kurze Bauzeiten spielen hier eine entscheidende Rolle.

In diesem Fall rückt die Produktperspektive in den Mittelpunkt. Im Extremfall kann es sinnvoll sein, Ressourcen oder sogenannte Springer auf der Baustelle vorzuhalten oder spezielle Materialien einzusetzen, um entstehende zeitliche Lücken im Produkt aufzuheben.

Fall D: Geringe Kosten

Wird davon ausgegangen, dass ein Großteil der Baukosten durch den Ressourceneinsatz entsteht, so führt die Verringerung der Personalkosten zu einer Kostensenkung. Dabei sollen die entstehenden Stunden minimiert und der effizientere Einsatz der Ressource ermöglicht werden. Dieser Ansatz verfolgt das analoge Ziel wie beim Verkäufermarkt. Der Fokus liegt dadurch auf der Ressourceneffizienz.

Input Größen:

Fall E: zu viele Ressourcen auf dem Markt, geringe Lohnkosten

Dieser Fall kann zahlreiche Auswirkungen haben. Bei einer Wirtschaftsrezession, die beispielsweise in den 1930er Jahren in Deutschland anzutreffen war, kann es zu einer Situation des Ressourcenüberschusses kommen und die Löhne sinken temporär (vgl. Hollederer 2011, S. 20). Ebenfalls kann der Fall E durch ein wirtschaftliches Gefälle zwischen zwei Staaten bzw. Regionen eintreten. Beispielsweise besteht in den Golfstaaten und im arabischen Raum ein Überschuss an Arbeitern aus dem asiatischen Raum. (vgl. Möllhoff 2013)

Aufgrund des Ressourcenüberschusses und der geringen Lohnkosten spielt die Arbeitskraftperspektive eine untergeordnete Rolle. In diesem Fall ist es nicht entscheidend, ob das Arbeitsvolumen der Arbeiter schwankt und zeitliche Lücken entstehen. Die Produktperspektive gewinnt dadurch an Bedeutung. Je nach Ausprägung der Situation kann hier aus Sicht des Generalunternehmers ein hoher Faktor für die Produktperspektive gewählt werden.

Fall F: wenige Ressourcen auf dem Markt, hohe Lohnkosten

Dieses Szenario kann eine Folge einer langanhaltenden Hochphase am Markt, wie aktuell vorhanden, sein. Die Folge dieser Marktsituation sind hohe Gehälter und ein steigender Lohnkostenanteil an den Baukosten. Die Ressource rückt dadurch in den Mittelpunkt und die Arbeitsflusseffizienz der Arbeitskraft muss optimiert werden.

6.6.3 Beispiel der Formelanwendung

Kommt es zur Situation, dass einer der Flusseffizienzen eine höhere Tragweite zugeordnet wird, so ist ein Faktor zwischen 0,6 bis 0,9 zu empfehlen. Der Faktor sollte in der Praxis nicht 1,0 erreichen, da die zweite Perspektive nicht vollständig vernachlässigt werden sollte. Folgendes Beispiel zeigt dies auf: In einem Bauproduktionssystem mit einer AE_{POP} von 70 und einer AE_{AKP} von 80 % wird mit dem Faktor 0,9 eine Fokussierung auf die Produktperspektive gelegt.

$$AE = x_{AKP} * AE_{AKP} + y_{POP} * AE_{POP} = 0,1 * 0,8 + 0,9 * 0,7 \% = 0,71$$

Beispielberechnung zur Flusseffizienzgewichtung

Die sich ergebende Gesamtarbeitsflusseffizienz liegt bei 71 %. Würden beide Faktoren mit 0,5 gleich gewichtet werden, würde ein Wert von 75 % entstehen. Um die Gesamtflusseffizienz aus Sicht des Generalunternehmers zu verbessern, sollte auf Grund des größeren Hebels die Arbeitsflusseffizienz aus Produktperspektive verbessert werden. Würde hier die Arbeitsflusseffizienz auf $AE_{POP} = 90\%$ gesteigert werden, so könnte eine Gesamtflusseffizienz von 89 % erreicht werden.

7 Abschluss

7.1 Zusammenfassung und Beantwortung der Forschungsfrage

Die Arbeit unterteilt sich in sieben Kapitel. Die ersten Kapitel der Arbeit führten mit Subforschungsfragen auf die Forschungsfrage hin. Die Arbeit behandelte abschließend im sechsten Kapitel die Frage, wie die Qualität des Flusses in getakteten Bauproduktionssystemen verbessert werden kann und fasst die Ergebnisse im siebten Kapitel zusammen. Abbildung 68 stellt die im Folgenden resümierte Vorgehensweise zur Beantwortung der Forschungsfrage grafisch dar.

Das erste Kapitel leitete in das Thema ein und zeigte den Forschungsbedarf hinsichtlich des Flusses in einem getakteten Bauproduktionssystem. Die Baubranche spielt in der deutschen Marktwirtschaft eine wichtige Rolle. Dabei weist die Baubranche erhebliches Potenzial zur Produktivitätssteigerung und Verbesserung des Produktionsergebnisses auf. Die Erzeugung und Qualitätssteigerung des Flusses in der Produktion spielen in diesem Fall eine sehr entscheidende Rolle hinsichtlich einer schlanken und effizienten Bauproduktion.

Im zweiten Kapitel dieser Arbeit wurden zunächst die theoretischen Grundlagen einer schlanken Produktion beschrieben und die Zusammenhänge zu den Produktionsprinzipien Fluss und Takt hergestellt. Weiterführend wurden die Grundlagen auf die Baubranche übertragen und die Hintergründe sowie Besonderheiten dieser Branche aufgezeigt. Ein spezieller Fokus lag dabei auf der Beantwortung der Subforschungsfrage, welche Bedeutung die Prinzipien Fluss und Takt in einem Bauproduktionssystem haben. Der Takt diene als Strukturierungselement des Ablaufes und verbindet die drei Größen Ort, Zeit und Arbeitsprozess. Der Fluss sorgt für eine effiziente Anordnung des Arbeitsprozesses, sodass die beiden Perspektiven der Ressourcen und des Produktes gleichmäßig, kontinuierlich und rhythmisch ausgelastet sind.

Eine Möglichkeit zur Implementierung dieser beiden Prinzipien ist die Taktplanung. Im dritten Kapitel wurden verschiedene Ansätze zur Taktplanung vorgestellt und die ausgewählte TPTS Methode detailliert vorgestellt. Es wurde die Subforschungsfrage nach der Vorgehensweise, mit welcher die Prinzipien Fluss und Takt in die Bauproduktion integriert werden können, beantwortet. Die ausgewählte TPTS Methode verfolgt das Ziel, durch den Ansatz eines Taktes einen Fluss in den Bauablauf zu integrieren. Bisher lagen keine Untersuchungen und Aussagen zur Qualität des durch die Methode erzeugten Flusses vor.

Basierend auf den Grundlagen zum Fluss wird im vierten Kapitel ein Bewertungssystem zur Messung der Flussqualität hergeleitet. Dabei wurde die Subforschungsfrage ‚Wie kann die Qualität des Arbeitsflusses in getakteten Bauproduktionssystemen gemessen werden?‘, behandelt. Das Resultat stellt die beiden Flussperspektiven aus Sicht der Arbeitskraft und des Produktes den drei Flusseigenschaften Kontinuität, Gleichmäßigkeit und Rhythmus gegenüber. In Folge entstand eine Matrix mit sechs Untersuchungsfeldern (siehe Abbildung 68).

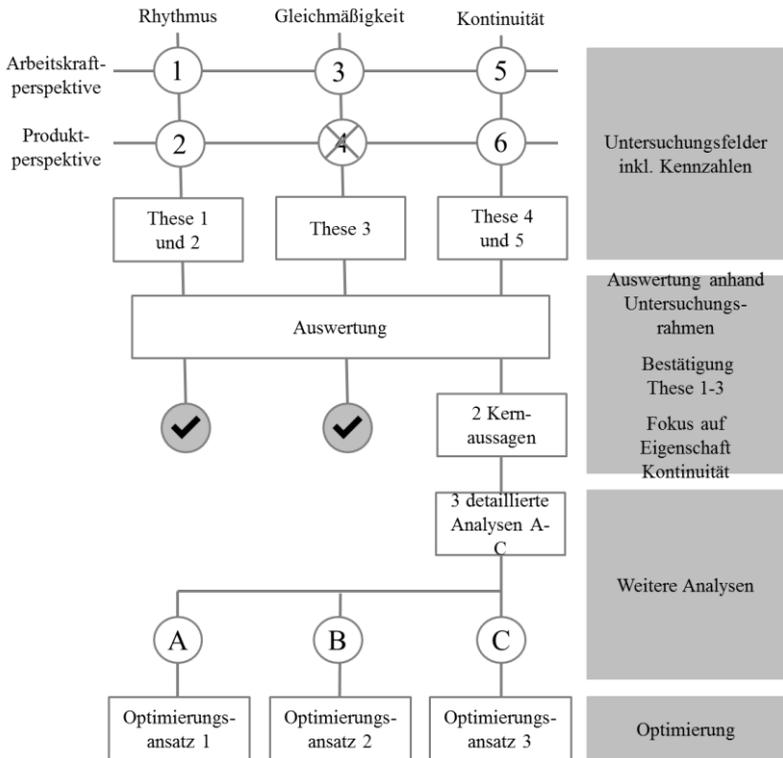


Abbildung 68: Übersicht des Vorgehens

Diese Matrix hatte zunächst einen allgemeingültigen Charakter und kann für alle Bauablaufpläne eingesetzt werden. Erst durch die Übertragung auf getaktete Bauabläufe wurde ein Fall aufgrund von logischen Begründungen ausgeschlossen. Zu den übrigen fünf Untersuchungsfeldern wurden Kennzahlen definiert. Daraus entstand ein Arbeitsflussbewertungssystem für getaktete Bauproduktionssysteme, mit dessen Hilfe die Qualität des erzeugten Flusses gemessen und bewertet werden kann. Abschließend wurde zu jedem Untersuchungsfeld eine These formuliert.

Mit Hilfe der entwickelten Arbeitsflussbewertungsmatrix wurden im fünften Kapitel 50 Projekte aus einem getakteten Bauproduktionssystem eines

ausgewählten Generalunternehmens hinsichtlich des Flusses untersucht. Insgesamt enthielten die ausgewerteten Daten rund 25 000 Arbeitspakete und über 200 000 Arbeitsschritte. Die Daten konzentrierten sich auf den schlüsselfertigen Innenausbau verschiedener Projekte. Anhand der Daten wurde zunächst der Fluss aus den unterschiedlichen Untersuchungsfeldern der Matrix mit Hilfe der Kennzahl bewertet. Die vorhandenen Daten bestätigten die Thesen 1 und 2 zum Vorhandensein eines Rhythmus sowie die These 3 zur Gleichmäßigkeit des Arbeitsflusses in den ausgewählten Projekten. Da die beiden Eigenschaften in getakteten Bauproduktionssystemen bereits vorhanden sind, wurden diese in der Arbeit nicht weiterverfolgt. Dies ist in Abbildung 68 durch den Haken symbolisiert. Die Thesen zur Kontinuität konnten nur teilweise bestätigt werden. Daraus ergaben sich zwei Kernaussagen. Zum einen nimmt die Arbeitsflusseffizienz von Soll- zum Ist-Plan um 18 Prozentpunkte aus Sicht der Arbeitskraft und 25 Prozentpunkte aus Sicht des Produktes ab. Zum anderen war der Fluss aus Arbeitskraftperspektive besser ausgeprägt. Im Soll-Zustand lagen die beiden Perspektiven nur 4,5 Prozentpunkte auseinander, im Ist-Zustand dagegen 12 Prozentpunkte. Die Subforschungsfrage zur vorhandenen Qualität des Arbeitsflusses in einem heutigen getakteten Bauproduktionssystem wurde somit beantwortet. Nachdem der Arbeitsfluss in realen Projekten gemessen wurde, lies sich die Tragweite der Eigenschaft Kontinuität klar erkennen. Dadurch wurde die Reduzierung von Lean auf die Effizienz des Flusses und der Kapazität durch Modig und Åhlström nachvollziehbar. In der weiteren Arbeit wurde folglich die Flusseigenschaft Kontinuität betrachtet.

Durch drei detaillierte Analysen zur Taktzeit (A), dem Füllgrad (B) und der Soll-Ist Differenz (C) wurden die bisherigen Erkenntnisse im sechsten Kapitel vertieft untersucht. Die Taktzeit hatte dabei starke Auswirkungen auf den Arbeitsfluss. Werden die Achsen auf eine gemeinsame Basis gestellt, zeigte sich, dass bei kürzeren Taktzeiten die Arbeitsflusseffizienz höher lag. Der Füllgrad bestimmte maßgeblich die Qualität des Arbeitsflusses, konnte jedoch nur im Soll-Zustand ausgewertet werden, da die Praxisdaten zum Ist-Zustand nicht in ausreichender Qualität vorlagen. Die Gründe für die Differenz zwischen Soll- und Ist-Taktplan wurden über eine detaillierte Analyse der Taktplanabweichungen und Experteninterviews identifiziert. Dabei ergaben sich acht Mechanismen, die zur Steuerung genutzt wurden. Die Experteninterviews zeigten

deutlich auf, dass der Hauptgrund für Störungen in der Zusammenarbeit mit den Nachunternehmern lag. Als Resultat konnte die Forschungsfrage ‚Wie kann die Qualität des Arbeitsflusses in getakteten Bauproduktionssystemen aus Sicht eines Generalunternehmers verbessert werden?’ beantwortet werden: Der Arbeitsfluss in getakteten Bauproduktionssystemen kann aus Sicht eines Generalunternehmers durch drei Verbesserungsansätze:

- ⇒ Verkleinerung der Takte,
- ⇒ Erhöhung des Füllgrades,
- ⇒ Verbesserung der Zusammenarbeit mit dem NU

verbessert werden. Die zugehörigen Verbesserungsmöglichkeiten zeigten die konkrete Umsetzung auf. Abbildung 69 fasst die Verbesserungen zusammen. Insgesamt ließ sich ein theoretisches Potenzial von 39,1 Prozentpunkten aus der Produktperspektive und 54,2 Prozentpunkten aus der Arbeitskraftperspektive ableiten.

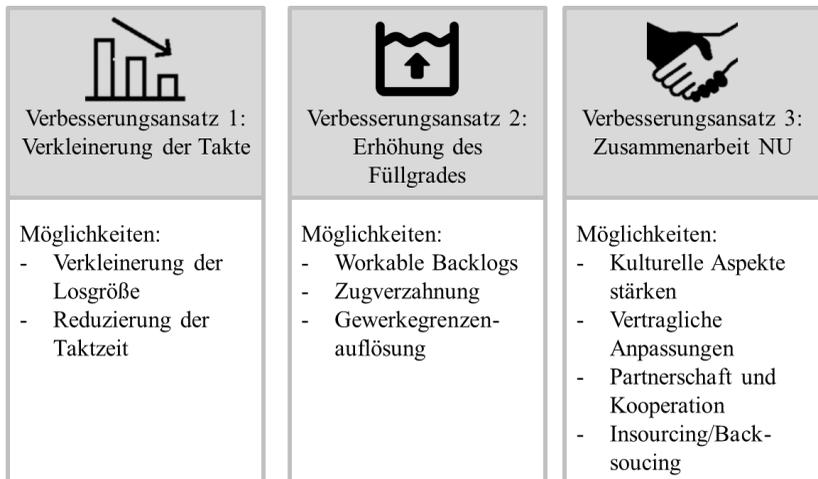


Abbildung 69: Zusammenfassung der Verbesserungsansätze inkl. der Verbesserungsmöglichkeiten

7.2 Kritische Auseinandersetzung

Die Arbeit erforschte den Arbeitsfluss in getakteten Bauproduktionssystemen. Dabei fanden durch die Fokussierung der Arbeit verschiedene Einschränkungen in der Analyse statt. Diese haben Auswirkungen auf die Übertragbarkeit der Erkenntnisse und werden deshalb an dieser Stelle ausführlich erläutert.

Die ausgewerteten Projekte stammen aus dem schlüsselfertigen Innenausbau und bilden innerhalb dieser Kategorie durch die Auswahl der Projekte ein breites Spektrum ab. Die direkte Übertragbarkeit der Erkenntnisse innerhalb dieser Kategorie ist gegeben. Bei einem Transfer auf weitere Projekte oder weitere Phasen außerhalb dieser Kategorie, beispielsweise dem Straßenbau, müssen die Besonderheiten aus den Kapiteln 2.3.1 und speziell 2.3.2 berücksichtigt werden. Die Übertragung ist somit eingeschränkt vorhanden.

Das vierte Kapitel betrachtete den Arbeitsfluss zunächst allgemeingültig und unabhängig von einer Taktung. Im Laufe des Kapitels werden die Besonderheiten der Taktung und speziell der TPTS Methode berücksichtigt und eine Fokussierung in der Betrachtungsweise getroffen. Das entwickelte Bewertungssystem und dessen Kennzahlen können nur in getakteten Bauproduktionssystemen eingesetzt werden. Ebenso gelten die daraus abgeleiteten Thesen und die Bestätigung der These 1 bis 3 nur für getaktete Bauproduktionssysteme. Wahrscheinlich kann mit einer geringen Anpassung eine Übertragung zu weiteren Bauproduktionssystemen hergestellt werden.

Die anschließende Konzentration auf die Flusseigenschaft Kontinuität deckt sich mit der Theorie von Modig und Åhlström. Die detaillierten Analysen gingen sehr tief in die Datenbasis der ausgewählten Projekte hinein. Alle drei Analysen und deren Ergebnisse sind dadurch sehr spezifisch zu betrachten. Speziell beim Füllgrad konnte durch eine Abweichung der theoretischen Aufwandswerte eine große Differenz entstehen. Die Tendenz der Analysen sowie das Vorgehen konnten auf alle weiteren Anwendungen übertragen werden. Gleiches Vorgehen galt für die Analyse der Differenz zwischen Soll- und Ist-Taktplan. Das Beispiel des Estrichbeschleunigers oder die unternehmensstrategische Anweisung zum Einsatz des Zugstopps zeigten die spezifische

Beeinflussung gut auf. Zur Bestätigung der Allgemeingültigkeit ist es sinnvoll, weitere Bauproduktionssysteme von verschiedenen Unternehmen zu untersuchen.

Die mehrdimensionale Betrachtung des Flusses in dieser Arbeit zeigte die Komplexität in der Betrachtung auf. Dies ermöglichte auf der einen Seite den sehr gezielten Eingriff in die Verbesserung des Flusses innerhalb eines Bauproduktionssystems. Auf der anderen Seite wurde die Anwendung in der Praxis nicht erleichtert, da sich durch die Mehrdimensionalität verschiedene Konflikte ergeben können. Die multidimensionale Betrachtungsweise des Arbeitsflusses zeigte dabei klar das Spannungsfeld zwischen den verschiedenen Beteiligten GU, NU und Bauherr auf, da jeder eine unterschiedliche Flussperspektive verbessern möchte. Dies könnte einer der Hauptursachen für das hohe Konfliktpotenzial im Bauwesen sein.

Die vorliegende Arbeit konzentrierte sich auf die Verbesserungsmöglichkeiten aus Sicht eines Generalunternehmers und somit auf die Normebene des 3-Ebenen-Modells. Dennoch wurden verschiedene Aspekte der Mikroebene einbezogen. Die Makroebene des Modells wurde nicht berücksichtigt.

In der Praxis wird die Frage aufkommen, welche Perspektive bzw. welche Eigenschaft denn nun gezielt verbessert werden soll. Diese Frage muss im Gesamtprojekt geklärt und mit allen Beteiligten abgestimmt sein. Der Verfasser zeigte einen möglichen Zusammenhang in Kapitel 6.6 auf. Die meisten Möglichkeiten und Anpassungen beeinflussten gleichzeitig auch mehrere Dimensionen. Die Arbeit klärte nicht abschließend und umfassend das vollständige Zusammenwirken der beiden Perspektiven Arbeitskraft und Produkt. Eine endgültige Aussage hat der Verfasser bewusst nicht gewagt, da hierfür noch die Untersuchung aus Sicht der Makro- und Mikroebene ergänzt werden muss.

In der Arbeit wurde der Fluss anhand der Kennzahlen bewertet. Diese Bewertung gibt erste Hinweise zur Qualität der Flussdimension. Eine abschließende und allgemeingültige Definition zum Qualitätsniveau konnte nicht getroffen werden. Damit ein anderes Bauproduktionssystem hinsichtlich der Flussdimensionen mit bereits vorhandenen Daten verglichen werden kann, sollte eine fixe Skala von beispielsweise „sehr gut“ bis „nicht erkennbar“ definiert

werden. So fällt es der Praxis leichter Bauproduktionssysteme vergleichbar zu machen.

7.3 Ausblick

Durch die TPTS Methode unterliegt die Bauablaufplanung einer Einteilung in Raum und Zeit. Werden nun die Prozesse anhand eines Flusses angeordnet, so bildet sich eine klar erkennbare Struktur. Diese Struktur unterliegt Regeln und reduziert durch die hohe Standardisierung die Komplexität.

Die Arbeit zeigt ein hohes Potenzial in der Verbesserung des Flusses in getakteten Projekten auf. Dieses Potenzial kann zu Einsparungen beim Nachunternehmer führen, da seine Mitarbeiter effizienter eingesetzt und über eine kürzere Zeit gebunden sind. Beim Bauherrn ergeben sich dadurch finanzielle und zeitliche Vorteile, da die Durchlaufzeit sehr stark verkürzt werden kann. Die Freisetzung der Puffer kann zu einer theoretischen Einsparung der Arbeitsflusseffizienz aus Produktperspektive von 39 Prozentpunkten führen. Ein theoretisches Potenzial der Durchlaufzeitreduzierung liegt bei rund 80 %. Durch die hohe Wiederholungsanzahl bei kurzen Taktzeiten könnte zusätzlich die Qualität gesteigert werden. Für den Generalunternehmer ergeben sich neue Möglichkeiten und Flexibilität, in einem solchen Bauproduktionssystem zu agieren. Aus Sicht des Generalunternehmers wird es möglich sein, die verschiedenen Perspektiven noch besser zu verzahnen und aufeinander abzustimmen. Dies kann zu weiteren Potenzialen führen.

Die bisherige Vorgehensweise zur Erstellung eines Taktplans muss anhand der Einteilung nach Berner et al. (2013a, S. 41) aus Tabelle 1 zu den heuristischen Methoden eingeordnet werden. Bisher hat die Möglichkeit zur Bewertung der Ergebnisgüte gefehlt. Durch diese Arbeit kann das Ergebnis der Taktplanung hinsichtlich des Flusses bewertet und verschiedene Varianten miteinander verglichen werden. Die erkennbare Struktur und die klar definierte Vorgehensweise, gepaart mit den neu definierten Zielgrößen in der Flussbetrachtung, bieten das Potenzial, die TPTS Methode unter die mathematisch-algorithmischen Methoden einzuordnen.

In Zukunft könnten verschiedene Gewerkesequenzen, die möglichen Taktzeiten und die Taktbereichsgrößen als Eingangsvarianten eingegeben werden. Ein Algorithmus berechnet verschiedene Taktplanvarianten und zeigt die besten Möglichkeiten hinsichtlich der Flusseffizienz auf. Auf dieser Basis kann eine eindeutige Entscheidung getroffen werden. In dieser Kategorie der Planungsmethoden existiert bisher nur die Netzplantechnik, die neben dem Vorteil der Nachvollziehbarkeit wiederum die Nachteile der Komplexität, der Abstraktheit und der fehlenden räumlichen Abhängigkeit mit sich bringt. Die Taktplanung adressiert genau diese Attribute. Durch die grafische Darstellung in Form des Taktplans wird die Nachvollziehbarkeit hergestellt und für den Anwender greifbarer gemacht. Die räumliche Abhängigkeit ist durch die Taktbereiche gegeben. Die Komplexität wird durch die klare Struktur in Form von Takten, definierten Abhängigkeiten und gleichmäßigen Vorgängen massiv reduziert. Taktplanung bildet bei systematischer Anwendung eine neue Kategorie im Bereich der mathematisch-algorithmischen Verfahren. Wie in Abbildung 70 dargestellt, bildet der Taktplan als Ergebnis eine neue Grunddarstellungsform neben der Terminliste, dem Balkendiagramm, dem Liniendiagramm und dem Netzplan.

Methoden	Heuristische Methoden				Mathematisch-algorithmische Methoden
Darstellungsform	Terminliste	Balkenplan	Liniendiagramm	Taktplan	Netzplan

Abbildung 70: Übersicht der Bauablaufplanung inkl. der Darstellungsart des Taktplans(vgl. Berner u. a. 2013a, S. 41)

Hierfür müssen die Regeln zur Erstellung noch stärker standardisiert und der Zusammenhang mit den Zielgrößen verstärkt betrachtet werden. Als nächster Schritt muss ein Algorithmus gebildet werden, der die neu definierten Zielgrößen berücksichtigt.

Aufgrund des hohen abgeleiteten Potenzials aus den ersten Untersuchungen dieser Arbeit, empfiehlt der Verfasser die Einbeziehung der Makroebene und die Verbindung zwischen den drei Ebenen als weitere Forschungsfelder für zukünftige Arbeiten. Des Weiteren könnten ergänzende Untersuchungen aus Sicht des Bauherren und der Arbeitskraft (NU) durchgeführt werden, um die

Zusammenhänge vollumfänglich abzudecken. Weitere Untersuchungen zur Übertragbarkeit des Bewertungssystems auf nicht getaktete Projekte sowie Daten aus Taktplänen anderer Unternehmen könnten die bisherigen wissenschaftlichen Untersuchungen ergänzen.

Die aufgezeigten Verbesserungsansätze inklusive der konkreten Möglichkeiten aus dem sechsten Kapitel müssen weiter untersucht und validiert werden, um das theoretisch abgeleitete Potenzial in der Praxis zu quantifizieren.

Gepaart mit der kritischen Auseinandersetzung im vorherigen Kapitel, ergibt sich zusammengefasst folgender Forschungsbedarf für die Zukunft:

- ⇒ Einbeziehung und Klärung der Zusammenhänge auf der Makro- und Mikroebene,
- ⇒ Übertragung der Erkenntnisse auf die Sichtweise von NU und Bauherr,
- ⇒ Erweiterung der Untersuchungen auf Bauproduktionssysteme von verschiedenen Unternehmen, um Allgemeingültigkeit herzustellen,
- ⇒ Untersuchung und Validierung der Verbesserungsansätze und -möglichkeiten in der Praxis,
- ⇒ weiterführende Analysen und Nachweise zur Taktplanung und der Kategorie mathematisch-algorithmische Methoden,
- ⇒ Erweiterung in den Untersuchungen über die Projektkategorie schlüsselfertiger Innenausbau hinaus, ergänzende Forschungen zur Quantifizierung einer fixen Skala und besseren Aussagekraft der Ergebnisse,
- ⇒ Bildung eines Algorithmus zur Taktplanung.

Wird der abgeleitete Forschungsbedarf ausgefüllt, so bietet die Methode zahlreiche Potenziale. Auf Basis von wenigen Eingabegrößen kann zukünftig eine Bauablaufplanung erstellt werden. Die Berechnung verschiedener Varianten erhöht die Qualität und Aussagekraft. Die detaillierte Datenstruktur und systematische Verzahnung kann mit Hilfe neuer Technologien berechnet und bewertet werden. Mit Hilfe von maschinellem Lernen oder künstlicher Intelligenz können Muster erkannt und Aussagen für die Zukunft getroffen werden. So ist es vielleicht in Zukunft möglich, sehr genau vorhersagen zu können,

dass an einer bestimmten Stelle und einem bestimmten Zeitpunkt mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Störung auftreten wird. Oder das System liefert bereits eine Empfehlung zur Aktion an bestimmten Stellen. Dadurch kann der Bauablauf mit Hilfe eines situations- und konstellationsbedingten, gezielten Eingriffs besser geplant und beeinflusst werden. Die Probleme werden minimiert. Als Folge werden die Stabilität und Wertschöpfung erhöht und die Effizienz steigt. Neue Möglichkeiten in Bezug auf Interaktion und Kommunikation ergeben sich. Dadurch kann der Bausektor nachhaltig revolutioniert werden.

Literaturverzeichnis

- Altner, Jörg (o. J.), „Effizienter Bauen nach den Grundsätzen von Lean Construction“. Abgerufen am 28.07.2019 von <https://www.leanmagazin.de/lean-praxis/lean-it/325-uncategorised/615-effizienter-bauen-nach-den-grundsuetzen-von-lean-construction.html>.
- Arbeitsstudien, REFA Verband für (1972), *Methodenlehre des Arbeitsstudiums. Teil 3: Kostenrechnung, Arbeitsgestaltung*. Carl Hanser München.
- Ballard, Glenn (2001), „Cycle Time Reduction in Home Building“. In: *9th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Singapore, Singapore.
- Ballard, Glenn; Howell, Gregory (2004), „Competing Construction Management Paradigms“. In: *Lean Construction Journal*. 1 (1), S. 38–45.
- Ballard, Glenn; Howell, Gregory (1994), „Implementing Lean Construction: Stabilizing Work Flow“. In: *Proceedings of the 2nd Annual Meeting of the International Group for Lean Construction*.
- Ballard, Glenn; Tommelein, Iris D. (1999), „Aiming for Continuous Flow“. LCI White Paper No. 3.
- Barbosa, Filipe; Woetzel, Jonathan; Mischke, Jan; u. a. (2017), „Reinventing construction through a productivity revolution | McKinsey“.
- Bashford Howard H.; Sawhney Anil; Walsh Kenneth D.; u. a. (2003), „Implications of Even Flow Production Methodology for U.S. Housing Industry“. In: *Journal of Construction Engineering and Management*. 129 (3), S. 330–337, DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9364(2003)129:3(330).
- Baudin, Michel (2012), „Takt time - Even more about origins in German aircraft manufacturing“. *Michel Baudin's Blog*.
- Bauer, Hermann (1992), *Baubetrieb 2: Bauablauf, Kosten, Störungen*. Springer Verlag GmbH. — ISBN: 978-3-540-54338-1.
- Bauwirtschaft, Bundesvereinigung (2019), „Branchenumsatz in 2019 erstmals

- über 350 Mrd. €“. Abgerufen am 20.10.2020 von <http://www.bv-bauwirtschaft.de/zdb-cms.nsf/id/branchenumsatz-in-2019-erstmals-ueber-350-mrd--bvb>.
- Becker, Torsten; Herrmann, Richard; Sandor, Viktor; u. a. (2016), *Stochastische Risikomodellierung und statistische Methoden: Ein anwendungsorientiertes Lehrbuch für Aktuarien*. Springer-Verlag. — ISBN: 978-3-662-49407-3.
- Bergen, Ben (2017), *Backsourcing*. BookRix. — ISBN: 978-3-7438-3149-0
- Berner, Fritz (1983), *Verlustquellenforschung im Ingenieurbau - Entwicklung eines Diagnoseinstruments unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit und Genauigkeit von Zeitaufnahmen*. Bauverlag GmbH. — ISBN: 3-7625-2147-6.
- Berner, Fritz; Berner, Fritz; Kochendörfer, Bernd (2013a), *Grundlagen der Baubetriebslehre: 2: Baubetriebsplanung*. 2. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg. — ISBN: 978-3-658-03226-5.
- Berner, Fritz; Kochendörfer, Bernd; Schach, Rainer (2013b), *Grundlagen der Baubetriebslehre 1: Baubetriebswirtschaft / von Fritz Berner, Bernd Kochendörfer, Rainer Schach*. o.V. — ISBN: 978-3-8348-9904-0
- Betontechnik (o. J.), „Zement-Merkblatt, Betontechnik, B 19 7.2015 - Zement“. beton.org.
- Binninger, Marco; Dlouhy, Janosch (2018), „Der Taktplan als Strukturierungselement von Bauabläufen“. *Bauwirtschaft, Heft 3.*, S. 107–111.
- Binninger, Marco; Dlouhy, Janosch; Haghsheno, Shervin (2017a), „Technical Takt Planning and Takt Control in Construction“. In: *25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Heraklion, Greece, S. 605–612.
- Binninger, Marco; Dlouhy, Janosch; Karcher, Julian; u. a. (2016a), „Baustellensteuerung in getakteten Projekten nach Ansätzen des Lean Construction“. In: Institut für Baubetriebswesen (Hrsg.) 27. *BBB-Assistententreffen: Fachkongress der wissenschaftlichen Mitarbeiter der Bereiche Baubetrieb, Bauwirtschaft und Bauverfahrenstechnik: 18. bis 20. Mai*

- 2016, *Institut für Baubetriebswesen, Technische Universität Dresden.*, S. 1–13. — ISBN: 978-3-95908-058-3.
- Binninger, Marco; Dlouhy, Janosch; Müller, Mathias; u. a. (2018), „Short Takt Time in Construction – a Practical Study“. In: S. 1133–1143.
- Binninger, Marco; Dlouhy, Janosch; Oprach, Svenja; u. a. (2016b), „Methods for Production Leveling – Transfer from Lean Production to Lean Construction“. In: *24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Boston, USA.
- Binninger, Marco; Dlouhy, Janosch; Schneider, Johannes; u. a. (2017b), „How Can Lean Construction Improve the Daily Schedule of A Construction Manager?“. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 245 (6), S. 062019, DOI: 10.1088/1757-899X/245/6/062019.
- Binninger, Marco; Dlouhy, Janosch; Steuer, Dominik; u. a. (2017c), „Adjustment Mechanisms for Demandoriented Optimisation in Takt Planning and Takt Control“. In: *25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Kreta, Griechenland, S. 613–620.
- Binninger, Marco; Wolfbeiß, Oliver (2018a), „Taktplanung und Taktsteuerung bei weisenburger“. In: *Lean Construction – Das Managementhandbuch*. Springer Gabler, Berlin, Heidelberg, S. 163–177, DOI: 10.1007/978-3-662-55337-4_10. — ISBN: 978-3-662-55336-7.
- Binninger, Marco; Wolfbeiß, Oliver (2018b), „Taktplanung und Taktsteuerung im Schlüsselfertigbau - Einfluss der Losgröße und Limits in der Taktzeit“. *Der Bauingenieur Jahresausgabe*.
- Biotto, Clarissa; Kagioglou, Mike; Koskela, Lauri; u. a. (2017), „Comparing Production Design Activities and Location-Based Planning Tools“. In: S. 705–712.
- Black, John; Black, John R. (2008), *Lean Production: Implementing a World-class System*. Industrial Press Inc. — ISBN: 978-0-8311-3351-1.
- Bleher, Nadia (2014), *Produktionssysteme erfolgreich einführen / von Nadia Bleher*. o.V. — ISBN: 978-3-658-05275-1.

- Brenner, Jörg (2016), *Lean Production: Praktische Umsetzung zur Erhöhung der Wertschöpfung*. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG. — ISBN: 978-3-446-45066-0.
- Brömer, Katrin (2015), *Bauwirtschaft und Konjunktur: Bedeutung und Auswirkung staatlicher Nachfragesteuerung auf die Bauwirtschaft*. Springer-Verlag. — ISBN: 978-3-658-08842-2
- Budnikow, M. S.; Nedawni, P. I.; Ribalski, B. I. (1962), *Grundlagen der Fließfertigung*. deutsche Übersetzung aus dem Russischen. Deutsche Bauinformation.
- Bundeszentrale für politische Bildung (2017), „Globale Finanz- und Wirtschaftskrise 2008/2009 | bpb“. *bpb.de*. Abgerufen am 20.07.2019 von <http://www.bpb.de/nachschlagen/zahlen-und-fakten/globalisierung/52584/finanz-und-wirtschaftskrise>.
- Burkhart, Alvin F. (1989), „The Use of SIPS as a Productivity Improvement Tool“. In: *Excellence in The Constructed Project*. San Francisco, California: American Society of Civil Engineers, S. 381–386.
- Caldeira, E. (1999), „Professional Builders 64, Even flow construction“.
- Clarke, Constanze (2005), *Automotive Production Systems and Standardisation: from Ford to the Case of Mercedes-Benz*. Heidelberg: Physica-Verlag (Contributions to management science). — ISBN: 978-3-7908-1578-8.
- Court, P.; Pasquire, C. L.; Gibb, A. G. F.; u. a. (2006), „Design of a lean and agile construction system for a large and complex mechanical and electrical project“. In: *Proceedings of the 14th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Santiago: Nottingham Trent University, S. 151–164. — ISBN: 978-956-310-249-9.
- Court, P.; Pasquire, C. L.; Gibb, A. G. F.; u. a. (2005), „Lean as and antidote to labour cost escalation on complex mechanical and electrical projects“. In: Kenley, R. (Hrsg.) *Proceedings of 13th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Sydney: Nottingham Trent University, S. 3–11. — ISBN: 978-1-877040-34-4.
- Court, Peter F. (2009), „Transforming traditional mechanical and electrical

- construction to a modern process of assembly“. (Thesis) © Peter F. Court.
- Cruz Rios, Fernanda; Grau, David; Assainar, Rizwan; u. a. (o. J.), „Stabilizing Craft Labor Workflow with Instantaneous Progress Reporting“. In: *Pro. 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Perth, Australia, S. 43–52.
- Daum, Andreas; Greife, Wolfgang; Przywara, Rainer (2014), *BWL für Ingenieurstudium und -praxis: Was man über Betriebswirtschaft wissen sollte*. Springer-Verlag. — ISBN: 978-3-658-05362-8.
- Die Deutsche Bauindustrie (o. J.), „Entwicklung der Bauinvestitionen - Die Deutsche Bauindustrie“. Abgerufen am 01.11.2019 von https://www.bauindustrie.de/zahlen-fakten/bauwirtschaft-im-zahlenbild/entwicklung-der-bauinvestitionen_bwz/.
- Dlouhy, Janosch; Binnering, Marco; Müller, Matthias; u. a. (2017), „Zeitreduzierung in der Taktplanung am Beispiel einer Supermarktsanierung“. In: *Tagungsband zum 28. BBB-Assistententreffen vom 27. bis 29. Juni 2017 in Kaiserlautern*. Kaiserlautern, Deutschland.
- Dlouhy, Janosch; Binnering, Marco; Oprach, Svenja; u. a. (2016a), „Standardisierung und Optimierung von Ausführungsprozessen auf Baustellen“. In: *Tagungsband zum 27. BBB-Assistententreffen vom 18. bis 20. Mai 2016 in Dresden*. Dresden: Schach, R.; Jehle, P.
- Dlouhy, Janosch; Binnering, Marco; Oprach, Svenja; u. a. (2016b), „Three-Level Method of Takt Planning and Takt Control – a New Approach for Designing Production Systems in Construction“. In: *Proceedings of the 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Boston, USA.
- Dombrowski, Uwe; Mielke, Tim (2015), *Ganzheitliche Produktionssysteme: Aktueller Stand und zukünftige Entwicklungen / herausgegeben von Uwe Dombrowski, Tim Mielke*. o.V. — ISBN: 978-3-662-46164-8.
- Eberhardt, Stefan (1995), *Abschied vom Taylorismus*. Leonberg: Rosenberger Fachverlag. — ISBN: 978-3-931085-00-1.
- Emdanat, Samir; Linnik, Meeli; Christian, Digby (2016), „A Framework for Integrating Takt Planning, Last Planner System and Labor Tracking“. In.:

- Proceedings of the 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Boston, USA.
- Falk, Michael; Hain, Johannes; Marohn, Frank; u. a. (2014), *Statistik in Theorie und Praxis: Mit Anwendungen in R*. Springer-Verlag. — ISBN: 978-3-642-55253-3.
- Felkai, Roland; Beiderwieden, Arndt (2015), *Projektmanagement für technische Projekte: Ein Leitfaden für Studium und Beruf / von Roland Felkai, Arndt Beiderwieden*. o.V. — ISBN: 978-3-658-10752-9
- Fiallo C, Mario; Howell, Greg (2012), „Using Production System Design and Takt Time To Improve Project Performance“. In: *Proceedings for the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*
- Fiedler, Martin (2018), *Lean Construction – Das Managementhandbuch: Agile Methoden und Lean Management im Bauwesen*. Springer-Verlag. — ISBN: 978-3-662-55337-4.
- Ford, Henry; Bakken, James K.; Bodek, Norman; u. a. (1988), *Today and Tomorrow - Special Edition of Ford's 1926 Classic*. Cambridge, Mass: Productivity Press. — ISBN: 978-0-915299-36-2.
- FORMAT-4 Maschinenbau (2017), „Format-4 - Holzbearbeitungsmaschinen“. FORMAT-4 Maschinenbau.
- Frandsen, Adam (2015), „A Brief History of Location-based Scheduling and Takt Time Planning“. Abgerufen am 17.10.2020 von <https://leanconstructionblog.com/A-Brief-History-of-Location-Based-Scheduling-and-Takt-Time-Planning.html>.
- Frandsen, Adam; Berghede, Klas; Tommelein, Iris D. (2013), „Takt Time Planning for Construction of Exterior Cladding“. In: *21th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Fortaleza, Brazil, S. 527–536.
- Frandsen, Adam; Berghede, Klas; Tommelein, Iris D. (2014), „Takt-Time Planning and the Last Planner“. In: Oslo, Norway, S. 571–580.
- Frandsen, Adam G.; Seppänen, Olli; Tommelein, Iris D. (2015), „Comparison Between Location Based Management and Takt Time Planning“. In: *23rd*

- Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Perth, Australia, 29-31 Jul 2015, S. 3–12.
- Frankfurter Allgemeine (o. J.), „Zu wenig Handwerker für den Bau wegen Fachkräftemangel“. Abgerufen am 20.06.2019 von <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/wohnen/bauen/zu-wenig-handwerker-fuer-den-bau-wegen-fachkraeftemangel-15734246.html>.
- Friedrich, Till; Meijnen, Peter; Schriewersmann, Florian (2013), „Lean Construction - die Übertragung der Erfolgsmodelle aus der Automobilindustrie“. In: Motzko, Christoph (Hrsg.) *Praxis des Bauprozessmanagements*. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, S. 37–52, DOI: 10.1002/9783433602973.ch2. — ISBN: 978-3-433-60297-3.
- Gao, Shang; Low, Sui Pheng (2014), *Lean Construction Management: The Toyota Way*. New York: Springer. — ISBN: 978-981-287-013-1.
- Gehbauer, Fritz (2007), „Was bedeutet Lean Construction? - PDF“. Abgerufen am 09.06.2017 von <http://docplayer.org/682442-Was-bedeutet-lean-construction.html>.
- Glasl, Friedrich (1997), *Konfliktmanagement: ein Handbuch für Führungskräfte, Beraterinnen und Berater*. Haupt. — ISBN: 978-3-7725-0954-4.
- GLCI (2018), „GLCI“. *GLCI*. Abgerufen am von <http://www.glci.de/geschichte>.
- Gossow, Volkmar (2013), *Baubetriebspraxis: Leitfaden für die Bauausführung*. Springer-Verlag. — ISBN: 978-3-642-72183-0.
- Grabner, Thomas (2012), *Operations Management: Auftragserfüllung bei Sach- und Dienstleistungen*. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH. — ISBN: 978-3-658-00183-4.
- Greiner, Peter; Mayer, Eduard; Stark, Karlhans (2002), *Baubetriebslehre - Projektmanagement*. 2. Aufl. Springer. — ISBN: 978-3-322-91527-6.
- Grote, Heinz (1996), *Die schlanke Baustelle: mit Selbstorganisation im Wettbewerb gewinnen*. Patzer. — ISBN: 978-3-87617-088-6.

- Haghsheno, Shervin; Binnering, Marco; Dlouhy, Janosch; u. a. (2016), „History and Theoretical Foundations of Takt Planning and Takt Control“. In: *24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Boston, USA.
- Haghsheno, Shervin; Binnering, Marco; Dlouhy, Janosch (2015), „Wertschöpfungsorientierte Planung und Realisierung von Bauvorhaben durch Lean Construction“. In: *VDI Bautechnik*. (Jahresausgabe 2015/2016), S. 140–145.
- Hamzeh, Farook R.; Ballard, Glenn; Tommelein, Iris D. (2008), „Improving Construction Workflow - The Connective Role of Lookahead Planning“. In: *Proceedings for the 16th annual conference of the International Group for Lean Construction*., S. 635–646.
- Hauf, Stefan; Schäfer, Dieter (o. J.), *Bruttoinlandsprodukt in der ersten Jahreshälfte 2018*. (Nr. 1010200-18005-4) Statistisches Bundesamt.
- Hauptverband der deutschen Bauindustrie e.V. (o. J.), „Fachkräftemangel - Die Deutsche Bauindustrie“. Abgerufen am 20.06.2019.
- Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. (2018), *Kapazitätssituation im deutschen Bauhauptgewerbe - Schwerpunkt Wohnungsbau (Positionspapier)*.
- Heinonen, Aleks; Seppänen, Olli (2016), „Takt Time Planning: Lessons for Construction Industry from a Cruise Ship Cabin Refurbishment Case Study“. In.: *Proceedings of the 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Boston, USA.
- Helmold, Marc; Terry, Brian (2016), *Lieferantenmanagement 2030: Wertschöpfung und Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit in digitalen und globalen Märkten*. Wiesbaden: Springer Gabler (SpringerLink: Bücher), DOI: 10.1007/978-3-658-13979-7. — ISBN: 978-3-658-13979-7.
- Heusler, Andreas; Spoerer, Mark; Trischler, Helmuth (2011), *Rüstung, Kriegswirtschaft und Zwangsarbeit im „Dritten Reich“: Im Auftrag von MTU Aero Engines und BMW Group*. Oldenbourg Verlag. — ISBN: 978-3-486-70978-0.
- Hoeschen, Axel (2007), „Varianten, Preisdruck und Termine - Wie kann auch

der Mittelstand den steigenden Anforderungen an Variantenvielfalt und Lieferzeiten gerecht werden?“.

Holleder, Alfons (2011), *Erwerbslosigkeit, Gesundheit und Präventionspotentiale - Ergebnisse des Mikrozensus 2005*. VS Verlag, Springer Fachmedienn Wiesbaden (1. Auflage 2011). — ISBN: 978-3-532-17765-6

Hopp, Wallace J.; Spearman, Mark L. (2011), *Factory Physics: Third Edition*. Waveland Press. — ISBN: 978-1-4786-0904-9.

Horman, Michael J.; Messner, John I.; Riley, David R.; u. a. (2003), „Using Buffers to Manage Production: A Case Study of the Pentagon Renovation Project“. In: *Proceedings of the 11th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC-11)*, Blacksburg, Virginia, Virginia, USA.

IGLC (2018), „IGLC“. <http://www.iglc.net/Home/About>. Abgerufen am von <http://www.iglc.net/Home/About>.

Ingenstau, Heinz; Korbion, Hermann; Leupertz, Stefan; u. a. (2017), *VOB: Teile A und B : Kommentar / Heinz Ingenstau †, Hermann Korbion † ; herausgegeben von Prof. Stefan Leupertz und Dr. Mark von Wietersheim ; bearbeitet von Prof. Dr. Christian Döring (Rechtsanwalt, Stuttgart) , Bernd Düsterdiek (Deutscher Städte- und Gemeindebund, Bonn) , Dr. Edgar Joussen (Rechtsanwalt, Berlin) , Karl-Heinz Keldungs (Vorsitzender Richter am Oberlandesgericht a. D., Düsseldorf) , Claus-Jürgen Korbion (Rechtsanwalt Düsseldorf) , Prof. Stefan Leupertz (Richter am BGH a. D., Kleve) , Prof. Dr. Ulrich Locher (Rechtsanwalt, Reutlingen) , Peter Oppler (Rechtsanwalt München) , Norbert Portz (Beigeordneter, Deutscher Städte- und Gemeindebund, Bonn) , Dr. Ingrid Reichling (Rechtsanwältin München) , Dr. Claus Schmitz M.A. (Rechtsanwät, München) , Dr. Urban Schraner (Rechtsanwalt, Berlin) , Christian Sienz (Rechtsanwalt, München) , Bernhard Stolz (Rechtsanwalt, München) , Dr. Mark von Wietersheim (Rechtsanwalt, Berlin) , Prof. Dr. Claus Vygen (Vorsitzender Richter am Oberlandesgericht a. D., Düsseldorf) , Universitätsprofessor Dr. iur. Axel Wirth (TU Darmstadt)*. o.V. — ISBN: 978-3-8041-2162-1.

Initiative TeamBuilding (2019), „Initiative TeamBuilding“. Abgerufen am 30.06.2019 von <https://www.initiative-teambuilding.de/>.

Irgel, Lutz (2004), *Gablers Wirtschaftswissen für Praktiker: Zuverlässige*

- Orientierung in allen kaufmännischen Fragen*. Springer-Verlag. — ISBN: 3-409-19112-7.
- Jannaschk, Kai (2018), *Infrastruktur für ein Data Mining Design Framework: Eine Untersuchung mit Fallbeispielen*. Springer-Verlag. — ISBN: 978-3-658-22040-2.
- von Jouanne-Diedrich, Holger (o. J.), „15 Jahre Outsourcing-Forschung: Systematisierung und Lessons Learned“. In: *Informationsmanagement: Konzepte und Strategien für die Praxis*. Heidelberg: dpunkt.verlag.
- Kaiser, Jörg (2013), *Lean Process Management in der operativen Bauabwicklung*. Darmstadt: Inst. für Baubetrieb (Schriftenreihe des Instituts für Baubetrieb). — ISBN: 978-3-941925-14-4.
- Kern, Werner (1990), *Industrielle Produktionswirtschaft / Werner Kern*. o.V. — ISBN: 978-3-7910-9166-2.
- Keuper, Frank; Wagner, Bernd; Wysuwa, Hans-Dieter (2009), *Managed Services: IT-Sourcing der nächsten Generation*. Springer-Verlag. — ISBN: 978-3-8349-1072-1.
- Kirsch, Jürgen (2009), *Organisation der Bauproduktion nach dem Vorbild industrieller Produktionssysteme: Entwicklung eines Gestaltungsmodells eines Ganzheitlichen Produktionssystems für den Bauunternehmer*. Karlsruhe: Universitätsverl (Forschung / Institut für Technologie und Management im Baubetrieb Reihe F). — ISBN: 978-3-86644-367-9.
- Kistner, Klaus-Peter; Steven, Marion (2013), *Betriebswirtschaftslehre im Grundstudium: Produktion, Absatz, Finanzierung*. Springer-Verlag. — ISBN: 978-3-642-57452-8.
- Kitzmann, Quirin; Brenk, William (2018), „Entwicklung von Lean Management hin zu Lean Construction“. In: Fiedler, Martin (Hrsg.) *Lean Construction – Das Managementhandbuch: Agile Methoden und Lean Management im Bauwesen*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 79–92, DOI: 10.1007/978-3-662-55337-4_5. — ISBN: 978-3-662-55337-4.
- Kochendörfer, Bernd; Liebchen, Jens H.; Viering, Markus G. (2010), *Bau-Projekt-Management: Grundlagen und Vorgehensweisen*. 4., überarb. und

- aktualisierte Aufl. Wiesbaden: Vieweg + Teubner (Leitfaden des Baubetriebs und der Bauwirtschaft). — ISBN: 978-3-8348-0496-9.
- Kohn, Wolfgang; Öztürk, Riza (2011), *Statistik für Ökonomen: Datenanalyse mit R und SPSS*. Springer-Verlag. — ISBN: 978-3-642-14585-8.
- Koskela, Lauri (2000), „An Exploration Towards a Production Theory and Its Application to Construction“. Espoo: Technical Research Centre of Finland.
- Koskela, Lauri (1992), *Application of the New Production Philosophy to Construction*. Stanford University.
- Koskela, Lauri; Rooke, John; Bertelsen, Sven; u. a. (2007), „The TFV Theory of Production: New Developments“. In.: *Proceedings of the 15th Annual Conference of the International Group for Lean Construction East Lansing, Michigan, USA 2007*.
- Kraemer, K; Henrich, G; Koskela, Lauri; u. a. (2017), *How Construction Flows Have Been Understood In Lean Construction*. o.V.
- Krause, Thomas; Ulke, Bernd (2016), *Zahlentafeln für den Baubetrieb*. 9. Auflage. Springer Vieweg. — ISBN: 978-3-658-02837-4
- Krauß, Siri (2005), „Die Baulegistik in der schlüsselfertigen Ausführung / Siri Krauß“.
- Lauer, Thomas (2010), *Change Management: Grundlagen und Erfolgsfaktoren*. Berlin: Springer. — ISBN: 978-3-642-04339-0.
- LCI (2018), „LCI“. <https://www.leanconstruction.org/about-us/what-is-lean-design-construction/history/>. Abgerufen am von <https://www.leanconstruction.org/about-us/what-is-lean-design-construction/history/>.
- Lehtovaara, Joonas; Seppänen, Olli; Peltokorpi, Antti; u. a. (2020), „How takt production contributes to construction production flow: a theoretical model“. In: *Construction Management and Economics*. Routledge 0 (0), S. 1–23, DOI: 10.1080/01446193.2020.1824295.
- Liening, Andreas; Paprotny, Carsten (2005), „Fallstudienarbeit in der Ökonomischen Bildung“, S. 18.

- Liker, Jeffrey K. (2004), *The Toyota way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. New York: McGraw-Hill. — ISBN: 978-0-07-139231-0.
- Liker, Jeffrey K.; Meier, David P. (2007), *Der Toyota Weg Praxisbuch*. 7., unveränderte Auflage. München: FinanzBuch Verlag. — ISBN: 978-3-89879-850-1.
- Linnik, Meeli; Berghede, Klas; Ballard, Glenn (2013), „An Experiment in Takt Time Planning Applied to Non-Repetitive Work“. In: *Proc. 21th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction*.
- Lödding, Hermann (2016), *Verfahren der Fertigungssteuerung: Grundlagen, Beschreibung, Konfiguration / von Hermann Lödding*. o.V. — ISBN: 978-3-662-48459-3.
- Marti, Peter; Monsch, Orlando; Laffranchi, Massimo (2001), *Schweizer Eisenbahnbrücken*. vdf hochschulverlag AG, ETH Zürich.
- Merikallio, Lauri (2017), „Alliancing in Finnland“. In: *Lean Construction – Das Managementhandbuch: Agile Methoden und Lean Management im Bauwesen*. Springer-Verlag, S. 292-. — ISBN: 978-3-662-55337-4.
- Modig, Niklas; Åhlström, Pär (2015), *Das ist Lean: die Auflösung des Effizienzparadoxons*. Erster Druck. Stockholm: Rheologica Publishing. — ISBN: 978-91-87791-09-3.
- Möller, Dietrich-Alexander; Kalusche, Wolfdietrich (2010), *Planungs- und Bauökonomie: Band 2: Grundlagen der wirtschaftlichen Bauausführung*. Oldenbourg Verlag. — ISBN: 978-3-486-59997-8.
- Möllhoff, Christine (2013), „Leichte Beute“. Abgerufen am von <https://www.tagesspiegel.de/politik/fussballweltmeisterschaft-katar-leichte-beute/8890678.html>.
- NAHBRC (2000), „Even flow construction: The wave of the future“. *National Association of Home Builders Research Center Toolbase News* 5.
- Neve, Hasse H; Wandahl, Søren; Lindhard, Søren; u. a. (2020), „Determining the Relationship between Direct Work and Construction Labor

- Productivity in North America: Four Decades of Insights“. In: *American Society of Civil Engineers.*, DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001887.
- Nezval, Jiri (1960), *Grundlagen der Fließfertigung in der Bauproduktion*. 1. Auflage. Verlag für Bauwesen Berlin.
- Niebel, Thomas (2017), „Zukunft Bau – Beitrag der Digitalisierung zur Produktivität in der Baubranche“. In: S. 129.
- Ohno, Taiichi (2013), *Das Toyota-Produktionssystem*. Campus Verlag. — ISBN: 978-3-593-39929-4.
- Pakleppa, Felix (2018), „Baugewerbe zur Halbjahresbilanz 2018 und zum Ausblick 2019“. Abgerufen am von <https://www.zdb.de/zdb-cms.nsf/id/das-baugewerbe-zur-halbjahresbilanz-2018-und-zum-ausblick-2019-de>.
- Partouche, Rebecca; Sacks, Rafael; Bertelsen, Sven (2008), „Craft Construction, Mass Construction, Lean Construction: Lessons From the Empire State Building“, S. 183–194.
- Peters, Remco (2009), *Shopfloor Management: Führen am Ort der Wertschöpfung*. Stuttgart: LOG_X. — ISBN: 978-3-932298-39-4
- Projektmagazin Glossar (o. J.), „Over the Wall Approach“. *Projektmagazin*. Abgerufen am 12.10.2019 von <https://www.projektmagazin.de/glossar-term/over-wall-approach>.
- Racky, Peter (1997), *Entwicklung einer Entscheidungshilfe zur Festlegung der Vergabeform*. VDI-Verlag. — ISBN: 978-3-18-314204-0.
- Racky, Peter (Hrsg.) (2009), *Kooperationsorientierte Projektabwicklung im Hochbau: Ansätze und Beispiele für die Effizienzsteigerung beim Zusammenwirken von Bauherren und Bauausführenden ; Forum Baubetrieb, 4. November 2009 in Kassel*. Kassel: Kassel Univ. Press (Schriftenreihe Bauwirtschaft 3, Tagungen und Berichte). — ISBN: 978-3-89958-786-9.
- REFA (1993), *REFA Methodenlehre der Betriebsorganisation, Lexikon der Betriebsorganisation*. München: Carl-Hanser. — ISBN: 978-3-446-17523-5

- Rehfeldt, Hans-Jürgen (1969), *Wir vom Bau: 20 Jahre Schrittmacher im Bauwesen*. Verlag für Bauwesen.
- Renzsch, Wolfgang (1980), *Handwerker und Lohnarbeiter in der frühen Arbeiterbewegung: Zur sozialen Basis von Gewerkschaften und Sozialdemokratie im Reichsgründungs Jahrzehnt*. Vandenhoeck & Ruprecht. — ISBN: 978-3-647-35700-3.
- Rohr-Suchalla, Katrin (2008), *VOB/B - Basiswissen für Baufachleute*. Fraunhofer IRB Verlag. — ISBN: 978-3-8167-7502-7.
- Ropohl, Günter (2009), *Allgemeine Technologie: eine Systemtheorie der Technik*. o.V. — ISBN: 978-3-86644-374-7.
- Rosing, Mark von; Scheel, Henrik von; Scheer, August-Wilhelm (2014), *The Complete Business Process Handbook: Body of Knowledge from Process Modeling to BPM*. Morgan Kaufmann. — ISBN: 978-0-12-800472-2.
- Sacks, Rafael (2016), „What constitutes good production flow in construction?“. In: *Construction Management and Economics*. 34 (9), S. 641–656, DOI: 10.1080/01446193.2016.1200733.
- Sacks, Rafael; Seppänen, Olli; Priven, Vitaliy; u. a. (2017), „Construction flow index: a metric of production flow quality in construction“. In: *Construction Management and Economics*. 35 (1–2), S. 45–63, DOI: 10.1080/01446193.2016.1274417.
- Schaufelberger, John E.; Holm, Len (2017), *Management of Construction Projects: A Constructor's Perspective*. Taylor & Francis. — ISBN: 978-1-315-52908-0.
- Schlabach, Carina (2013), *Untersuchungen zum Transfer der australischen Projektentwicklungsform Project Alliancing auf den deutschen Hochbaumarkt*. Kassel [Germany: Kassel University Press. — ISBN: 978-3-86219-491-9.
- Schneider, Rolf (2013), „Geringe Produktivitätszuwächse in Deutschland“. In: *Economic Research: Working Paper*. (166), S. 1–7.
- Schub, Adolf (1970), *Probleme der Taktplanung in der Bauproduktion*.

- Wiesbaden und Berlin: Bauverlag GmbH (Schriftenreihe des Bayrischen Bauindustrieverbandes).
- Schuh, Günther (2007), *Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen, Gestaltung und Konzepte*. Springer-Verlag. — ISBN: 978-3-540-33855-0
- Schuh, Günther; Stich, Volker (2012), *Produktionsplanung und -steuerung 1: Evolution der PPS / herausgegeben von Günther Schuh, Volker Stich*. o.V. — ISBN: 978-3-642-25423-9.
- Schütz, Ludwig (2006), „Thomas-Lexikon: T“. Abgerufen am 02.11.2019 von <http://www.corpusthomicum.org/tlt.html>.
- Seppänen, Olli (2014), „A Comparison of Takt Time and LBMS Planning Methods“. In: *Proceedings of the 14th Annual Conference of the International Group for Lean Construction* Oslo, Norway 2014, S. 727–738.
- Shingo, Shigeo; Dillon, Andrew P. (1989), *A Study of the Toyota Production System: From an Industrial Engineering Viewpoint*. CRC Press. — ISBN: 978-0-915299-17-1.
- Six, Doris (2004), *Outsourcing mit Logistik-Dienstleistern: Status Quo im Wirtschaftsraum Ostbayern am Beispiel einer empirischen Untersuchung industrieller Unternehmen*. diplom.de. — ISBN: 978-3-8324-7837-7.
- Springer, Roland; Meyer, Frank (2006), „Flexible Standardisierung von Arbeitsprozessen - Erfahrungen aus der betrieblichen Praxis“. In: *Produktionssysteme und Kompetenzerwerb: zu den Veränderungen moderner Arbeitsorganisation und ihren Auswirkungen auf die berufliche Bildung*. Franz Steiner Verlag. — ISBN: 978-3-515-08900-5.
- Tommelein, Iris D. (2017), „Collaborative Takt Time Planning of Non-Repetitive Work“. In: *Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*., S. 745–752.
- Tsao, Cynthia; Tommelein, Iris; Swanlund, Eric (2004), „Work Structuring to Achieve Integrated Product–Process Design“. In: *Journal of Construction Engineering and Management-asce - J CONSTR ENG MANAGE-ASCE*. 130, DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9364(2004)130:6(780).
- Ulfers, Heike August (2004), *Der Consultance-Berater: Basiswissen für*

- Manager, Berater und deren Auftraggeber*. John Wiley & Sons. — ISBN: 978-3-89578-222-0.
- Vahrenkamp, Richard; Siepermann, Christoph (2008), *Produktionsmanagement / von Richard Vahrenkamp. Unter Mitarb. von Christoph Siepermann*. o.V. — ISBN: 978-3-486-58784-5.
- Vatne, Mats Erik; Drevland, Frode (2016), „Practical Benefits of Using Takt Time Planning: A Case Study“. In.: *Proceedings of the 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Boston, USA.
- VDI 2553 (2017), „VDI-Richtlinie Lean Construction“. VDI. Abgerufen am 29.09.2019 von https://www.vdi.de/richtlinien?tx_vdiguidelines_guidelist%5Bfilter%5D%5BsearchTerm%5D=2553&cHash=9d2388217fe763563d80b6505498c9b9.
- VDI 2870-1 (Hrsg.) (2012), „Ganzheitliche Produktionssysteme: Grundlagen, Einführung und Bewertung - Blatt 1“.
- VDI 2870-2 (2013), „VDI 2870 Blatt 2 - Ganzheitliche Produktionssysteme - Methodenkatolog“.
- Veit, Martin (2010), *Modelle und Methoden für die Bestandsauslegung in Heijunka-nivellierten Supply Chains*. KIT Scientific Publishing. — ISBN: 978-3-86644-533-8.
- Verein Deutscher Ingenieure e.V. (Hrsg.) (2012), „DIN 2870_Ganzheitliche Produktionssysteme: Grundlagen, Einführung und Bewertung“. Beuth Verlag.
- Wallentowitz, Henning; Freialdenhoven, Arndt; Olschewski, Ingo (2008), *Strategien in Der Automobilindustrie: Technologietrends Und Marktentwicklungen*. Springer-Verlag. — ISBN: 978-3-8348-0725-0.
- weisenburger bau gmbh (o. J.), „Lean Construction. Die neue Produktivität am Bau. | weisenburger GmbH“. Abgerufen am 28.07.2019 von <https://www.weisenburger.de/neuigkeiten-aus-der-weisenburger-welt/content-scroller/neuigkeiten-aus-der-weisenburger-welt/lean-construction-die-neue-produktivitaet-am-bau.html>.
- Wernicke, Brian; Lidelöw, Helena; Stehn, Lars (2017), „Flow and Resource

- Efficiency Measurement Method in Off-Site Production“. In: *25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Heraklion, Greece, 9-12 Jul 2017, S. 861–868.
- Westkämper, Engelbert (2006), *Einführung in die Organisation der Produktion / by Engelbert Westkämper*. o.V. — ISBN: 978-3-540-30764-8
- Wieczorrek, Hans W.; Mertens, Peter (Hrsg.) (2008), „Projektplanungs-Techniken“. In: *Management von IT-Projekten: Von der Planung zur Realisierung*. Berlin, Heidelberg: Springer (Xpert.press), S. 129–160, DOI: 10.1007/978-3-540-85291-9_6. — ISBN: 978-3-540-85291-9.
- Wiendahl, Hans-Peter (2014), *Betriebsorganisation für Ingenieure: mit ... 3 Tab. / Hans-Peter Wiendahl*. o.V. — ISBN: 978-3-446-44101-9.
- Wilhelm, Elena; Sturm, Ulrike (2012), *Gebäude als System*. vdf Hochschulverlag AG (1. Auflage). — ISBN: 3-7281-3519-4.
- Willis, Carol (2007), *Building the Empire State*. 1. W. W. Norton & Company. — ISBN: 978-0-393-73231-3.
- Willwerth, Michael (2008), *Projektorganisation und Finanzierung von Erneuerungsmaßnahmen im Wohnungsbau: Entwicklung eines Entscheidungsmodells für Auftraggeber / von Michael Willwerth*. o.V. — ISBN: 978-3-8349-8176-9.
- Wöhe, Günter; Döring, Ulrich; Brösel, Gerrit (2016), *Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre / von Dr. Dr. h.c. mult. Günter Wöhe †, Prof. Dr. Ulrich Döring, Prof. Dr. Gerrit Brösel*. o.V. — ISBN: 978-3-8006-5000-2.
- Wolfbeiß, Oliver; Binninger, Marco (2018), „Phasenübergreifendes Projektmanagementwerkzeug zur Steuerung von Lean Projekten“. In: *Lean Construction – Das Managementhandbuch*. Springer Gabler, Berlin, Heidelberg, S. 241–247, DOI: 10.1007/978-3-662-55337-4_15. — ISBN: 978-3-662-55336-7.
- Womack, James (2004), „A Lean Walk Through History“. *Lean Enterprise Institute*.
- Womack, James P.; Jones, Daniel T. (2003), *Lean Thinking: Banish Waste*

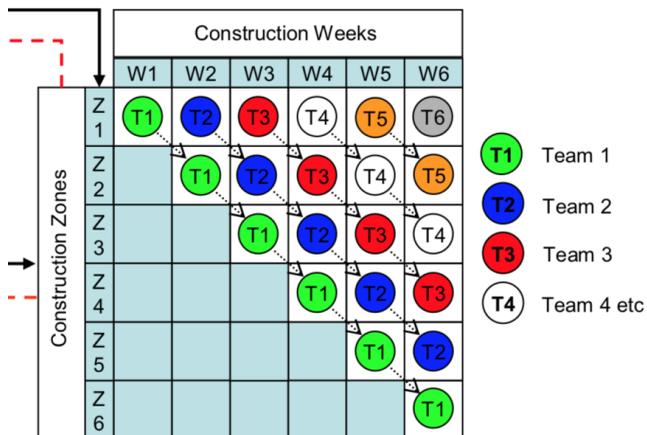
- and Create Wealth in Your Corporation*. 1st Free Press ed., rev.updated. New York: Free Press. — ISBN: 978-0-7432-4927-0.
- Womack, James P.; Jones, Daniel T.; Roos, Daniel (1992), *Die zweite Revolution in der Autoindustrie: Konsequenzen aus der weltweiten Studie aus dem Massachusetts Institute of Technology*. 5. Aufl. Frankfurt/Main: Campus-Verl. — ISBN: 978-3-593-34548-2.
- Womack, James P.; Jones, Daniel T.; Roos, Daniel (1991), *The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production*. Reprint. New York, NY: HarperPaperbacks. — ISBN: 978-0-06-097417-6.
- Würfele, Falk; Bielefeld, Bert; Gralla, Mike (2017), *Bauobjektüberwachung*. o.V. (3. Auflage). — ISBN: 978-3-658-10038-4.
- www.wissen.de (o. J.), „Woher kommt Takt | Wortherkunft von Takt | <https://www.wissen.de/wortherkunft/takt>“. Abgerufen am 21.07.2019 von <https://www.wissen.de/wortherkunft/takt>.
- Yin, Robert K. (2003), *Applications of Case Study Research*. SAGE. — ISBN: 978-0-7619-2551-4.
- Zentralverband Deutsches Baugewerbe (2020), „Umsatzentwicklung in 2019: Baugewerbe bleibt Deutschlands Konjunkturstütze“. Abgerufen am 19.10.2020 von <https://www.zdb.de/baukonjunktur/konjunkturberichte/umsatzentwicklung-in-2019-baugewerbe-bleibt-deutschlands-konjunkturstuetze>.
- Zilch, Konrad; Diederichs, C.J.; Katzenbach, Rolf; u. a. (2012), *Handbuch für Bauingenieure*. 2. Springer Berlin Heidelberg. — ISBN: 978-3-642-14449-3.
- Zink, Klaus J.; Kötter, Wolfgang; Longmuß, Jörg; u. a. (2008), *Veränderungsprozesse erfolgreich gestalten*. Springer Science & Business Media. — ISBN: 978-3-540-79289-5.
- Zollondz, Hans-Dieter (2013), *Grundlagen Lean Management: Einführung in Geschichte, Begriffe, Systeme, Techniken sowie Gestaltungs- und Implementierungsansätze eines modernen Managementparadigmas*. Walter de Gruyter. — ISBN: 978-3-486-77904-2.

Anhang

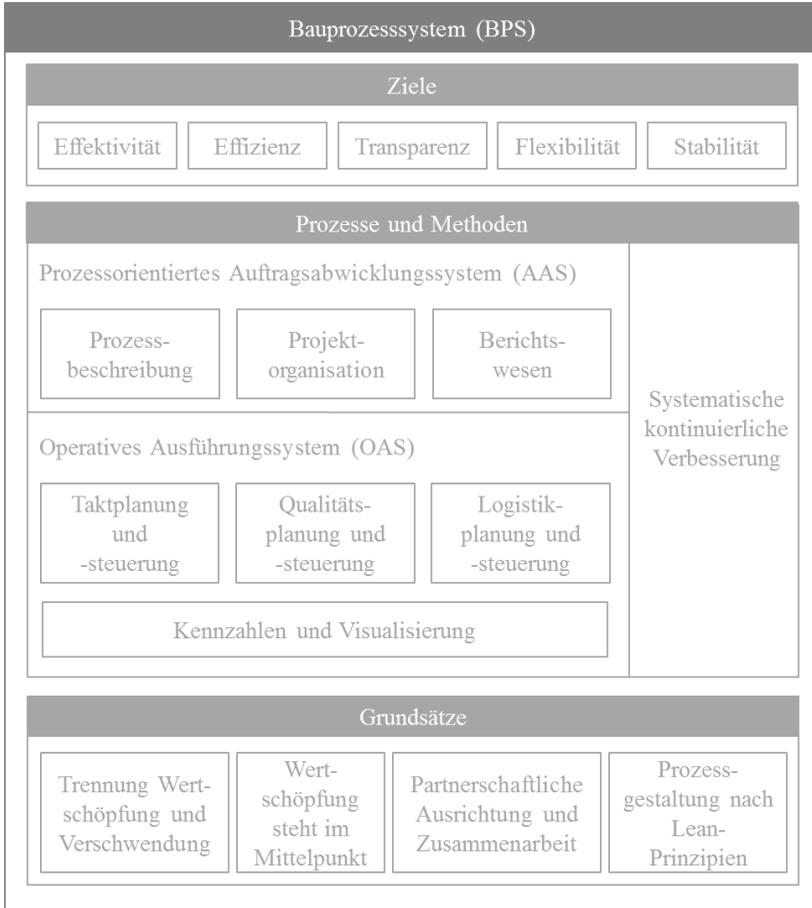
Anhang 1: Ablaufplan mit Hilfe der SIPS Methode (Burkhart 1989, S. 385)

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 2px 5px; font-weight: bold;">phelps</div> <div style="text-align: center;"> PROPOSED CONSTRUCTION SCHEDULE TYPICAL COLUMN CYCLE (4 column per day) </div> </div>															
DESCRIPTION (10 minute increments)	DAY 1								OVER NIGHT	DAY 2 (repeat)			TOTAL TIME	NO. OF MEN	
	1 hr	2 hr	3 hr	4 hr	N	5 hr	6 hr	7 hr		8 hr	1 hr	2 hr			3 hr
Area Preparation - - - - -								1					40 min	1 man	
Layout - - - - -								2					120 min	2 men	
Set Base Template - - - - -			2									2	80 min	1 man	
Set Rebar Cage - - - - -		(3)										(3)	180 min	3 men	
Set Column Forms - - - - -			2									2	128 min	2 men	
Pin Forms Together - - - - -				3								1	272 min	1 man	
Set Braces - - - - -					2							2	192 min	2 men	
Align Forms - - - - -						2					(3)	(3)	160 min	2 men	
Place Concrete - - - - -													240 min	3 men	
Cure Concrete - - - - -													16 hrs	-	
Strip Braces - - - - -	1										1		60 min	1 man	
Strip Pins & Forms - - - - -	2										2		152 min	1 man	
Strip Base Template - - - - -		1									1		60 min	1 man	
Clean & Oil Forms - - - - -		2									2		80 min	1 man	
Transport Forms - - - - -			1									1	40 min	1 man	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> LEGEND 4 (number of men) (crane involved) </div>															
MANPOWER SUMMARY															
Carpenters	3	3	3	3		3	3	3	3		3	3	3		
Ironworkers	0	3	0	0		0	0	0	0		0	3	0		
Laborers	0	0	0	0		0	0	0	3		0	0	0		
EQUIPMENT SUMMARY															
Crane	0	1	1	0		0	0	0	1		0	1	1	0	
NOT FOR CONSTRUCTION										DATE: _____					
										PREPARED BY: _____					

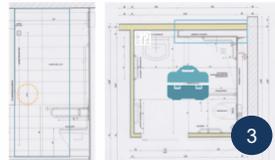
Anhang 3: Ablaufplan des Week Beat Scheduling (vgl. Court u. a. 2006, S. 8)



Anhang 4: Ganzheitliches Bauprozesssystem (BPS) nach Kaiser (vgl. 2013, S. 92)



Anhang 5: Standardarbeitsblatt auf Basis der Masterarbeit von Svenja Oprach (vgl. Dlouhy u. a. 2016a, S. 77)

Standardarbeitsschritt (SAS)									
Masseneinheit	1m x 2,58m			Änderungsstand:		07.09.15		Fliesen	
Aufwand (in Minuten)	56,0			gültig ab:		07.07.15			
Empfohlene Anzahl an AK	1-2								
Nr.	Arbeitsschritte mit entsprechenden Methoden	Dauer (in Minuten)				Messe	Vorbereitungen		
		Handing	Prozess	Gehen	Gesamt je Masseneinheit		Luftfeuchtigkeit %	Gebäude heizt:	
1	Wandfliesen (Duschhecke) Wareneingangskontrolle (richtige Materialien in richtiger Menge und Qualität), z.B. Fliesen	0,5	1,3	0,3	2,1	x	Temperatur >5 °C	Fassade geschlossen	
2	Vorbereiten der Spachtelmasse	0,3	0,6	0,1	1,0	x	Sonstiges: Keine direkte Sonneneinstrahlung, Grundierung und Bandflies vorhanden		
3	Anzeichnen des Fliesenspiegels	0,1	0,9		1,0		Layout		
4	Spachteln	1,0	8,0	0,5	9,5				
5	Bei Bedarf Fliesen zuschneiden, Messen, Markieren, Zuschneiden	2,0	10,0	1,0	13,0				
6	Fliesenausschnitt für Anschlüsse (1x)	0,2	3,3	0,2	3,7				
7	Fliesen andrücken und ausrichten (evtl. mit Wasserwaage)	9,0	10,4	0,5	19,9				
8	Abstandstronner einfügen	0,3	0,9	0,1	1,3				
9	Materialien zum nächsten Arbeitsplatz bringen	0,3	0,2	3,0					
10									
11					0,0				
12					0,0				
13					0,0				
14					0,0				
15					0,0				
16					0,0				
17					0,0				
18					0,7	0,3	1,0		
19					36,3	6,0	56,0		
20									

1: Arbeitsschritte

2: Aufwandswert und Menge

3: Rahmenbedingungen

4: Ressourcen

Verwendete Ressourcen (Name + Anzahl pro Masseneinheit)

Maschinen / Werkzeuge: 1 Zollstock, 1 Wasserwaage, 2 Spachtel, 1 Bau Lampe, 1 Kabeltrommel, 1 Beiw, 1 Schwamm, 1 Spachtelmischer, 1 Fliesenstreifer

Materialien / Hilfsmaterialien: Spachtelmasse, 20 Fliesen

Anhang 6: Herleitung der Formel normierten Variationskoeffizienten am Beispiel des Rhythmus
aus Arbeitskraftperspektive ($\vartheta^*_{VD,AKP}$)

Herleitung des normierten Variationskoeffizienten

$$\vartheta^*_{VD,AKP} [-] = \frac{\vartheta}{\sqrt{m}}$$

ϑ^* : normierter Variationskoeffizient bzw. normierte relativierte Standardabweichung

m : Anzahl der Taktbereiche bzw. Anzahl der Vorgänge

AKP: Arbeitskraftperspektive

mit Variationskoeffizient: $\vartheta = \frac{S}{\overline{VD}}$

\overline{VD} : Mittelwert der Vorgangsdauer

$$\Rightarrow \vartheta^*_{VD,AKP} [-] = \frac{s}{\sqrt{m} * \overline{VD}} = \frac{\sqrt{s^2}}{\sqrt{m} * \overline{VD}}$$

s^2 : Standardabweichung

mit Standardabweichung: $S^2 = \frac{1}{m} * \sum_{l=1}^m (VD_l - \overline{VD})^2$

$$\Rightarrow \vartheta^*_{VD,AKP} [-] = \frac{\sqrt{\frac{1}{m} \sum_{l=1}^m (VD_l - \overline{VD})^2}}{\sqrt{m} * \overline{VD}}$$

VD_l : Vorgangsdauer des Vorgangs l

Anhang 7: Weiterführende Liste zu Veröffentlichungen des Verfassers im Rahmen der IGLC-Konferenzen zum Thema praktische Umsetzung TPTS

- Binninger, M. , Dlouhy, J. , Oprach, S. & Haghsheno, S. 2016, 'Methods for Production Leveling – Transfer From Lean Production to Lean Construction' In:, 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA, 20-22 Jul 2016.
- Binninger, M. , Dlouhy, J. & Haghsheno, S. 2017, 'Technical Takt Planning and Takt Control in Construction.' In:, 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Heraklion, Greece, 9-12 Jul 2017. pp 605-612
- Binninger, M. , Dlouhy, J. , Steuer, D. & Haghsheno, S. 2017, 'Adjustment Mechanisms for Demandoriented Optimisation in Takt Planning and Takt Control ' In:, 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Heraklion, Greece, 9-12 Jul 2017. pp 613-620
- Dlouhy, J. , Oprach, S. , Binninger, M. , Richter, T. & Haghsheno, S. 2018, 'Using Taktplanning and Taktcontrol in Production Projects – Comparison of Construction and Equipment Phases' In:, 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Chennai, India, 18-20 Jul 2018. pp 890-898
- Binninger, M. , Dlouhy, J. , Müller, M. , Schattmann, M. & Haghsheno, S. 2018, 'Short Takt Time in Construction – a Practical Study' In:, 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Chennai, India, 18-20 Jul 2018. pp 1133-1143

Anhang 8: Übersicht der ausgewählten 50 Projekte

Anonymisierte Nummer	Art des Gebäudes	Jahr Start Ausbauzug	Taktzeit	Quelle	Quelle
P1	APZ	2012	Woche	P1 Soll	P1 Ist
P2	Wohnungen	2011	Woche	P2 Soll	P2 Ist
P3	Wohnungen	2013	Woche	P3 Soll	P3 Ist
P4	Wohnungen	2013	Woche	P4 Soll	P4 Ist
P5	APZ	2013	Woche	P5 Soll	P5 Ist
P6	Reihenhäuser	2013	Woche	P6 Soll	P6 Ist
P7	APZ	2013	Woche	P7 Soll	P7 Ist
P8	Wohnungen	2014	Woche	P8 Soll	P8 Ist
P9	Reihenhäuser	2014	Woche	P9 Soll	P9 Ist
P10	Reihenhäuser	2014	Woche	P10 Soll	P10 Ist
P11	Wohnungen	2014	Woche	P11 Soll	P11 Ist
P12	Wohnungen	2013	Woche	P12 Soll	P12 Ist
P13	Reihenhäuser	2014	Woche	P13 Soll	P13 Ist
P14	Wohnungen	2015	Woche	P14 Soll	P14 Ist
P15	Reihenhäuser	2014	Woche	P15 Soll	P15 Ist
P16	Wohnungen	2014	Woche	P16 Soll	P16 Ist
P17	Wohnungen	2014	Woche	P17 Soll	P17 Ist
P18	Wohnungen	2015	Woche	P18 Soll	P18 Ist
P19	Wohnungen	2015	Woche	P19 Soll	P19 Ist
P20	Wohnungen	2014	Woche	P20 Soll	P20 Ist
P21	Wohnungen	2015	Woche	P21 Soll	P21 Ist
P22	Wohnungen	2017	Woche	P22 Soll	
P23	Mischung	2014	Woche	P23 Soll	P23 Ist
P24	Mischung	2015	Woche	P24 Soll	P24 Ist
P25	Wohnungen	2015	Woche	P25 Soll	P25 Ist
P26	Hotel	2015	Woche	P26 Soll	P26 Ist
P27	Wohnungen	2015	Woche	P27 Soll	P27 Ist
P28	Wohnungen	2016	Woche	P28 Soll	P28 Ist
P29	Wohnungen	2016	Woche	P29 Soll	P29 Ist
P30	Wohnungen	2015	Woche	P30 Soll	P30 Ist
P31	Wohnungen	2015	Woche	P31 Soll	P31 Ist
P32	Wohnungen	2016	Woche	P32 Soll	P32 Ist
P33	Wohnungen	2015	Woche	P33 Soll	P33 Ist
P34	Wohnungen	2016	Woche	P34 Soll	P34 Ist
P35	Hotel	2015	Woche	P35 Soll	P35 Ist
P36	Wohnungen	2016	Woche	P36 Soll	P36 Ist
P37	Hotel	2016	Woche	P37 Soll	P37 Ist

P38	Wohnungen	2016	Woche	P38 Soll	P38 Ist
P39	Wohnungen	2017	Woche	P39 Soll	P39 Ist
P40	Wohnungen	2017	Woche	P40 Soll	P40 Ist
P41	Wohnungen	2016	Woche	P41 Soll	P41 Ist
P42	Wohnungen	2016	Woche	P42 Soll	P42 Ist
P43	Wohnungen	2017	Woche	P43 Soll	
P44	Mischung	2017	Woche	P44 Soll	
P45	Wohnungen	2017	Woche	P45 Soll	
P46	Wohnungen	2016	Tag	P46 Soll	P46 Ist
P47	Wohnungen	2016	Tag	P47 Soll	P47 Ist
P48	Büro	2016	Tag	P48 Soll	P48 Ist
P49	Wohnungen	2017	Zwei Tage	P49 Soll	
P50	Wohnungen	2017	Zwei Tage	P50 Soll	

Anhang 9: Datenauswertung Rhythmus

Anonymisierte Nummer	Vorgänge Gesamt (Soll) (Spalte Q in Übersicht)	Abweichende Vorgangslänge Soll			Vorgänge Gesamt (Spalte R in Übersicht)	Abweichende Vorgangslänge Ist		
		Anzahl	Ø VD (Soll)	Erläuterung		Anzahl	Ø VD (Ist)	Erläuterung
P1	255	0	0,0000		254	0	0,00	
P2	432	0	0,0000		438	0	0,00	
P3	576	0	0,0000		609	0	0,00	
P4	224	0	0,0000		217	2	0,02	1xHLS, 1xE2
P5	448	0	0,0000		368	0	0,00	
P6	200	0	0,0000		200	0	0,00	
P7	240	0	0,0000		270	30	0,08	15xM2, 15xM3
P8	75	0	0,0000		75	0	0,00	
P9	57	0	0,0000		57	0	0,00	
P10	38	0	0,0000		27	0	0,00	
P11	336	0	0,0000		403	21	0,05	5xM2, 3xFL1, 3xHLS2, 2xFL2, 1xHLS3, 7xE2
P12	680	0	0,0000		725	37	0,04	37xHLS1
P13	119	0	0,0000		112	0	0,00	
P14	2287	73	0,0256	49xFI, 24xE1	2145	49	0,02	49xFI
P15	64	0	0,0000		66	2	0,06	2xHLS1
P16	128	0	0,0000		129	1	0,03	1xTB2
P17	270	0	0,0000		270	1	0,01	1xM2
P18	594	0	0,0000		569	2	0,01	2xTB2, 1xFL1
P19	748	0	0,0000		822	24	0,03	3xGD1, 3xTB1, 3xE1, 3xGD2, 2xHLS1, 3xTB2, 3xE2, 4xPutzer
P20	540	0	0,0000		569	33	0,05	2xTB1, 3xHLS2, 1xFBH, 1xE2, 4xM2, 6xHLS3, 4xFL2, 6xE2, 6xBO1
P21	272	0	0,0000		299	0	0,00	
P22	1092	0	0,0000					
P23	136	0	0,0000		153	4	0,05	4xHLS1
P24	334	0	0,0000		324	15	0,05	6xE2, 1xSK1, 2xHLS2, 1xBO1, 5xTB2
P25	399	0	0,0000		407	8	0,03	6xM2, 2xM3
P26	714	0	0,0000		660	0	0,00	
P27	700	0	0,0000		700	0	0,00	
P28	578	0	0,0000		693	0	0,00	
P29	595	0	0,0000		612	0	0,00	
P30	1632	0	0,0000		1564	0	0,00	
P31	144	0	0,0000		123	4	0,05	1xM1, 1xE3, 1xHLS3, 1xBO1
P32	456	0	0,0000		456	0	0,00	
P33	288	0	0,0000		288	0	0,00	
P34	258	0	0,0000		258	0	0,00	
P35	315	0	0,0000		335	3	0,02	3xBO1
P36	110	0	0,0000		110	0	0,00	
P37	242	0	0,0000		253	0	0,00	
P38	728	0	0,0000		673	1	0,01	1xBO1
P39	126	0	0,0000		128	0	0,00	
P40	153	0	0,0000		153	0	0,00	
P41	64	0	0,0000		64	0	0,00	
P42	460	0	0,0000		412	1	0,01	1xM4

P43	1040	0	0,0000				
P44	361	0	0,0000				
P45	90	0	0,0000				
P46	930	0	0,0000		958	0	0,00
P47	450	0	0,0000		450	0	0,00
P48	228	0	0,0000		232	0	0,00
P49	1305	0	0,0000				
P50	2210	0	0,0000				
	24721	73	0,0005			238	0,0144

Anhang 10: Beispiel eines normierten Taktplans auf Tagesbasis – Auszug aus P16

		Taktplan Norm																																			
		2014							2014							2014							2014							2014							
Jahr	Kalenderwoche	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
m2 TB	~ Tage	1,9	0,9	1,5	0,8	2,2	1,9	3,2	1,8	2,5	2,5	1,0	1,0	3,0	3,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
	Fläche in m2	99,75	46,18	79,54	40,47	103,96	99,29	103,96	99,29	121,62	121,62	39,81	39,81	99,07																							
	Propäkttag	GD1	GD1	GD1	GD1	GD1	GD1	GD1	GD1	GD1	GD1	GD1	GD1	GD1	GD1	GD1	GD1	GD1	GD1	GD1	GD1	GD1	GD1	GD1	GD1	GD1	GD1	GD1	GD1	GD1	GD1	GD1	GD1	GD1	GD1	GD1	
	TB 1; W17																																				
	TB 1; W17																																				
	TB 1; W18																																				
	TB 1; W18																																				
	TB 2; W11																																				
	TB 2; W12																																				
	TB 3; W5																																				
	TB 3; W6																																				
	TB 4; W19																																				
	TB 4; W20																																				
	TB 5; W14																																				
	TB 5; W15																																				
	TB 5; W16																																				

Anhang 11: Übersicht Füllgrad

Gewerke	BV														
	P1	P7	P12	P14	P16	P17	P18	P20	P26	P31	P32	P33	P40		
TB1	50,7%	30,8%	21,9%	53,8%	57,1%	57,1%	65,3%	66,7%	116,1%	52,8%	84,1%	59,4%	84,3%	87,0%	63,2%
Schreiner1	13,9%			2,6%		2,8%	2,9%	3,0%	3,0%	5,9%	3,8%	-	2,7%	-	4,5%
Elektro1	73,6%	42,0%	63,7%	28,2%	69,3%	98,3%	98,3%	63,0%	41,6%	48,0%	95,8%	46,0%	97,5%	55,1%	63,7%
Maler1	70,3%	57,3%	76,0%	48,6%	76,5%	112,2%	112,2%	66,5%	16,0%	61,7%	80,9%	57,7%	59,8%	19,4%	61,3%
TB2	76,7%	16,1%	9,0%	43,4%	38,3%	38,3%	10,4%	92,7%	34,4%	17,2%	78,1%	62,9%	143,9%	79,1%	54,0%
Brandschutz	11,3%														11,3%
HLS1	74,3%	22,8%	17,5%	27,3%	60,0%	21,5%	25,1%	25,1%	43,1%	22,5%	75,7%	51,1%	33,5%	81,5%	42,8%
FBH		56,2%	36,8%	42,3%	33,7%	33,7%	33,7%	35,9%	39,3%	0,0%	60,9%	87,4%	75,7%		49,7%
Estrich	17,5%	29,4%	12,8%	37,7%	37,4%	21,4%	21,4%	47,6%	41,2%	20,5%	55,8%	40,1%	31,0%	37,7%	33,1%
Maler2	77,4%	24,2%	72,4%	65,3%	72,0%	89,6%	89,6%	39,8%	72,3%	26,7%	85,2%	71,9%	95,7%	72,3%	66,4%
HLS2	44,5%	3,7%	13,7%	4,1%	1,8%	4,8%	4,8%	7,6%	4,7%	50,4%	18,8%	6,2%	8,7%	10,2%	13,8%
Fliesen1	65,2%	22,8%	59,7%	7,3%	8,8%	11,3%	11,3%	9,9%	7,9%	21,3%	16,8%	9,6%	11,3%	37,3%	22,3%
Fliesen2		39,8%		42,8%	71,1%	81,0%	81,0%	58,9%	58,2%	4,8%	88,3%	62,4%	30,5%	73,5%	55,6%
Elektro2	82,2%	24,1%	37,5%	13,5%	27,8%	51,3%	51,3%	35,6%	15,4%	76,6%	82,3%	36,1%	16,8%	8,3%	39,0%
HLS3				6,4%	15,6%	23,7%	23,7%	14,9%	20,7%	16,6%	34,4%	18,3%	17,7%	30,7%	20,3%
Boden1	80,9%	37,0%	49,7%	49,3%	89,9%	116,5%	116,5%	66,3%	91,6%	33,4%	76,8%	56,7%	118,4%	61,8%	71,0%
Schreiner2	10,7%	4,0%	10,3%	10,0%	6,2%	11,7%	8,4%	10,9%	68,4%	11,6%	7,2%	7,2%	9,5%	10,0%	13,8%
Metalbauer	1,5%														1,5%
Durchschnitt	50,0%	29,0%	36,2%	30,2%	41,4%	50,3%	40,1%	38,5%	32,9%	59,3%	44,9%	51,8%	47,4%	42,5%	42,2%

Anhang 12: Beispiel P6 Störungsgründe aus Interview

Taktplan Norm P9 Ist																								
Takt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
TB 1: Haus 1 + 2	TB1	GD1		E1		HLS1	GD2: TB2	M1	EST	M2	FL1: HLS2	FL2	M3	HLS3: EZ	BO1	SRI: TR								
TB 2: Haus 3 + 4		TB1	GD1	1	E1	2	HLS1	GD2: TB2	M1	EST	M2	FL1: HLS2	FL2	M3	HLS3: EZ	BO1	SRI: TR							
TB 3: Haus 5 + 6			TB1	GD1	1	E1	2	HLS1	GD2: TB2	M1	EST	M2	FL1: HLS2	FL2	M3	HLS3: EZ	BO1	SRI: TR						

Nr.	Mechanismus	Erläuterung	Störungskategorie
1	Verschiebung	Urlaub des Elektrikers	Ressource
2	Verschiebung	Zusammenhängend mit P10. Verschiebung P10 hat Auswirkungen auf P9	Ressource
3	Zugstopp	keine Angaben möglich	k.A.
4	Blockabfertigung	zu wenig Arbeitsinhalte um Takt zu füllen	Sonstiges

Anhang 13: Zusammenfassung Ergebnis Interview Störungsanalyse

Störungs-kategorie	Anzahl	Beschreibung
Prozess	19	Qualität im Prozess nicht ausreichend, Geschwindigkeit zu schnell oder zu langsam
Ressource	17	Fehlende Ressourcen, zu viele Ressourcen vorhanden, Ressourcenbedarf für taktbezogene Leistung nicht wirtschaftlich abbildbar (zu gering)
NU-Organisation	11	Fehlende Organisation und Planung durch NU
Vorleistung	10	fehlende Vorleistung um Arbeitspaket früher beginnen zu können
Kunde	7	Fehlende Entscheidungen oder Änderungen durch Kunde
Äußere Einflüsse	5	Witterung, Temperaturen, Klima
Sonstiges	4	Zusammenfassung weiterer Störungsgründe
Material	2	Fehlendes oder defektes Material
Planung/techn. Information	2	Informationen und technische Klärungen, fehlende Planungsunterlagen
k. A.	7	Keine Angaben vorhanden

Σ 84

Anhang 14: Übersicht der Störungen

	Nr.	Mechanismus	Erläuterung	Störungs-kategorie
P6	1	Verschiebung	Fehlende Vorleistung S2	Vorleistung
	2	Verschiebung	Umplanung durch Kunde - FBH wurde gestoppt	Kunde
	3	Verschiebung	Rohbauverzögerung hauptsächlich wegen aufwändiger Erschließung	Vorleistung
	4	Verschiebung	Rohbauverzögerung hauptsächlich wegen aufwändiger Erschließung	Vorleistung
	5	Verschiebung	Verschiebung M2 auf Grund fehlender Mitarbeiter	Ressource
P9	1	Verschiebung	Urlaub des Elektrikers	Ressource
	2	Verschiebung	Zusammenhängend mit P10. Verschiebung P10 hat Auswirkungen auf P9	Ressource
	3	Zugstopp	keine Angaben möglich	k. A.
	4	Blockabfertigung	zu wenig Arbeitsinhalte um Takt zu füllen	Sonstiges
P10	1	Entfall	Arbeitspakete TB1 und GD1 wurden aus Taktung entfernt	Sonstiges
	2	Verschiebung	Zusammenhängend mit P15. Verschiebung P15 hat Auswirkungen auf P10	Ressource
	3	Verschiebung	keine Angaben möglich	k. A.
	4	Entfall	Entfall FL2 auf Grund von Sonderwunsch Kunde	Kunde
	5	Verschiebung	Türenlieferung zu spät	Material
	6	Verschiebung	Restleistungen mussten fertiggestellt werden bevor Baureinigung erfolgt	Vorleistung
	7	Entfall	Entfall M1, da kein Kunde vorhanden - Bauherr entscheidet auf Ausbau im "Rohzustand"	Kunde
	8	Entfall	Entfall FL1 und HLS2 da kein Kunde vorhanden - Bauherr entscheidet auf Ausbau im "Rohzustand"	Kunde
	9	Verschiebung	Auf Grund des fehlenden Käufers wurde Haus 3 und 4 nicht ausgebaut. Später entschied der Bauherr sich für den Einbau des Bodens	Kunde
	10	Verschiebung	Restleistungen mussten fertiggestellt werden bevor Baureinigung erfolgt	Vorleistung
P11	1	Zugstopp	Elektro zu langsam	Prozess
	2	Zugstopp	Fliesenleger mangelhafte Abdichtung	Prozess

	3	Zugstopp	keine Angaben möglich	k. A.	
	4	Verschiebung	Trockenbauer zu langsam, da Leistungen sehr zeitaufwändig (Q3 spachteln und schleifen, direkter Anstrich, gleitender Deckenanschluss)	Prozess	
	5	Verschiebung	Trockenbauer zu langsam, da eine Kolonne beide Züge bedient hat	Ressource	
	6	Zugstopp	Parkett wurde gestoppt und Gutachter konsultiert	Prozess	
	7	Verschiebung	keine Angaben möglich	k. A.	
	8	Verschiebung	keine Angaben möglich	k. A.	
	9	Block-abfertigung	zu wenig Arbeitsinhalte um Takt zu füllen	Ressource	
	P13	1	Verschiebung	Geschwindigkeit GD1 zu schnell	Prozess
		2	Verschiebung	Geschwindigkeit HLS1 zu langsam	Prozess
3		Verschiebung	Geschwindigkeit M1 und TB1 zu langsam	Prozess	
4		Verschiebung	Rechtsstreit Käufer - Haus ab E1 in Produktionsabfolge nach hinten gestellt	Kunde	
5		Verschiebung	HLS1 bei Sprung in Produktionsabfolge zu langsam	Prozess	
6		Verschiebung	Verschiebung E1 auf Grund von Insolvenz	Sonstiges	
7		Verschiebung	Technische Klärung (Hauptversorgung) hat gefehlt - Falsche Unterlagen	Planung/ techn. Information	
P15	1	Waggon-ergänzung	HLS1 konnte auf Grund von fehlenden Informationen aus der Planung die Taktzeit nicht halten	Planung/ techn. Information	
	2	Verschiebung	Auf Grund von Begrenzten Kapazitäten im Werk HLS konnte TB 2 erst später begonnen werden	Ressource	
	3	Verschiebung/ Waggonplit	Das Arbeitspaket HLS 3 wurde nach hinten geschoben, da sich Eingangstüren verschoben haben und es die Gefahr des Abhandenkommens besteht	Vorleistung	
	4	Verschiebung	Verschiebung des Bodenlegers auf Grund der Blockabfertigung aus Wirtschaftlichkeitsgründen	Prozess	
	5	Verschiebung	zu wenig Arbeitsinhalte um Takt zu füllen	Ressource	
	6	Verschiebung	Baureinigung verschiebt sich auf Grund fehlender Vorleistung und Nacharbeit	Vorleistung	
P27	1	Zugstopp	längere Weihnachtsferien der NU's, teilweise fehlende VL in der Hülle	NU-Organisation	

	2	Zugstopp	Schallschutzproblem in den Bädern festgestellt (Vorwände vor leichter TB-Wand) -> Umbau in allen bisher ausgeführten Bädern	Prozess
	3	Zugstopp	Berücksichtigung der kurzen Wochen wegen Osterfeiertagen, Teilleistungen wurden zu einem Takt zusammengefasst, Darstellung dieser Planung als Zugstopp	NU-Organisation
	4	Zugstopp	kurze Woche, Ankündigung mangelnder Kapazitäten einiger NU's	NU-Organisation
	5	Verschiebung	Drei Steigleitungsstränge mussten unter dem Estrich quer verzogen und brandschutztechnisch verschlossen werden; Ausführung als VL nicht möglich, Aufwand wurde unterschätzt	Prozess
	6	Zugstopp	Drei Steigleitungsstränge mussten unter dem Estrich quer verzogen und brandschutztechnisch verschlossen werden; Ausführung als VL nicht möglich, Aufwand wurde unterschätzt(EG); Wasserschäden im DG zu sanieren	Prozess
	7	Verschiebung	während der vorangegangenen Stopps wurden Teilleistungen ausgeführt	Prozess
	8	Verschiebung	Verschiebung auf Grund fehlender Ressourcen des Estrichlegers	Ressource
	P29	1	Verschiebung	Bodenleger konnte Starttermin nicht halten
2		Verschiebung	Bodenleger hat separaten Sockeltrupp, Trupp stand erste eine Woche später zur Verfügung	NU-Organisation
3		Zugstopp	Mehrere Gewerke hatten leichten Rückstand	Prozess
4		Zugstopp	durch Urlaubszeit und Beschleunigung im Bauablauf Personalengpässe bei Sanitär und Trockenbauer	NU-Organisation
5		Zugstopp	durch Urlaubszeit und Beschleunigung im Bauablauf Personalengpässe bei Sanitär und Trockenbauer	NU-Organisation
6		Zugstopp	durch Urlaubszeit und Beschleunigung im Bauablauf Personalengpässe bei Sanitär und Trockenbauer	NU-Organisation
7		Doppel-taktung	Ein zweiter Zug war geplant. Aufgrund von Verzögerungen im Rohbau wurde der zweite Zug parallel zu Zug 1 im gleichen Haus gestartet. Doppelbelastung war die Folge.	Vorleistung
8		Verschiebung	Trockenbauer hatte zu wenig Mitarbeiter	Ressource
9		Verschiebung	Kapazitätsprobleme im HLS Takt	Ressource
10		Verschiebung	Kapazitätsprobleme im HLS Takt, deshalb auch Verschiebung in FL2	Ressource
11		Block-abfertigung	HLS 3 wurde im Block abgefertigt, da Diebstahl der Brauseschläuche vermieden werden sollte	NU-Organisation

	12	Block-abfertigung	Kapazitätsproblem in der Bauleitung	Ressource
	13	Verschiebung	SR wurde nach hinten geschoben und aus wirtschaftlichen Gründen im Block abgefertigt. Mit SR rutscht auch BO2 mit, da direkte abhängig. Gleichzeitig entsteht ein Waggontausch.	Prozess
	14	Verschiebung	Verschiebung Elektro auf Grund zu wenig Mitarbeiter auf der Baustelle	Ressource
	15	Block-abfertigung	Probleme mit Fliesenfirma (Kündigung und EV)	Sonstiges
	16	Verschiebung	Ungeklärte Sonderwuschthemen von Käuferin des Hauses , Fertigstellung erst wesentlich später	Kunde
	17	Waggon-ergänzung	HLS 4 und E 4 werden ergänzt, da Leistung nicht vollständig im Vorwaggon abgeschlossen wurde - fehlendes Material	Material
	18	Verschiebung	Verschiebung M2 auf Grund fehlender Vorleistung	Vorleistung
	P37	1	Zugstopp	Elektriker zu langsam, auf Grund von Kapazitätsengpässen
2		Zugstopp	Stopp aufgrund Urlaub BL + NU -> Arbeiten in Pufferflächen	NU-Organisation
3		Zugsequenz-split	Raum zu kalt	Äußere Einflüsse
4		Zugsequenz-split	Raum zu kalt im 1.OG, daher Umzug in 2.OG (TB03)	Äußere Einflüsse
5		Waggon-ergänzung	Malergewerk M3.2 ergänzt für bessere Abfolge zwischen Maler und Fliesenleger in den Wohnungen	Prozess
6		Waggon-wechsel	Verschiebung Malergewerk M3.2 für bessere Abfolge zwischen Maler und Fliesenleger in den Wohnungen	Prozess
7		Block-abfertigung	zu wenig Arbeitsinhalte um Takt zu füllen	Prozess
P46	1	Zugstopp	keine Angaben möglich	k. A.
	2	Zugstopp	keine Angaben möglich	k. A.
	3	Waggon-ergänzung	Leistung wurde in TB 2 nicht abgeschlossen und TB3 wurde ergänzt	Vorleistung
	4	Verschiebung	Verschiebung Estrich: Sandhaufen war eingefroren - Verlust um eine Woche	Äußere Einflüsse
	5	Verschiebung	Verschiebung M3: Auf Grund zu geringer Temperaturen im Haus konnte M3 nicht arbeiten	Äußere Einflüsse
	6	Verschiebung	Verschiebung M4: Auf Grund zu geringer Temperaturen im Haus konnte M4 nicht arbeiten	Äußere Einflüsse
	7	Block-abfertigung	zu wenig Arbeitsinhalte um Takt zu füllen	Ressource

	8	Block-abfertigung	Aus Wirtschaftlichkeitsgründen wurde BO3 zunächst als Block abgearbeitet. Erst später erfolgte wieder Umstellung auf Taktung	Ressource
P47	1	Zugstopp	Rückstand HLS-Installation	Prozess
	2	Zugstopp	Fliesenleger früher als erwartet im "Heimat-Urlaub"	NU-Organisation

FORSCHUNGSBERICHTE DES INSTITUTS FÜR TECHNOLOGIE UND MANAGEMENT IM BAUBETRIEB

Heft 1–62 institutsintern verlegt

- Heft 1 **HANS PINNOW**
Vergleichende Untersuchungen von
Tiefbauprojekten in offener Bauweise
- Heft 2 **HEINRICH MÜLLER**
Rationalisierung des Stahlbetonbaus durch
neue Schalverfahren und deren Optimierung
beim Entwurf
- Heft 3 **DIETER KARLE**
Einsatzdimensionierung langsam schlagender
Rambäre aufgrund von Rammsondierungen
- Heft 4 **WILHELM REISMANN**
Kostenerfassung im maschinellen Erdbau
- Heft 5 **GÜNTHER MALETON**
Wechselwirkungen von Maschine
und Fels beim Reißvorgang
- Heft 6 **JOACHIM HORNUNG**
Verfahrenstechnische Analyse über den
Ersatz schlagender Rammen durch die
Anwendung lärmarmen Baumethoden
- Heft 7 **THOMAS TRÜMPER / JÜRGEN WEID**
Untersuchungen zur optimalen Gestaltung
von Schneidköpfen bei Unterwasserbaggerungen
- Heft 8 **GEORG OELRICHS**
Die Vibrationsrammung mit einfacher
Längsschwingwirkung – Untersuchungen über
die Kraft- und Bewegungsgrößen des Systems
Rambär plus Rammstück im Boden
- Heft 9 **PETER BÖHMER**
Verdichtung bituminösen Mischgutes
beim Einbau mit Fertigern
- Heft 10 **FRITZ GEHBAUER**
Stochastische Einflußgrößen für
Transportsimulationen im Erdbau

- Heft 11 **EMIL MASSINGER**
Das rheologische Verhalten von lockeren
Erdstoffgemischen
- Heft 12 **KAWUS SCHAYEGAN**
Einfluß von Bodenkonsistenz und Reifeninnendruck
auf die fahrdynamischen Grundwerte von EM-Reifen
- Heft 13 **CURT HEUMANN**
Dynamische Einflüsse bei der Schnittkraftbestimmung
in standfesten Böden
- Heft 14 **HANS-JOSEF KRÄMER**
Untersuchung der bearbeitungstechnischen
Bodenkennwerte mit schwerem Ramm-Druck-
Sondiergerät zur Beurteilung des Maschineneinsatzes
im Erdbau
- Heft 15 **FRIEDRICH ULBRICHT**
Baggerkraft bei Eimerkettenschwimmbaggern -
Untersuchungen zur Einsatzdimensionierung
- Heft 16 **BERTOLD KETTERER**
Einfluß der Geschwindigkeit auf
den Schneidvorgang in rolligen Böden
- **vergriffen** -
- Heft 17 **JOACHIM HORNUNG/THOMAS TRÜMPER**
Entwicklungstendenzen lärmarmen
Tiefbauverfahren für den innerstädtischen Einsatz
- Heft 18 **JOACHIM HORNUNG**
Geometrisch bedingte Einflüsse
auf den Vorgang des maschinellen Reißens von Fels -
untersucht an Modellen
- Heft 19 **THOMAS TRÜMPER**
Einsatzoptimierung von Tunnelvortriebsmaschinen
- Heft 20 **GÜNTHER GUTH**
Optimierung von Bauverfahren -
dargestellt an Beispielen aus dem Seehafenbau
- Heft 21 **KLAUS LAUFER**
Gesetzmäßigkeiten in der Mechanik
des drehenden Bohrens im Grenzbereich
zwischen Locker- und Festgestein
- **vergriffen** -

- Heft 22 **URS BRUNNER**
Submarines Bauen - Entwicklung eines Bausystems
für den Einsatz auf dem Meeresboden
- **vergriffen** -
- Heft 23 **VOLKER SCHULER**
Drehendes Bohren in Lockergestein -
Gesetzmäßigkeiten und Nutzenanwendung
- **vergriffen** -
- Heft 24 **CHRISTIAN BENOIT**
Die Systemtechnik der Unterwasserbaustelle
im Offshore-Bereich
- Heft 25 **BERNHARD WÜST**
Verbesserung der Umweltfreundlichkeit von
Maschinen, insbesondere von Baumaschinen-Antrieben
- Heft 26 **HANS-JOSEF KRÄMER**
Geräteseitige Einflußparameter bei Ramm-
und Drucksondierungen und ihre Auswirkungen
auf den Eindringwiderstand
- Heft 27 **BERTOLD KETTERER**
Modelluntersuchungen zur Prognose von
Schneid- und Planierkräften im Erdbau
- Heft 28 **HARALD BEITZEL**
Gesetzmäßigkeiten zur Optimierung von Betonmischern
- Heft 29 **BERNHARD WÜST**
Einfluß der Baustellenarbeit
auf die Lebensdauer von Turmdrehkränen
- Heft 30 **HANS PINNOW**
Einsatz großer Baumaschinen und bisher nicht
erfaßter Sonderbauformen in lärmempfindlichen Gebieten
- Heft 31 **WALTER BAUMGÄRTNER**
Traktionsoptimierung von EM-Reifen in
Abhängigkeit von Profilierung und Innendruck
- Heft 32 **KARLHEINZ HILLENBRAND**
Wechselwirkung zwischen Beton und Vibration bei
der Herstellung von Stahlbetonrohren im Gleitverfahren
- Heft 33 **CHRISTIAN BENOIT**
Ermittlung der Antriebsleistung bei
Unterwasserschauflerrädern

- Heft 34 **NORBERT WARDECKI**
Strömungsverhalten im Boden-/Werkzeugsystem
- Heft 35 **CHRISTIAN BENOIT**
Meeresbergbau - Bestimmung der erforderlichen
Antriebskraft von Unterwasserbaggern
- Heft 36 **ROLF VICTOR SCHMÖGER**
Automatisierung des Füllvorgangs bei Scrapern
- Heft 37 **ALEXANDER L. MAY**
Analyse der dreidimensionalen
Schnittverhältnissen beim Schaufelradbagger
- Heft 38 **MICHAEL HELD**
Hubschraubereinsatz im Baubetrieb
- Heft 39 **GUNTER SCHLICK**
Adhäsion im Boden-Werkzeug-System
- Heft 40 **FRANZ SAUTER**
Optimierungskriterien für das Unterwasser-
schaufelrad (UWS) mittels Modellsimulation
- vergriffen -
- Heft 41 **STEFAN BERETITSCH**
Kräftespiel im System Schneidwerkzeug-Boden
- Heft 42 **HEINRICH SCHLICK**
Belastungs- und Fließverhältnisse in Silos
mit zentralen Einbauten und Räumarmaustrag
- Heft 43 **GÜNTHER DÖRFLER**
Untersuchungen der Fahrwerkbodeninteraktion
zur Gestaltung von Raupenfahrzeugen für die
Befahrung weicher Tiefseeböden
- Heft 44 **AXEL OLEFF**
Auslegung von Stellelementen für
Schwingungserregerzellen mit geregelter
Parameterstellung und adaptive
Regelungskonzepte für den Vibrationsrammprozeß
- Heft 45 **KUNIBERT LENNERTS**
Stand der Forschung auf den Gebieten der
Facility- und Baustellen-Layoutplanung
- Heft 46 **KUNIBERT LENNERTS**
Ein hybrides, objektorientiertes System zur
Planung optimierter Baustellen-Layouts

- Heft 47 **UWE RICKERS**
Modellbasiertes Ressourcenmanagement
für die Rettungsphase in Erdbebengebieten
- Heft 48 **ULRICH-PETER REHM**
„Ermittlung des Antriebsdrehmomentes von
Räumarmen in Silos mit Einbaukörper und
kohäsivem Schüttgut“
- Heft 49 **DIRK REUSCH** 2
Modellierung, Parameterschätzung und
automatische Regelung mit Erschütterungsbegrenzung
für das langsame Vibrationsrammen
- Heft 50 **FRANZ DIEMAND**
Strategisches und operatives Controlling
im Bauunternehmen
- Heft 51 **KARSTEN SCHÖNBERGER**
Entwicklung eines Workflow-Management-
Systems zur Steuerung von Bauprozessen in
Handwerkernetzwerken
- Heft 52 **CHRISTIAN MEYENBURG**
Ermittlung von Grundlagen für das Controlling
in öffentlichen Bauverwaltungen
- Heft 53 **MATTHIAS BURCHARD**
Grundlagen der Wettbewerbsvorteile globaler
Baumärkte und Entwicklung eines Marketing
Decision Support Systems (MDSS) zur
Unternehmensplanung
- Heft 54 **JAROSŁAW JURASZ**
Geometric Modelling for Computer Integrated Road
Construction (Geometrische Modellierung für den
rechnerintegrierten Straßenbau)
- Heft 55 **SASCHA GENTES**
Optimierung von Standardbaumaschinen
zur Rettung Verschütteter
- Heft 56 **GERHARD W. SCHMIDT**
Informationsmanagement und
Transformationsaufwand im Gebäudemanagement
- Heft 57 **KARL LUDWIG KLEY**
Positionierungslösung für Straßenwalzen -
Grundlage für eine kontinuierliche Qualitätskontrolle
und Dokumentation der Verdichtungsarbeit im Asphaltbau

- Heft 58 **JOCHEN WENDEBAUM**
Nutzung der Kerntemperaturvorhersage zur
Verdichtung von Asphaltmischgut im Straßenbau
- Heft 59 **FRANK FIEDRICH**
Ein High-Level-Architecture-basiertes
Multiagentensystem zur Ressourcenoptimierung
nach Starkbeben
- Heft 60 **JOACHIM DEDEKE**
Rechnergestützte Simulation von Bauproduktions-
prozessen zur Optimierung, Bewertung und
Steuerung von Bauplanung und Bauausführung
- Heft 61 **MICHAEL OTT**
Fertigungssystem Baustelle - Ein Kennzahlensystem
zur Analyse und Bewertung der Produktivität von
Prozessen
- Heft 62 **JOCHEN ABEL**
Ein produktorientiertes Verrechnungssystem
für Leistungen des Facility Management im
Krankenhaus

**HEFT 63–68 BEI KIT SCIENTIFIC PUBLISHING KARLSRUHE
VERLEGT, ISSN 1868-5951**

- Heft 63 **JÜRGEN KIRSCH**
Organisation der Bauproduktion nach dem Vorbild
industrieller Produktionssysteme – Entwicklung eines
Gestaltungsmodells eines ganzheitlichen Produktions-
systems für den Bauunternehmer
- Heft 64 **MARCO ZEIHNER**
Ein Entscheidungsunterstützungsmodell
für den Rückbau massiver Betonstrukturen
in kerntechnischen Anlagen
- Heft 65 **MARKUS SCHÖNIT**
Online-Abschätzung der Rammguttragfähigkeit
beim langsamen Vibrationsrammen in nichtbindigen
Böden
- Heft 66 **JOHANNES KARL WESTERMANN**
Betonbearbeitung mit hydraulischen Anbaufräsen
- Heft 67 **FABIAN KOHLBECKER**
Projektbegleitendes Öko-Controlling
Ein Beitrag zur ausgewogenen Bauprojektrealisierung
beispielhaft dargestellt anhand von Tunnelbauprojekten
- Heft 68 **AILKE HEIDEMANN**
Kooperative Projektabwicklung im Bauwesen unter der
Berücksichtigung von Lean-Prinzipien - Entwicklung
eines Lean-Projektabwicklungssystems: Internationale
Untersuchungen im Hinblick auf die Umsetzung und
Anwendbarkeit in Deutschland

**AB HEFT 69 BEI KIT SCIENTIFIC PUBLISHING KARLSRUHE
UNTER DEM TITEL KARLSRUHER REIHE TECHNOLOGIE UND
MANAGEMENT IM BAUBETRIEB VERLEGT, ISSN 2363-8222**

- Heft 69 **KIM KIRCHBACH**
Anwendung von Lean-Prinzipien im Erdbau –
Entwicklung eines Baustellenleitstands auf Basis
von Virtual Reality
- Heft 70 **PATRICK KERN**
Elastomerreibung und Kraftübertragung
beim Abscheren von aktiv betriebenen
Vakuumgreifern auf rauen Oberflächen
- Heft 71 **GERNOT HICKETHIER**
Communication Structures in the Design Phase
of Lean Project Delivery
- Heft 72 **AHLAM MOHAMAD**
Managing the Potential of Modularization and
Standardization of MEP Systems in Buildings.
Guidelines for improvement based on lean principles
- Heft 73 **MICHAEL DENZER**
Entwicklung eines Kooperationsmodells für die
Transportlogistik im Baustoff-Fachhandel
- Heft 74 **MAXIMILIAN DEUBEL**
Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit von
Building Information Modeling (BIM) in der
Planungs- und Realisierungsphase von Bauprojekten
- Heft 75 **MARCO BINNINGER**
Untersuchungen zum Arbeitsfluss in getakteten
Bauproduktionssystemen aus Perspektive von
Generalunternehmern

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

**INSTITUT FÜR TECHNOLOGIE
UND MANAGEMENT IM BAUBETRIEB**

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Kfm. Shervin Haghsheno

Prof. Dr.-Ing. Sascha Gentes

Ein guter Arbeitsfluss spielt in der Produktion eine maßgebende Rolle hinsichtlich der Produktivität und Effizienz. Im Bauwesen sorgt der Einsatz des Taktes für die Erzeugung des Flusses.

Die vorliegende Arbeit nimmt sich dem Fluss und dem Takt im Bauwesen an. Es wird eine Arbeitsflussbewertungsmatrix für getaktete Bauprojekte hergeleitet und 50 Bauprojekte damit untersucht. Es kann ein theoretisches Verbesserungspotential von bis zu 80% hinsichtlich der Arbeitsflusseffizienz aufgezeigt werden. Mit Hilfe der abgeleiteten Verbesserungsansätze inkl. konkreter Möglichkeiten kann das theoretische Potential zukünftig genutzt werden.



ISSN 2363-8222 | ISBN 978-3-7315-1137-3

Gedruckt auf FSC-zertifiziertem Papier