



JANOSCH DLOUHY

Wirksamkeit der Taktplanung aus
Perspektive des Bauherrn am Beispiel
von Produktionsimmobilien in der
Automobilindustrie

Janosch Dlouhy

Wirksamkeit der Taktplanung aus Perspektive des Bauherrn am Beispiel von Produktionsimmobilien in der Automobilindustrie

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 76

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.

Wirksamkeit der Taktplanung aus Perspektive des Bauherrn am Beispiel von Produktionsimmobilien in der Automobilindustrie

von
Janosch Dlouhy

Karlsruher Institut für Technologie
Institut für Technologie und Management im Baubetrieb

Wirksamkeit der Taktplanung aus Perspektive des Bauherrn
am Beispiel von Produktionsimmobilien in der Automobilindustrie

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 Janosch Dlouhy, M.Eng

Tag der mündlichen Prüfung: 5. Juli 2021
Erster Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Kfm. Shervin Haghsheho
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-Share Alike 4.0 International License
(CC BY-SA 4.0): <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.en>*



*The cover page is licensed under a Creative Commons
Attribution-No Derivatives 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 978-3-7315-1155-7
DOI 10.5445/KSP/1000140496

Vorwort des Hauptreferenten

Mit der vorliegenden Dissertation verfolgt Herr Janosch Dlouhy das Ziel, die Effektivität der Taktplanung als Methode zur Produktionsplanung im Bauwesen aus der Perspektive von Bauherren zu untersuchen. Die Untersuchungen erfolgen am Beispiel von Produktionsimmobilien in der Bauindustrie, mithin am Beispiel von Industriebauherren. Die empirischen Untersuchungen werden im Sinne einer Abgrenzung auf Produktionsimmobilien in der Automobilbranche fokussiert.

Die Motivation für seine Forschungsarbeit leitet Herr Dlouhy daraus ab, dass seit vielen Jahrzehnten eine Stagnation der Produktivitätsentwicklung im Bauwesen festzustellen ist. Als einen möglichen Ansatz zu Verbesserung der Produktivität und der Zielerreichung von Kunden identifiziert Herr Dlouhy die Methode Taktplanung für die Produktionsplanung im Bauwesen. Dabei stellt er fest, dass diese Methode in der Praxis vorwiegend von Bauunternehmen für die Baustellenkoordination genutzt wird. Etwaige Produktivitätssteigerungen verbleiben somit beim Bauunternehmen. Um Verbesserungen für die Kunden in der Wertschöpfungskette Bau zu erzielen, widmet sich Herr Dlouhy der Fragestellung, inwieweit die Methode der Taktplanung auch aus der Perspektive von Bauherren zu einer besseren Erfüllung der Kundenwünsche führen kann.

Herr Dlouhy entwickelt mit seiner Arbeit an mehreren Stellen neue Erkenntnisse, die eine wichtige Grundlage für die Weiterentwicklung der Forschung auf dem Gebiet der Taktplanung und Taktsteuerung darstellen. Im Rahmen der empirischen Untersuchungen in Fallstudien werden konkrete Ergebnisse im Hinblick auf Zeitattribute von Bauprojekten aufgenommen und später in Zusammenhang mit weiteren Projektattributen gebracht. Hieraus können Ansatzpunkte für die praktische Umsetzung entwickelt und für künftige Forschungsarbeiten im Sinne von Thesen erarbeitet werden. Die empirischen Daten aus den untersuchten Projekten, die systematische Darstellung von Puffern und der Mechanismen zur Gestaltung der Taktplanung sowie die Handlungsempfehlungen zur Gestaltung der Taktplanung aus Bauherrenperspektive geben einen

Impuls für die wissenschaftliche Diskussion und stellen somit einen wichtigen Beitrag im Sinne anwendungsorientierter Forschung dar.

Die Arbeit von Herrn Dlouhy zeichnet sich 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 sehr aktuelles Thema auf, das in der Baupraxis auf großes Interesse stoßen wird, insbesondere vor dem Hintergrund der Tatsache, dass immer mehr Bauherrenorganisationen Interesse am Lean Management Ansatz entwickeln und sich mit den Potenzialen dieses Ansatzes beschäftigen. Da gerade Bauherren eine maßgebliche Rolle bei der Gestaltung von Produktionssystemen in der Bauprojektentwicklung einnehmen, werden diese Arbeit und die darin entwickelten Ansätze zur Gestaltung der Taktplanung das Verständnis und die Verbreitung der Methode Taktplanung fördern.

Ich danke Herrn Dlouhy 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 im Rahmen seines Promotionsstudiums am Institut für Technologie und Management im Baubetrieb am KIT. Er war eine wichtige Stütze in Lehre und Forschung und hat mit großer Begeisterung für das Thema Lean Construction die Arbeit an unserem Institut auf diesem Themengebiet maßgeblich geprägt.

Prof. Dr. Shervin Haghsheno

Vorwort des Verfassers

Diese Arbeit hat mir die Möglichkeit eröffnet, das Thema der Taktplanung in aller mir möglichen Intensität zu erforschen. Für diese Möglichkeit bin ich meinem Arbeitgeber der BMW AG und im Speziellen den Herren Dr. Jochen Wagner, Klaus Hauser, Roland Jung und Dr. Herbert Grebenc und all meinen Kollegen für das unerschütterliche Vertrauen und die durchgängige Unterstützung sehr dankbar.

Meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Shervin Haghsheno, danke ich für die vielen Stunden der Diskussion und der wissenschaftlichen Führung, was diese Arbeit in ihrer tatsächlichen Form stark beeinflusst hat. Für die Übernahme des Co-Referates und den immer konstruktiven Austausch danke ich Herrn Prof. Dr. Fritz Berner.

Das Team Lean am Lehrstuhl Technologie und Management im Baubetrieb (TMB) des Karlsruher Institut für Technologie war durch seine Bachelor- und Masterarbeiten sowie die motivierenden Persönlichkeiten der Studenten eine große Hilfe für diese Arbeit. Danke an alle von mir betreuten Bacheloranden und Masteranden. Vielen Dank auch an meine ehemalige Masterandin und Kollegin Svenja Oprach, für die vielen Stunden der Unterstützung und des Gedankenaustausches. Danke, liebe Kollegen am TMB für das wertschätzende Miteinander und die vielen gemeinsamen Momente im Universitätsalltag.

Besonderer Dank geht an meinen wissenschaftlichen Kollegen und Freund Marco Binner. Durch ihn ist mir ein allzeit ebenbürtiger Sparringspartner geschenkt worden, wodurch das Thema Taktplanung so über sich hinauswachsen konnte. Danke für alles.

Da eine solche Arbeit auch privat viel Aufmerksamkeit und Unterstützung benötigt, möchte ich meiner Familie für die unzähligen Stunden danken, in denen sie auf mich gewartet haben und mich ermutigt haben, diese Arbeit zu beenden. Vielen Dank für eure Unterstützung Anne, Charlotta, Mats, Kathleen, Manfred, Mischa, Sufi und Hannes.

Danke Oma, dass du immer an mich geglaubt hast.

Landsberg am Lech, den 10.07.2021

Janosch Dlouhy

Kurzfassung

Diese Doktorarbeit analysiert den terminlichen Effekt, der durch den Einsatz der Taktplanung im Bauablauf aus Perspektive des Bauherrn auftritt. Zu Beginn werden die historischen Strömungen der Taktplanung zusammengefasst. Durch den Einsatz der Taktplanung in zehn Projektstudien werden sowohl die zeitliche Wirksamkeit dieser sowie die Gründe für den zeitlichen Effekt ermittelt. Zusätzlich stützt sich die Analyse auf die Auswertung von linearen Korrelationen der Projektdaten und einer Umfrage. Es werden Mechanismen zur Manipulation der Projektdurchlaufzeit erarbeitet und weiterführende Wirkungen beschrieben. Für einen sinnvollen Umgang mit den zeitreduzierenden Effekten werden abschließend drei Parameter abgeleitet. Der Stabilitätsparameter, der Effizienzparameter und der Wertschöpfungsparameter ermöglichen eine Bewertung der Zeitreduzierung nach unterschiedlichen Kriterien. Die Erkenntnisse der Arbeit werden zum Schluss in einer Handlungsempfehlung für Bauherren zum Einsatz der Taktplanung zusammengefasst.

Abstract

This doctoral thesis analyses the time effect that occurs due to the use of takt planning and takt control during the construction process from the perspective of the client. At first the historical courses of takt planning and takt control (TPTC) are aggregated. The effectiveness and the reasons for the effect of the related timing of TPTC are identified by means of ten project studies. Further the analysis draws upon the evaluation of linear correlations of the project data and a survey. There are developed mechanisms for manipulation of the project processing time and the pursuing impacts are described. For an appropriate handling of the time reducing mechanisms three parameters are derived. The stability parameter, the efficiency parameter and the value parameter enable a valuation of the time reduction with pursuing values of an optimized and takted timeline. The findings of this thesis are summarized at the end into a recommendation for the use of takt planning for owners.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort des Hauptreferenten	i
Vorwort des Verfassers.....	iii
Kurzfassung	v
Abstract.....	vii
Abbildungsverzeichnis.....	xv
Tabellenverzeichnis	xix
Abkürzungsverzeichnis.....	xxi
1 Einführung	1
1.1 Motivation.....	1
1.2 Ziel der Arbeit	2
1.3 Abgrenzung der Arbeit und Forschungsfragen.....	3
1.4 Methodisches Vorgehen und Aufbau der Arbeit	4
2 Grundlagen zum Forschungsvorhaben.....	9
2.1 Einleitung.....	9
2.2 Definition der Wirksamkeit.....	9
2.3 Der Bauherr.....	10
2.3.1 Arten von Bauherren.....	10
2.3.2 Aufgaben von Bauherren.....	12
2.3.3 Ziele von Bauherren.....	14
2.4 Industriebauherren.....	17
2.4.1 Vorbemerkung.....	17
2.4.2 Bauherrenorganisation	17
2.4.3 Ziele des Industriebauherrn	18
2.5 Produktionsimmobilien.....	22
2.5.1 Abgrenzung	22
2.5.2 Presswerk	23
2.5.3 Karosseriebau (Rohbau).....	23
2.5.4 Lackiererei.....	24

2.5.5	Montage.....	24
2.5.6	Logistik.....	25
2.5.7	Differenzierung zwischen Neubau und Umbau.....	26
2.6	Historie der Taktplanung und Stand der Forschung.....	27
2.6.1	Definitionen.....	27
2.6.2	Fließfertigung in der UdSSR (ab 1954).....	28
2.6.3	Taktplanung in Westdeutschland (ab 1970).....	29
2.6.4	Beginn von short interval production schedule (SIPS) (ab 1989).....	30
2.6.5	Anwendung von SIPS (2003).....	31
2.6.6	Operatives Ausführungssystem (OAS) (2009).....	32
2.6.7	Takt Time Planning (TTP) (2013).....	33
2.6.8	Taktplanung und Taktsteuerung (TPTS) (2015).....	34
2.6.9	Das 3-Ebenen-Modell (2016).....	36
2.7	Grundlagen der Taktplanung.....	40
2.7.1	Vorbemerkung.....	40
2.7.2	Grundelemente der Taktplanung.....	40
2.7.3	Visualisierung von Takt.....	44
2.7.4	Berechnung des Taktes.....	46
2.7.5	Taktsteuerung.....	49
2.8	Zusammenfassung.....	51
3	Einordnung der Messgröße Termine.....	53
3.1	Einleitung.....	53
3.2	Methodik und Ergebnisse der Befragung.....	53
3.2.1	Methodisches Vorgehen.....	53
3.2.2	Ergebnisse der Befragung.....	55
3.3	Auswertung der Befragung.....	59
3.3.1	Vorbemerkung.....	59
3.3.2	Ergebnisse der absoluten Nennungen.....	59
3.3.3	Ergebnisse der gruppenbezogenen Nennungen.....	59
3.3.4	Kritische Betrachtung.....	62
3.3.5	Bestätigung der Messgröße Termine.....	62
3.3.6	Einordnung der Messgröße Termine.....	63
3.4	Zusammenfassung.....	64

4	Beschreibung des Untersuchungsprogramms.....	65
4.1	Einleitung.....	65
4.2	Methodisches Vorgehen in der Projektstudie.....	65
4.3	Auswahl von Projekten.....	66
4.3.1	Bestimmung der Auswahlkriterien.....	66
4.3.2	Auswahl des Taktansatzes.....	67
4.3.3	Kriterien für die Auswahl von Projekten.....	69
4.4	Aufbau der Projektstudie.....	70
4.4.1	Auswahl der Projekte.....	70
4.4.2	Vorgehen in den Projekten.....	71
4.5	Datenerhebung in den Projekten.....	72
4.5.1	Vorbemerkung.....	72
4.5.2	Erhebung von Zeitattributen.....	72
4.5.3	Erhebung der Projektattribute.....	74
4.5.4	Bemessungsgrundlage für die Wirksamkeit im Hinblick auf Termine.....	75
4.6	Zusammenfassung.....	76
5	Quantifizierung zeitlicher Effekte der Taktplanung.....	79
5.1	Einleitung.....	79
5.2	Beschreibung der Projekte.....	79
5.2.1	Vorbemerkung.....	79
5.2.2	P1: Montage, Sanierung, Deutschland.....	80
5.2.3	P2: Montage und Logistik, Neubau, Brasilien.....	81
5.2.4	P3: Nebenflächen Sanitär, Sanierung, England.....	82
5.2.5	P4: Logistik, Sanierung, England.....	84
5.2.6	P5: Lackiererei, Umbau, England.....	85
5.2.7	P6: Karosseriebau, Neubau, Südafrika.....	86
5.2.8	P7: Presswerk, Sanierung, Deutschland.....	87
5.2.9	P8: Montage, Neubau, Deutschland.....	88
5.2.10	P9: Karosseriebau, Neubau, Mexiko.....	89
5.2.11	P10: Logistik, Neubau, Mexiko.....	90
5.3	Zusammenfassung.....	91
6	Auswertung von Zusammenhängen zwischen Projektattributen.....	93

6.1	Einleitung	93
6.2	Ermittlung der Projektattribute.....	93
6.3	Beschreibung des statistischen Verfahrens	100
6.3.1	Vorbemerkung.....	100
6.3.2	Auswahl der Korrelationsmethode	100
6.3.3	Beschreibung der Korrelationen.....	102
6.3.4	Kritische Betrachtung des angewandten Verfahrens.....	105
6.4	Auswertung der Korrelationen	106
6.4.1	Auswertung der Attribute.....	106
6.4.2	Ableiten von Hauptaussagen	107
6.5	Zusammenfassung	112
7	Analyse zeitwirksamer Mechanismen beim Einsatz der	
	Taktplanung	115
7.1	Einleitung	115
7.2	Beschreibung der zeitwirksamen Mechanismen	115
7.2.1	Vorbemerkung.....	115
7.2.2	Einordnung von zeitlichen Puffern	115
7.2.3	Analyse der zeitlichen Effekte.....	116
7.3	Aktive zeitwirksame Mechanismen.....	117
7.3.1	Vorbemerkung.....	117
7.3.2	Optimierung von Zeitpuffern	117
7.3.3	Losgrößenverkleinerung	121
7.3.4	Parallelisierung.....	125
7.3.5	Harmonisierung.....	128
7.3.6	Flussbasierte Wiederholung	130
7.3.7	Waggonisierung.....	132
7.3.8	Langläufer.....	134
7.3.9	Teilflächenübergabe	135
7.4	Passive zeitwirksame Mechanismen.....	138
7.4.1	Vorbemerkung.....	138
7.4.2	Synergieeffekt	138
7.4.3	Kurzzyklische Qualitätskontrolle	139
7.4.4	Transparenz.....	140
7.4.5	Kommunikation und Kultur	141

7.4.6	Flexibilität und Kundenorientierung (Bauherrenorientierung)	142
7.4.7	Auslastung	143
7.4.8	Überlagerung von Mechanismen	144
7.5	Zusammenfassung	146
8	Auswertung der Projektleiterbefragung	149
8.1	Einleitung	149
8.2	Befragung der Projektleiter	149
8.2.1	Vorbemerkung	149
8.2.2	Grundlagen zur Expertenbefragung	149
8.2.3	Aufbau der Befragung	150
8.3	Ergebnisse der Projektleiterumfrage	152
8.3.1	Vorbemerkung	152
8.3.2	Beschreibung der Ergebnisse der Befragung	152
8.3.3	Zusammenfassung der Ergebnisse der Befragung	157
8.4	Auswertung der Projektleiterumfrage	158
8.4.1	Analyse der Befragung	158
8.4.2	Diskussion der Befragungsergebnisse	161
8.5	Zusammenfassung	162
9	Handlungsempfehlungen für den Einsatz einer wirksamen Taktplanung	163
9.1	Einleitung	163
9.2	Allgemeine Wirksamkeit der Taktplanung für Bauherrn	163
9.2.1	Vorbemerkung	163
9.2.2	Übergeordneter Umgang mit Puffern	164
9.2.3	Einsatz des kalkulierten Endpuffers	165
9.3	Wirksamkeitsparameter der Taktplanung	166
9.3.1	Vorbemerkung	166
9.3.2	Effizienzparameter (EP)	166
9.3.3	Stabilitätsparameter (SP)	169
9.3.4	Wertschöpfungsparameter (WP)	171
9.3.5	Definition von Idealwerten der Wirksamkeitsparameter	173

9.3.6	Optimierung auf Grundlage der Wirksamkeitsparameter	174
9.3.7	Systemische Grenzen der Puffermanipulation in der Taktplanung	176
9.4	Handlungsleitfaden für Bauherren.....	178
9.4.1	Vorbemerkung.....	178
9.4.2	Einsatzbereiche.....	178
9.4.3	Taktplanung in Verträgen	179
9.4.4	Expertise des Bauherrn zur Taktplanung	180
9.4.5	Training und Zieldefinition	181
9.4.6	Berichtswesen in der Taktsteuerung	181
9.4.7	Puffermanagement.....	183
9.5	Zusammenfassung.....	183
10	Zusammenfassung der Forschungsergebnisse.....	185
10.1	Einleitung	185
10.2	Beantwortung der Forschungsfragen.....	185
10.2.1	Teilforschungsfrage 1 (FF1).....	185
10.2.2	Teilforschungsfrage 2 (FF2).....	186
10.2.3	Teilforschungsfrage 3 (FF3).....	187
10.2.4	Übergeordnete Forschungsfrage.....	188
10.3	Ausblick.....	189
10.3.1	Allgemeines	189
10.3.2	Taktsteuerung.....	189
10.3.3	Logistik.....	190
10.3.4	Integration weiterer Bauphasen	190
10.3.5	Analyse von komplexen Projekten	191
10.3.6	Prozessstandards.....	191
10.3.7	Einsatz von neuronalen Netzen und Deep Learning	192
	Literaturverzeichnis	193
	Anhang	205

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung der Bauinvestitionen in Deutschland in den Jahren 2000 bis 2019	1
Abbildung 2: Vergleich der verschiedenen Projektphasen	13
Abbildung 3: Gewichtung der Projektziele	15
Abbildung 4: Darstellung der operationalen Bauherrenziele	17
Abbildung 5: Nutzen durch Zeitgewinn	21
Abbildung 6: Lageplan eines Automobilwerkes	26
Abbildung 7: Rechnerischer Vergleich loser Staffeln mit der Takttafel im Springerbetrieb	29
Abbildung 8: Doppelte Paketierung und doppelte Sequenzierung	35
Abbildung 9: 3-Ebenen-Modell	37
Abbildung 10: Gewerkezüge mit Arbeitspaketen im Waggon	38
Abbildung 11: Beispiel eines Normtaktplans	39
Abbildung 12: Taktbereiche im Stahlbau einer Produktionshalle	43
Abbildung 13: Ablesbare Informationen im Zyklusdiagramm	44
Abbildung 14: Taktplan	45
Abbildung 15: Taktplan Piktogramm	45
Abbildung 16: Harmonisierung der Arbeitsinhalte im Waggon	49
Abbildung 17: Muster einer Taktsteuerungstafel	50
Abbildung 18: Praxisbeispiel einer Taktsteuerungstafel	50
Abbildung 19: Zeitstrahl mit Taktansätzen im Bauwesen	52
Abbildung 20: Erfahrungen der Befragten mit der Methode Taktplanung	56
Abbildung 21: Verteilung der Teilnehmer im Hinblick auf ihre Position	57
Abbildung 22: Ablaufplan Projektstudie	66
Abbildung 23: Kriterien zur Dokumentation der TPTS	69

Abbildung 24: Erhebung von Zeiträumen in den Projektstudien 74

Abbildung 25: Vertragliche Durchlaufzeit von 201 Projekten (x-Achse) ohne Einsatz der Taktplanung im Verhältnis zur Realbauzeit (y-Achse)..... 76

Abbildung 26: Kategorien von Projektattributen 80

Abbildung 27: Taktkriterien und Projektattribute der Projektstudie P1 81

Abbildung 28: Taktkriterien und Projektattribute der Projektstudie P2 82

Abbildung 29: Taktkriterien und Projektattribute der Projektstudie P3 83

Abbildung 30: Taktkriterien und Projektattribute der Projektstudie P4 84

Abbildung 31: Taktkriterien und Projektattribute der Projektstudie P5 85

Abbildung 32: Taktkriterien und Projektattribute der Projektstudie P6 86

Abbildung 33: Taktkriterien und Projektattribute der Projektstudie P7 87

Abbildung 34: Taktkriterien und Projektattribute der Projektstudie P8 88

Abbildung 35: Taktkriterien und Projektattribute der Projektstudie P9 89

Abbildung 36: Taktkriterien und Projektattribute der Projektstudie P10..... 90

Abbildung 37: Beispiele für positive Korrelation (links) und negative Korrelation (rechts)..... 102

Abbildung 38: Übersicht der Korrelationen aller erhobenen Attribute..... 103

Abbildung 39: Gruppierung der Korrelationen nach Art der Attribute..... 104

Abbildung 40: Korrelationen aller Attribute mit Markierung Hauptaussagen 1 bis 5.....	108
Abbildung 41: Arten von Zeitpuffern	119
Abbildung 42: Losgrößenverkleinerungs-Effekt	123
Abbildung 43: Wirksamkeit der Losgrößenverkleinerung in Kombination mit der Taktzeitreduzierung.....	124
Abbildung 44: Reduzierung Gesamtdurchlaufzeit und Anzahl der zu steuernden Takte in Abhängigkeit der Anzahl der Taktzeithalbierungen.....	125
Abbildung 45: Beschleunigte Projektrealisierung durch Parallelisierung von Prozessabläufen.....	126
Abbildung 46: Parallelisierungs-Effekt.....	128
Abbildung 47: Harmonisierungs-Effekt.....	130
Abbildung 48: Fließender Wiederholungseffekt im Taktplan	132
Abbildung 49: Waggonisierung.....	133
Abbildung 50: Langläufer-Mechanismus.....	134
Abbildung 51: Teilflächenübergabe-Effekt.....	136
Abbildung 52: Effekt der Synergien innerhalb eines Waggons.....	139
Abbildung 53: Effekt der kurzzyklischen Qualitätskontrollen	140
Abbildung 54: Transparenz-Mechanismus.....	141
Abbildung 55: Zug-Stopp.....	143
Abbildung 56: Beispielhafte Auslastung eines geplanten Taktplans im Vergleich zu einem typischen Projektverlauf	144
Abbildung 57: Einsatz des kalkulierten Endpuffers in einer Taktplanung.....	165
Abbildung 58: Idealdarstellung des Effizienzparameters.....	169
Abbildung 59: Darstellung des Stabilitätsparameters	170
Abbildung 60: Darstellung des Wertschöpfungsparameters.....	172
Abbildung 61: Ausgangssituation.....	175
Abbildung 62: Optimierung der Kompaktheit.....	175

Abbildung 63: Optimierung des Effizienzparameters.....	176
Abbildung 64: Beispielhaftes Reporting aus einem Projekt.....	182
Abbildung 65: Handlungsleitfaden für Bauherren zur Implementierung der Taktplanung in einem Bauprojekt.....	184

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Aufbau und Gliederung der Forschungsarbeit.....	7
Tabelle 2: Typologie von Bauherren.....	11
Tabelle 3: Absolute Häufigkeit der Nennungen je Ordnung im Hinblick auf die Projektziele	58
Tabelle 4: Absolute Häufigkeit der Nennungen je Ordnung im Hinblick auf die Projektziele (Differenzierte Betrachtung für zwei Phasenkategorien).....	61
Tabelle 5: Zeitliche Attribute Projektstudie 1 (P1)	81
Tabelle 6: Zeitliche Attribute Projektstudie 2 (P2)	82
Tabelle 7: Zeitliche Attribute Projektstudie 3 (P3)	83
Tabelle 8: Zeitliche Attribute Projektstudie 4 (P4)	84
Tabelle 9: Zeitliche Attribute Projektstudie 5 (P5)	86
Tabelle 10: Zeitliche Attribute Projektstudie 6 (P6)	87
Tabelle 11: Zeitliche Attribute Projektstudie 7 (P7)	88
Tabelle 12: Zeitliche Attribute Projektstudie 8 (P8)	89
Tabelle 13: Zeitliche Attribute Projektstudie 9 (P9)	90
Tabelle 14: Zeitliche Attribute Projektstudie 10 (P10)	91
Tabelle 15: Zeitliche Effekte in den Fallstudien.....	91
Tabelle 16: Beschreibung der Projektattribute	94
Tabelle 17: Synopse der zeitlichen und allgemeinen Projektattribute der Projektstudien (P1 – P10).....	98
Tabelle 18: Synopse der Taktattribute der Projektstudien (P1 – P10).....	99
Tabelle 19: Synopse der Implementierungsattribute der Projektstudien (P1–P10).....	99
Tabelle 20: Totaler und relativer Wert der Korrelationen nach Attributgruppen	104

Tabelle 21: Durchschnittswerte Taktattribute der Projektstudien P1
– P10..... 107

Tabelle 22: Mechanismen zur Manipulation der Durchlaufzeit bei
Anwendung von TPTS..... 117

Tabelle 23: Zeitliche Effekte in den Fallstudien mit
Teilflächenwerten..... 137

Tabelle 24: Mechanismen mit zeitlicher Wirkung mit ihren
Pufferarten 145

Tabelle 25: Positive und negative Assoziationen bei der Anwendung
von TPTS..... 153

Tabelle 26: Nennungen der Effekte durch Prozesstransparenz 154

Tabelle 27: Zusätzliche Nennungen der Fragen 3 – 5..... 155

Tabelle 28: Antworten Projektleiterbefragung mit
Durchschnittsergebnissen (Fragen 1–8)..... 157

Tabelle 29: Übersicht der Wirksamkeitsparameter der
Projektstudien (P1 – P10)..... 173

Tabelle 30: Übersicht Ergebnisse der Projektstudie bezogen auf
zeitliche Effekte..... 186

Tabelle 31: Beispieltabelle für Spearman-
Rangkorrelationskoeffizient mit intervallskalierten
Merkmalsausprägungen 205

Tabelle 32: Beispieltabelle für Spearman-
Rangkorrelationskoeffizient mit ordinalskalierten
Rängen..... 206

Tabelle 33: Korrelationsmatrix mit Spearman-
Rangkorrelationskoeffizient 206

Abkürzungsverzeichnis

AHO	Ausschuss der Verbände und Kammern der Ingenieure und Architekten für die Honorarordnung
BGB	Bürgerliches Gesetzbuch
CA	Corporate Architecture
CI	Corporate Identity
CREM	Corporate Real Estate Management
ELT	Elektrotechnik
FMEA	Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse
FPS	Fukuda Produktionssystem
GAE	Gesamtanlageneffektivität
GBE	Gesamtbaueffektivität
GU	Generalunternehmer
GÜ	Generalübernehmer
GWB	Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkung
HLS	Heizung, Lüftung, Sanitär
IGLC	International Group for Lean Construction
IPBA	Inclusive Probabilistic Buffer Allocation
IPD	Integrated Project Delivery
Jap.	japanisch
JIT	just in time

KGV	kleinstes gemeinsames Vielfaches
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
KVP	kontinuierlicher Verbesserungsprozess
LCI	Lean Construction Institute
LGV	Losgrößenverkleinerung
LMB	Lean Management im Bauwesen
LPS	Last Planner System
MTM	Methods-Time Measurement
NU	Nachunternehmer
OAS	operatives Ausführungssystem
OEE	Overall Equipment Effectiveness
OEM	Original Equipment Manufacturer
PU	Produktionsunterbrechung
SAB	Standardarbeitsblatt
SAS	Standardarbeitsschritt
SFM	Shopfloor Management
SIPS	Short Interval Production Schedule
SOP	Start of Production
SOS	Sauberkeit, Ordnung und Sicherheit
SRE	Standard-Raumeinheit
SSU	Standard Space Unit

TB	Taktbereich
TER	Teilflächen-End-Rand (Puffer)
TGA	technische Gebäudeausrüstung
TIP	taktischer Implementierungsplan
TMB	Institut für Technologie und Management im Baubetrieb
TPS	Toyota Production System
TPTS	Taktplanung und Taktsteuerung
TST	Taktsteuerungstafel
TU	Totalunternehmer
VOB	Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen

1 Einführung

1.1 Motivation

In den letzten Jahren wurde in Deutschland eine deutliche Erhöhung des Bauvolumens verzeichnet. Abbildung 1 zeigt die Entwicklung der Bauinvestitionen in Deutschland in den Jahren von 2000 bis 2019.

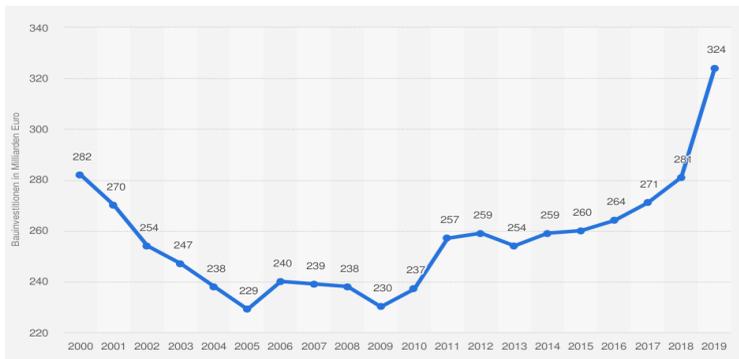


Abbildung 1: Entwicklung der Bauinvestitionen in Deutschland in den Jahren 2000 bis 2019 (in Mrd. Euro) (Statistisches Bundesamt 2020)

Eine starke Konjunktur in Deutschland erhöhte die Nachfrage nach bezahlbarem Wohn- und Produktionsraum. Niedrigzinsen und die fehlenden Alternativen an Anlagemöglichkeiten verstärken zudem diese Nachfrage. Der steigenden Nachfrage steht gegenüber, dass die Arbeitsproduktivität in der Bauwirtschaft stagniert (vgl. PwC 2014, S. 18). Auch The Economist thematisiert in seinem Artikel „The construction industry’s productivity problem“ den unterdurchschnittlichen Produktivitätszuwachs im Bausektor (vgl. o. A. 2017). Kunden und Investoren sind in der Baubranche immer wieder mit der Frage konfrontiert, warum ihre Projektziele in Bezug auf Einhaltung der Qualität, der Kosten und der Termine nicht erreicht werden. Aufgrund der steigenden Anforderungen und Nachfragen steht die Baubranche vor der Herausforderung, ihre Produktivität zu steigern. Eine Methode der Produktivitätssteigerung stellt

die Taktplanung dar. Schon in der Zeit ab 1945 systematisiert, ist diese Bauproduktionsmethode in den letzten Jahren vermehrt eingesetzt worden.

Zur Steigerung der Produktivität im Gebäudeerstellungsprozess wurde nach dem zweiten Weltkrieg besonders in den sozialistisch-kommunistischen Staaten die Methode der Fließtaktung eingeführt. Mit Fließtaktung wird der Übertrag der Methode der Fließbandproduktion auf den Bauablauf beschrieben. Seit Beginn des neuen Jahrtausends zeigen sich neue Ansätze der Taktplanung im Bauwesen (vgl. Horman et al. 2003 und Kaiser 2013). In den letzten Jahren ist in Deutschland in Projekten und Unternehmen eine vermehrte Aktivität zu diesem Ansatz erkennbar. Als Indiz hierfür kann die Einführung der VDI-Richtlinie 2553 „Lean Construction“ gesehen werden, die in ihrem Anhang B4 die Methodik der Taktplanung und Taktsteuerung beschreibt (VDI 2553 2017, S. 48). Die Taktplanung wird maßgeblich von Bauunternehmen für die Baustellenkoordination genutzt. Die Produktivitätssteigerungen werden damit auf der Baustelle erzeugt und genutzt. Eine systematische Integration des Bauherrn und seiner Kundenwünsche in das Bauproduktionssystem könnten die Produktivitätssteigerungen auch für den Kunden nutzbar machen. Der Bauherr stellt in seiner Funktion einen wichtigen Bestandteil eines Bauprojektes dar. Wissenschaftliche Untersuchungen zur Taktplanung aus der Perspektive von Bauherren sind jedoch bislang nicht durchgeführt worden. Das Potential durch aktive Integration des Bauherrn beim Einsatz der Taktplanung ist bis dato nicht beschrieben. Im Bauprozess erfüllt der Kunde nicht nur eine Konsumentenrolle, sondern auch die Rolle des Entscheiders (vgl. Pfarr 1997; Kalusche 2012; Prem 2013). Sein Einfluss auf die Projektorganisation und damit auf das Bauproduktionssystem ist daher maßgeblich. Es stellt sich die Frage, ob und ggf. inwieweit Bauherren Verbesserungen für die Erreichung ihrer Ziele durch den Einsatz der Taktplanung herbeiführen können. Die nachfolgende Forschungsarbeit befasst sich mit dieser Fragestellung.

1.2 Ziel der Arbeit

Wie bereits beschrieben, haben Bauherren als wesentliche Entscheider in einem Bauprojekt bis dato kaum Informationen zu der Methode der Taktplanung

aus ihrem Blickwinkel. Diese Methode wird zugleich immer häufiger durch Bauunternehmen eingesetzt (vgl. Binninger und Wolfbeiß 2018a, S. 163 ff.). Ziel dieser Arbeit sind Untersuchungen zur Bewertung der Wirksamkeit der Methode Taktplanung aus der Perspektive von Bauherren. Weiterführend werden Maßnahmen entwickelt, mit deren Hilfe die Wirksamkeit der Methode, insbesondere in terminlicher Hinsicht, für zukünftige Einsätze der Taktplanung verbessert werden kann. Den Schluss der Arbeit bildet eine Handlungsempfehlung für Bauherm zur Einführung und Nutzung der Taktplanung.

1.3 Abgrenzung der Arbeit und Forschungsfragen

Zur Umsetzung des genannten Zieles der Arbeit, die Taktplanung für Bauherren zugänglich zu machen und ihre Potenziale zu untersuchen, wird der Industriebauherr als ein Vertreter dieser Zielgruppe herangezogen. Er wird aufgrund seiner Tätigkeit als Bauherr wie auch seiner berechenbaren und konstanten Ziele im Industriebau ausgewählt. Zur Bewertung einer Wirkung der Taktplanung fokussiert sich diese Arbeit auf die terminlichen Auswirkungen.

Aus der Zielsetzung der Arbeit wird eine übergeordnete Forschungsfrage abgeleitet. Dem methodischen Aufbau der Arbeit folgen drei Teilforschungsfragen, welche die allgemeine Fragestellung dieser Arbeit beantworten. Folgende übergeordnete Forschungsfrage wird aus der beschriebenen Motivation und der Zielsetzung abgeleitet:

Wie wirkt sich der Einsatz der Methode der Taktplanung auf die Erreichung der Terminziele von Industriebauherren aus?

Hierfür bedarf es Teilforschungsfragen (FF), die die Arbeit strukturieren. Zur Analyse der terminlichen Effekte wird in der ersten Teilforschungsfrage (FF1) die Wirkung der Taktplanung auf die Termine definiert und messbar gemacht. Die erste Teilforschungsfrage lautet somit:

Wie lässt sich die Wirkung der Taktplanung auf das Bauherrenziel Termine quantifizieren?

Die zweite Teilforschungsfrage (FF2) erarbeitet die Wirkungsprinzipien der Taktplanung. Sie befasst sich mit den Gründen der terminlichen Effekte und beschreibt die verantwortlichen Mechanismen und ordnet diese. Diese Teilforschungsfrage lautet damit:

Welche Faktoren beeinflussen das Bauherrenziel Termine beim Einsatz der Taktplanung?

Die dritte und letzte Teilforschungsfrage (FF3) dient der Unterstützung der praktischen Anwendung der Ergebnisse dieser Arbeit. Es sollen Maßnahmen und Optimierungsmöglichkeiten beschrieben werden, die auf Basis der Erkenntnisse der Teilforschungsfragen 1 und 2 abgeleitet und definiert werden. Die Frage wird wie folgt formuliert:

Welche Maßnahmen können von Bauherren ergriffen werden, um die zeitlichen Effekte der Taktplanung in Bauprojekten besser zu nutzen?

Zusammengefasst analysiert diese Arbeit die Taktplanung mit Bezug auf ein konkretes Kundenziel von Bauherrn. Der Fokus auf ein einzelnes Kundenziel ermöglicht eine umfassende Erarbeitung der Gründe und Mechanismen der Wirkung. Die übergeordnete Forschungsfrage wird aus der Perspektive des Bauherrn beantwortet und schließt mit einer Handlungsempfehlung ab. Es wird zugleich angestrebt, Erkenntnisse zu gewinnen, die ebenfalls für andere Projektbeteiligte nutzbar sind.

1.4 Methodisches Vorgehen und Aufbau der Arbeit

Die übergeordnete Forschungsfrage der Arbeit ist wie in Kapitel 1.3 beschrieben in drei Teilforschungsfragen gegliedert. Diese Teilforschungsfragen FF1, FF2 und FF3 bauen aufeinander auf und bilden das Forschungsvorhaben ab. Es werden zehn Kapitel zur Strukturierung des Inhaltes genutzt, wobei Kapitel 1 die Einführung und Kapitel 10 die Zusammenfassung darstellt.

Vor der Beantwortung der Forschungsfragen wird in Kapitel 2 und 3 dieser Arbeit die Grundlagenermittlung durchgeführt. In Kapitel 2 werden mittels Literaturrecherche die Ziele von Bauherren und Industriebauherren definiert und ein Grundverständnis der Taktplanung vermittelt. Kapitel 3 enthält eine Bewertung der Bauherrenziele Kosten, Termine und Qualität durch eine Befragung unter 54 Bauherrenvertretern. Basierend auf den Ergebnissen der Befragung erfolgt die Auswahl der Messgröße Termine als Maßstab für die Wirksamkeit der Taktplanung.

Die Teilforschungsfrage 1 wird in Kapitel 4 und 5 beantwortet. Kapitel 4 bereitet die hierfür geplante Projektstudie systematisch vor, standardisiert das Vorgehen und legt Untersuchungskriterien fest. Kapitel 5 beinhaltet die Durchführung einer Projektstudie mit zehn ausgewählten Projekten aus dem Industriebau mit dem in Kapitel 4 definierten Vorgehen. Dort werden die Ergebnisse im Hinblick auf die zeitlichen Effekte aus den Projektstudien zusammengefasst.

Die zweite Teilforschungsfrage wird in den Kapiteln 6, 7 und 8 erörtert. Die Ermittlung der Einflussfaktoren auf die terminlichen Effekte basiert auf drei unterschiedlichen Analysen. Kapitel 6 umfasst die Auswertung von projektbezogenen Attributen, die in allen Projektstudien erhoben wurden. Diese Daten werden für die Bildung von Korrelationen genutzt, die in Bezug auf die terminlichen Effekte in fünf Hauptaussagen abgeleitet werden. Das siebte Kapitel detailliert die technischen Mechanismen der Taktplanung, die zeitliche Einsparungen in getakteten Bauprojekten erzeugen. Hierbei werden aktive und passive Wirkprinzipien definiert. Kapitel 8 ermittelt und analysiert terminliche Effekte aus Sicht von Bauherren mittels einer Befragung der Projektleiter der Bauherren aus den Projektstudien. Ziel hierbei ist die Überprüfung der Wirksamkeit der terminlichen Reduzierungen für den Bauherrn.

Durch die drei unterschiedlichen Perspektiven auf die zeitlichen Effekte der Taktplanung kann ein umfassendes Bild der Faktoren ermittelt werden, die das Bauherrenziel Termine beeinflussen, um so die Wirksamkeit der Taktplanung umfassend analysieren zu können.

Hinsichtlich der dritten und letzten Teilforschungsfrage werden in Kapitel 9 Maßnahmen und Handlungsempfehlungen für Bauherren aus den vorangegangenen Ergebnissen abgeleitet und beschrieben. Sie sind in drei Handlungsfelder eingeteilt. Als Erstes wird eine allgemeine Vorgehensweise zur Handhabung von zeitlichen Puffern in der Taktplanung definiert. Das aktive Puffermanagement beschreibt eine neue Vorgehensweise zur Kontrolle und Nutzung von zeitlichen Puffern. Die im zweiten Handlungsfeld entwickelten Wirksamkeitsparameter ermöglichen das Bewerten und Einstellen von Projekten nach den Attributen Effizienz, Stabilität und Wertschöpfung. Das dritte Handlungsfeld beschreibt einen Handlungsleitfaden für die Einführung und Umsetzung der Taktplanung in Projekten durch den Bauherrn. Durch die drei beschriebenen Handlungsfelder lassen sich die terminbeeinflussenden Maßnahmen für Bauherren beschreiben. Die drei Handlungsfelder beantworten damit Teilforschungsfrage drei. Die nachfolgende Tabelle 1 fasst den Aufbau der Arbeit mit den methodischen Bausteinen grafisch zusammen.

Tabelle 1: Aufbau und Gliederung der Forschungsarbeit

Forschungsfrage: „Wie wirkt sich der Einsatz der Methode der Taktplanung auf die Erreichung der Terminziele von Industriebauherren aus?“				
Grundlagen	Taktplanung im Bauwesen Literaturrecherche – Stand der Forschung	Bauherrenziele Literaturrecherche – Stand der Forschung		Kapitel 2
	Bewertung des Bauherrenziels Termine 54 Bauherrenvertreter eines Bauherren mit und ohne Erfahrung in der Taktplanung			Kapitel 3
FF1	Auswahl des Taktansatzes	Auswahl der Projektstudie 10 Projekte mit Taktplanung	Definition Dateninhalte	Kapitel 4
	Ergebnisse der Projektstudie 10 Projekte mit Taktplanung			Kapitel 5
Wie lässt sich die Wirkung der Taktplanung auf das Bauherrenziel Termine quantifizieren?				
FF2	Auswertung der Projektdaten Bildung und Auswertung von Korrelationen			Kapitel 6
	Ermittlung der terminwirksamen Mechanismen Beschreibung aktiver und passiver Mechanismen			Kapitel 7
	Analyse der Projektleiterbefragung Prüfung Wirksamkeit aus Bauherrnperspektive			Kapitel 8
Welche Faktoren beeinflussen das Bauherrenziel Termine beim Einsatz der Taktplanung?				
FF3	Beschreibung aktives Puffer- management	Bestimmung von Wirksamkeits- parametern	Handlungs- leitfaden	Kapitel 9
	Welche Maßnahmen können von Bauherren ergriffen werden, um die zeitlichen Effekte der Taktplanung in Bauprojekten besser zu nutzen?			

2 Grundlagen zum Forschungsvorhaben

2.1 Einleitung

Kapitel 2 beschreibt die Grundlagen, die für die Forschungsarbeit benötigt werden. Die Inhalte gliedern sich in Grundlagen im Hinblick auf den Bauherrn und zur Methode Taktplanung. Ziel des Kapitels ist es insbesondere, den Leser in die Anforderungen von Industriebauherren und die Grundbegriffe der Taktplanung einzuführen.

2.2 Definition der Wirksamkeit

Der Begriff *Wirksamkeit*, gleichbedeutend mit Zielerreichungsgrad oder Effektivität, stammt von dem lateinischen Wort für bewirkend, *effectivus*, ab und bezeichnet die relative Wirkung des wirkenden Elementes auf ein bestimmtes Ziel. Der Relativwert, also die Effektivität, bestimmt sich aus dem erreichten Ziel in Relation zum vorgegebenen Ziel (Maywald 2009, S. 20).

$$\text{Effektivität} = \frac{\text{erreichtes Ziel}}{\text{vorgegebenes Ziel}}$$

Formel 1: Effektivität

Wirksamkeit kann in unterschiedlichen Bereichen verwendet werden. Beispielhaft sei hier die therapeutische Wirksamkeit von Medikamenten erwähnt. Die in dieser Arbeit verwendete und bedachte Form der Wirksamkeit beschreibt Drucker als ökonomische Wirksamkeit (Drucker 1963). Diese Effektivität kann als relative Wirkung der definierten Methode auf ein bestimmtes Ziel definiert werden.

Die Effizienz, die als Wirkungsgrad bezeichnet werden kann, beschreibt ebenso einen Relativwert. Sie beinhaltet keine Zieldefinition, sondern stellt

eine Kennzahl für das Verhältnis von Aufwand zu Nutzen dar. Immer wieder werden die beiden Begriffe *Effektivität* und *Effizienz* verwechselt (vgl. Drucker 1963). Drucker beschreibt die Effektivität als „Machen der richtigen Dinge“ und die Effizienz damit, „Dinge richtig zu machen“. Ausgehend von dieser Quelle misst sich die Wirksamkeit für eine bestimmte Zielgruppe, in diesem Fall die der Bauherren, an den Zielen, die durch den Einsatz des definierten Elementes (hier die Taktplanung) erreicht werden sollen.

2.3 Der Bauherr

Kalusche beschreibt den Bauherren als denjenigen, „... der selbst oder durch Dritte ein Bauvorhaben für eigene oder fremde Rechnung erstellt. Bauherren können auch Personenmehrheiten in unterschiedlicher Rechts- oder Gesellschaftsform sein“ (Kalusche 2012, S. 5). Prem definiert den Bauherrn als „den Auftraggeber eines Bauprojektes, der darüber hinaus für die ordnungsgemäße Vorbereitung und Durchführung zu sorgen hat, und auch, dass der durch dieses Bauprojekt beabsichtigte Nutzen eintritt“ (Prem 2013, S. 27). Auch formaljuristisch gibt es verschiedene Bezeichnungen für Bauherren. In der VOB (Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen) und gemäß AHO (Ausschuss der Verbände und Kammern der Ingenieure und Architekten für die Honorarordnung) wird vom Auftraggeber gesprochen, im Bürgerlichen Gesetzbuch (BGB) hingegen vom Besteller. Im Zuge dieser Arbeit werden die Termini *Bauherr* und *Auftraggeber* verwendet.

2.3.1 Arten von Bauherren

Der Bauherr kann als selbstausübender Bauherr, fungierender Bauherr oder Investor auftreten. Die Klassifizierung ist abhängig von den Aufgaben, die übernommen, sowie den Zielen, die verfolgt werden (Wollensak 2013, S. 38). Der selbstausübende Bauherr übernimmt die Planung und Ausführung des Projekts und vereinigt alle Funktionen, die benötigt werden. Der fungierende Bauherr ist aktiv in die Planungs- und Ausführungsphase integriert. Es werden jedoch vor allem administrative Aufgaben übernommen. Ihn zeichnet meist ein

über die Bauwerkserstellung hinausgehendes Interesse am Bauprojekt aus. Der Investor übernimmt wenige Aufgaben selbst und delegiert die meisten an Dritte. Im Fokus stehen wirtschaftliche Aspekte (Kalusche 2012, S. 39). Die nachfolgende Tabelle strukturiert die Arten von Bauherren nach ihrer Absicht bezüglich der zu erbauenden Immobilie.

Tabelle 2: Typologie von Bauherren (Haghsheno 2004, S. 9) nach Shriek (2002) und Syben (1999)

Bauherrtypen		Nutzungsabsicht	
		Eigennutzung	Fremdnutzung
Veräußerungsabsicht	Nicht vorhanden	Eigenbedarfsbauherr - Privater Eigenbedarfsbauherr - Gewerblicher Eigenbedarfsbauherr - Öffentliche Hand	Investor als Bauherr - Privater Investor - Institutioneller Investor
	Vorhanden	"Build Operate Transfer" Bauherr (eingesetzt durch die öffentliche Hand)	Projektentwickler Baurträger

Die Gruppe der Eigenbedarfsbauherren lässt sich in den privaten, gewerblichen und öffentlichen Bauherren unterteilen. Sie verbindet die Absicht zur Eigennutzung ohne Veräußerungsabsicht. Bei Fremdnutzung hingegen wird, wenn keine Veräußerungsabsicht besteht, von einem Investor gesprochen. Besteht diese jedoch, handelt es sich bei dem Bauherrn um einen Projektentwickler oder einen Baurträger. Der Fall einer Eigennutzung bei gleichzeitiger Veräußerungsabsicht steht für die sogenannten Building-Operate-Transfer (BOT) - Bauherren. Der BOT-Bauherr finanziert, plant, baut und betreibt die Immobilie in einem Langzeitmiet- oder Leasingverhältnis für einen anderen Nutzer (vgl. Haghsheno 2004, S. 9). Die für diese Arbeit relevante Gruppierung der Eigenbedarfsbauherren wird nachfolgend detaillierter beschrieben.

Privater Eigenbedarfsbauherr

Private Bauherren bauen für ihre persönlichen Interessen und haben daher nicht immer wirtschaftliche Absichten. Jedoch spielt der ökonomische Faktor ebenfalls eine wichtige Rolle, da Privatpersonen oft nur über ein bestimmtes Budget verfügen. Private Bauherren stellen die Gruppe von nicht hauptberuflichen Bauherren dar, die zumeist gleichzeitig Bauherr, Nutzer, Investor und Betreiber der Immobilie sind. Als Investor gilt hierbei teils aber auch die Bank, die den Kredit für die Bauunternehmung zur Verfügung stellt. Die Bank hat wiederum ein rein wirtschaftliches Interesse und prüft dafür die Konditionen für den Kredit.

Gewerblicher Eigenbedarfsbauherr

Der gewerbliche Bauherr handelt im Auftrag seines Kunden. Er hat die Interessen des Unternehmens zu vertreten und durchzusetzen. Es existieren unterschiedliche Ausprägungen; von Bauherrenabteilungen in Unternehmen über Bauherrenverantwortliche bis hin zu externen Bauherrenvertretungen.

Öffentlicher Eigenbedarfsbauherr (öffentliche Hand)

Der öffentliche Bauherr repräsentiert den Staat mit seinen Bauvorhaben. Ihm sind besonders im Rahmen der Vergabe und Ausschreibung der Bauleistungen besondere Pflichten und Verantwortungen zugeordnet. Wesentliche Anforderungen an die Vergabe sind hierbei die neutrale und objektive Ausschreibung und Auswahl der Leistungsersteller. Der öffentliche Auftraggeber ist im Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkung (GWB) § 99 definiert.

2.3.2 Aufgaben von Bauherren

Der Bauherr ist während der gesamten Projektlaufzeit für verschiedene Aufgaben im Bauprojekt verantwortlich, die er teilweise selbst wahrnehmen oder an Dritte delegieren kann. Ein wesentlicher Teil davon sind die Aufgaben des Projektmanagements. Projektmanagement wird nach DIN 69901-5 als die „Gesamtheit von Führungsaufgaben, -organisation, -techniken und -mitteln für die Initiierung, Definition, Planung, Steuerung und den Abschluss von Projekten“ beschrieben (DIN 69901-5, S. 14).

Projektstufen

Ein Bauprojekt kann in verschiedene Projektphasen untergliedert werden. Eine Unterteilung ist notwendig, um die Bauherrenaufgaben sinnvoll zuzuordnen. In der Literatur existieren unterschiedliche Einteilungen der Projektphasen. Die Honorarordnung für Architekten- und Ingenieurleistungen (HOAI) unterscheidet neun Leistungsphasen, die AHO-Fachkommission fünf Leistungsphasen, während Pfarr den Projektablauf in vier Leistungsphasen unterteilt (Wollensak 2013, S. 54). In Abbildung 2 sind die oben genannten möglichen Projektphasen eines Bauprojektes dargestellt. Die Grundlage für die Phasengliederung bildet die HOAI. In dieser Arbeit liegt der Fokus auf der Arbeit des Bauherren, wodurch sich Unterschiede zu den HOAI-Phasen ergeben (Oberndorfer und Haring 2015, S. 51). Nachfolgend wird in Abbildung 2 vergleichend die Einteilung der Bauherrenaufgaben mit der Variante nach Pfarr visualisiert. Die Phasengliederung in vier Stufen beschreibt grobe Tätigkeitsabschnitte, die zur Erzielung eines Stufenziels dienen. Diese Stufen können mehrere Phasen des Planungsprozesses nach der HOAI umfassen (Pfarr 1984, S. 201).

HOAI	AHO	Pfarr
0. Bedarfsplanung	1. Bedarfsplanung	1. Bedarfsermittlung
1. Grundlagenermittlung		2. Planung des Projektes
2. Vorplanung		
3. Entwurfsplanung		
4. Genehmigungsplanung		
5. Ausführungsplanung		
6. Vorbereitung der Vergabe	3. Ausführungsvorbereitung	
7. Mitwirken bei der Vergabe	4. Ausführung	3. Realisierung des Projektes
8. Objektüberwachung		
9. Objektbetreuung	5. Projektabschluss	4. Übernahme, Inbetriebnahme

Abbildung 2: Vergleich der verschiedenen Projektphasen (Wollensak 2013, S. 54)

Pflichten auf der Baustelle

Auf der Baustelle ist der Bauherr für die Einhaltung und Umsetzung von Sicherheitsbestimmungen, dem Umweltschutz, wie dem Gesundheitsschutz verantwortlich. Besonders bei größeren Baumaßnahmen mit mehreren zeitgleich arbeitenden Unternehmen, beschreibt die Baustellenverordnung vier Aufgaben (vgl. Berner u.a. 2013 S. 205 f.):

- Übermitteln der Vorankündigung zum Baustellenbeginn der zuständigen Behörde.
- Erstellen des Sicherheits- und Gesundheitsschutzplans.
- Zusammenstellen der Unterlage für spätere Arbeiten an der baulichen Anlage.
- Bestellen eines Koordinators für Sicherheit und Gesundheitsschutz nach Baustellenverordnung.

2.3.3 Ziele von Bauherren

Bauherrenziele lassen sich nach originären und allgemeinen Zielen unterscheiden und als operationale Bauherrenziele zusammenfassen. Maßgebend für die Umsetzung der individuellen Ziele des Bauherrn, wie beispielsweise die Vermeidung von Missverständnissen und Schaffung von Transparenz, ist die Kommunikation dieser Zielvorgaben an den richtigen Ansprechpartner. Für die Projektbeteiligten sind diese Zielvorgaben ausschlaggebend, um Handlungsalternativen während der Entscheidungsprozesse identifizieren zu können (Steinbuch 2000, S. 87 ff.).

Originäre Bauherrenziele

Die originären Bauherrenziele werden während der Bedarfsermittlung festgelegt und beschreiben individuelle Nutzungsanforderungen sowie wirtschaftliche Ziele des Bauherrn. Diese Zieldefinitionen werden während der Bedarfsermittlung von originären Zielen in operationale Ziele transformiert. Diese fachspezifische Darstellung ist als Arbeitsgrundlage für die Projektpartner

verwendbar (Pfarr 1984, S. 79). Der gewerbliche Bauherr legt hierbei den Fokus auf die gesamten Lebenszykluskosten der Immobilie. Das Ziel ist somit die Optimierung der Investitions- und Nutzungskosten (Kalusche 2012, S. 49).

Allgemeine Bauherrenziele

Die allgemeinen Bauherrenziele werden als das Gleichgewicht aus Zeit, Qualität und Kosten beschrieben. Es sind Faktoren, die zu Beginn des Projektes von den Bauherren festgelegt und definiert werden. Aufgrund der Abhängigkeit der Komponenten wirkt sich die Änderung eines einzelnen Ziels direkt auf die beiden anderen aus (Wollensak 2013, S. 46 ff.). In Abbildung 3 sind die Zusammenhänge der allgemeinen Bauherrenziele aus Perspektive unterschiedlicher Akteure dargestellt.

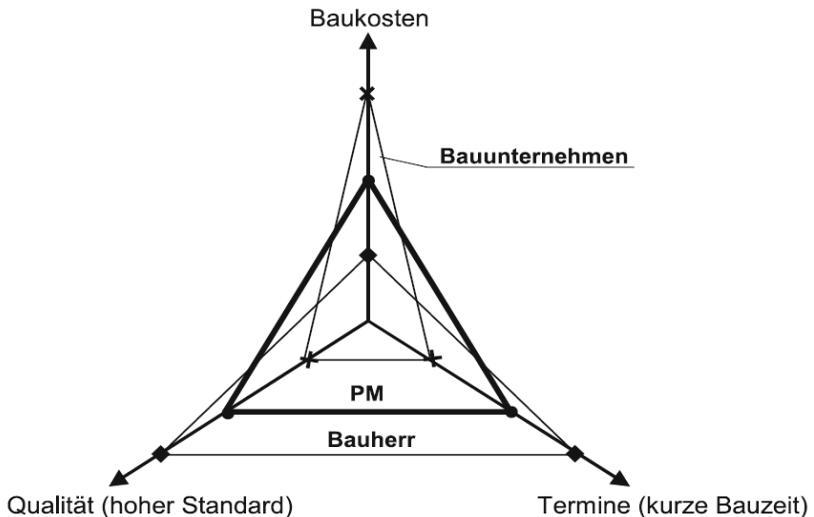


Abbildung 3: Gewichtung der Projektziele (Kochendörfer u. a. 2010, S. 56)

Die Festlegung der Zielschwerpunkte erfolgt individuell. Ergänzend zu den drei Hauptkomponenten können noch weitere Ziele bezüglich des Bauwerks relevant sein:

- Sicherheit (Versorgung, Betrieb)

- Erhaltung (Werterhaltung, Bausubstanz, Gebrauchstauglichkeit)
- Betrieb (Anlagenkonzepte, Wartungsfreundlichkeit)
- Nutzung (Funktionalität, Flexibilität, Behaglichkeit)
- Design (Corporate Architecture)

Bezogen auf den Bauprozess ergeben sich folgende Ziele (Wollensak 2013, S. 48):

- Bauprojektorganisation (Projektentwicklung, Planungsaufwand, Organisation)
- Ablauf (systematisches Vorgehen, externe Störungen)
- Ressourcen (Ressourcenschonung, Auslastung der Mittel)
- Controlling (Leistungsüberwachung, Kostenentwicklung, Einhaltung der Termine)

Operationale Bauherrenziele

Die operationalen Bauherrenziele leiten sich aus den allgemeinen und den originären Bauherrenzielen ab und sind die Grundlage für die Aufgabendefinition des Auftraggebers. „Operationale Ziele sind immer messbare Ziele, die so präzise definiert sind, dass Art und Ausmaß der Zielerreichung eindeutig bestimmt werden können. Die Operationalisierung geschieht in der Regel durch die Definition von Kennzahlen“ (Wirtschaftslexikon). Es ist zu erwähnen, dass sich allgemeine und originäre Bauherrenziele bedingen und damit Einfluss aufeinander haben können. Zusätzlich werden durch organisatorische, ökonomische, rechtliche, soziale, psychologische, natürliche und ökologische Bedingungen die Zielsetzungen des Bauherrn eingegrenzt. Abbildung 4 fasst die genannten Bauherrenziele zusammen.

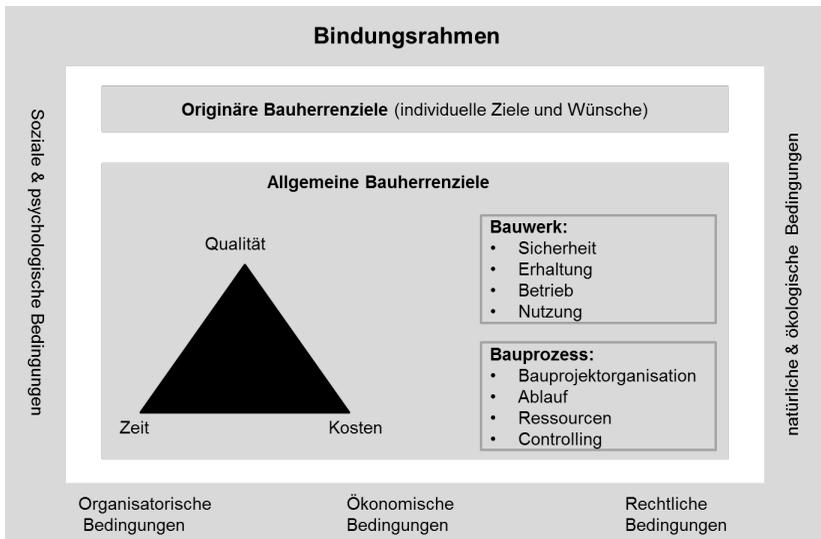


Abbildung 4: Darstellung der operationalen Bauherrenziele (Wollensak 2013, S. 49)

2.4 Industriebauherren

2.4.1 Vorbemerkung

Das Wort *Industrie* beschreibt die Menge aller Industrieunternehmungen. Sie zeichnet sich durch die Produktion und Weiterverarbeitung von Verbrauchsgütern und Investitionsgütern aus (Schmidt und Voigt 2018). Den Industriebauherren prägt, dass er in der Regel für seinen Eigenbedarf baut und die Standortwahl sowie das Investitionsvolumen nach den Zielen des eigenen Kerngeschäfts ausrichtet.

2.4.2 Bauherrenorganisation

Bauherren haben die Möglichkeit, ihre Aufgaben selbst wahrzunehmen oder umfassend an ein externes Projektmanagement zu delegieren. Bei

Industrieunternehmen, die im Rahmen dieser Arbeit im Fokus stehen, ist üblicherweise eine eigene Bauabteilung in Form einer Liegenschaftsgesellschaft oder Real-Estate-Abteilung in die Unternehmensstruktur integriert. Diese übernimmt die Aufgabe des professionellen Bauherrn. Mit Übernahme dieser Aufgabe kann der Bauherr als fungierender Bauherr (vgl. Kapitel 2.3.1) typisiert werden. Die Bauabteilung nimmt somit die Position des professionellen Industriebauherrn ein.

Die Vorgaben zu den Randbedingungen und Erfordernissen an die Gebäude werden im betrieblichen Immobilienmanagement vom Nutzer selbst erstellt. Der Nutzer übernimmt eine starke Rolle als Repräsentant des Hauptgeschäftes, das das Kapital durch die eigene Wertschöpfung generiert (Glatte 2014, S. 7). Kurze Planungs- und Bauzeiten für das Produktionsgebäude zählen zu den Punkten mit der höchsten Priorität, damit ausreichend Produktionskapazitäten gewährleistet und neue Entwicklungen früh auf den Markt gebracht werden können, um einen möglichst großen Marktanteil zu sichern (vgl. Girmscheid 2015, S. 9 f.).

2.4.3 Ziele des Industriebauherrn

Grundsätzlich ist dem Industriebauherrn wie jedem Bauherrn daran gelegen, die allgemeinen sowie die originären Ziele bestmöglich zu erreichen. Die Ergebnisse der allgemeinen Ziele stellen dabei möglichst kurze Bauzeiten, niedrige Baukosten und eine möglichst hohe Qualität dar (vgl. Haghsheno 2004, S. 10). Die allgemeinen Ziele befinden sich in einem Wirkungsdreieck (Kochendörfer u. a. 2010, S. 56). Eine Beeinflussung des einen Zieles hat somit zugleich Einfluss auf die anderen Ziele.

Kosten

Die Kosten für ein Produktionsgebäude sind durch den Geschäftsplan kalkuliert. Sie hängen stark von der geforderten Qualität ab. Durch die großen Flächen erzeugen bestimmte Anforderungen pro Quadratmeter schnell einen hohen Skaleneffekt (z. B. Erhöhung der Luftwechselrate pro Quadratmeter). Bezogen auf den Bauprozess erhöht eine Beschleunigung der Baumaßnahmen durch mehr Mitarbeiter und mehr Maschinen die Kosten für die Erstellung. Die

Reduzierung der Ausgaben am Gebäude stellt keine direkte Veränderung des zu produzierenden Produktes oder des Fertigungsprozesses dar. Jedoch kann durch reduzierte Ausgaben die Rendite des Produktes verbessert werden.

Qualität

Es existieren verschiedene Definitionen und Auffassungen im Hinblick auf den Begriff *Qualität*. Er leitet sich vom lateinischen Wort *qualitas* ab, was so viel wie Beschaffenheit bedeutet. Qualität bezeichnet also einen Zustand und keine Bewertung. DIN EN ISO 9000 definiert Qualität als einen „Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale eines Objekts Anforderungen erfüllt“ (Deutsches Institut für Normung 2014, S. 25). Die VOB/B definiert eine Leistung als frei von Sachmängeln, „wenn sie die vereinbarte Beschaffenheit hat und den anerkannten Regeln der Technik entspricht“ (DIN 2012, S. 17).

Die Qualität des Bauproduktes hat Einfluss auf die Fertigung des Industrieproduktes beim Bau einer Produktionsstätte und damit auf die Qualität und die Kosten des Produktes. Darunter fallen die Bereitstellung von guten räumlichen und klimatischen Bedingungen für Menschen und Maschinen wie auch die Zuführung von benötigten Produktionsmedien (Druckluft, Prozesswärme, Elektrizität usw.). Eine Verbesserung der Bauqualität hat jedoch nicht zwangsläufig eine Verbesserung des Fertigungsprozesses zur Folge. Einen wichtigen Aspekt der Qualität stellt die Flexibilität der Fläche dar. Durch eine detaillierte Planung unter Berücksichtigung von Varianten und nachfolgenden Fertigungsprozessen können die Ausgaben im kommenden Produktzyklus beeinflusst werden

Termine

Die Termine des Bauprojektes beeinflussen den Beginn der Produktion und den Zeitraum zur Erstellung der Produktionslinie. Produzierende Unternehmen müssen eine schnelle Reaktions- und Handlungsfähigkeit zeigen, um wettbewerbsfähig zu bleiben (vgl. Volkmann 2016, S. 34). Die Industrie benötigt kurze Planungs- und Bauzeiten für Produktionsgebäude, um eine ausreichende Produktionsflexibilität zu gewährleisten. Der harte Marktwettbewerb von Produkten erzeugt einen starken Druck auf den Produktionsstart (Start of Production – SOP). Das Konzept des Time-based Management beinhaltet, dass die Geschwindigkeit der Reaktion auf Kundenwünsche (in der Fertigung) als

wesentlicher Wettbewerbsvorteil verstanden wird (Gabler Wirtschaftslexikon 2017). Aufgrund immer kürzer werdender Produktlebenszyklen müssen Planungs- und Realisierungsprozesse zunehmend effizienter werden, um Marktanteile weiterhin zu sichern (Girmscheid 2010a, S. 9 f.). Als Beispiel ist hier der Automobilbau zu nennen. Imgrund (2014, S. 36) führt dazu Folgendes aus: „...es herrscht in der Automobilindustrie ein enormer Wettbewerbsdruck. Die Automobilhersteller versuchen, durch kürzere Produktlebenszyklen und eine höhere Variantenvielfalt Nachfrageschwankungen zu kompensieren. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, kurzfristig und flexibel auf die veränderten Absatzmärkte reagieren zu können.“

Bei einem früheren Start der Produktion ergeben sich strategische Vorteile sowie erhöhte Renditen. Volkmann (2016, S. 34) beschreibt hierzu eine Studie von Harden u. Kahlen (1993). Diese kommt zu dem Schluss, dass ein neues Produkt, das 10 % früher als gemäß dem geplanten Produktionszeitraum angeboten wird, länger auf dem Markt bestehen kann. Dadurch entsteht Potential, mehr Produkte zu verkaufen und sich einen höheren Marktanteil zu sichern. Zusätzlich können am Anfang höhere Produktpreise verlangt werden. Volkmann (2016, S. 34) beschreibt in einem fiktiven Rechenbeispiel in Abbildung 5 einen vorgezogenen Beginn (Ziffer 2 auf der x-Achse) in Bezug zum ursprünglichen Start der Produktion (Ziffer 1 auf der x-Achse) von einem halben Jahr bei einem Produktzyklus von fünf Jahren. Seine Ergebnisse zeigen eine um 18 % höhere Fertigungskapazität sowie einen um 85 % höheren Gewinn/Deckungsbeitrag.

2.5 Produktionsimmobilien

2.5.1 Abgrenzung

Nezval (1960, S. 347) teilt Industriekomplexe allgemein in zwei Gruppen von Objekten ein: Betriebsobjekte, in denen die Produktion stattfindet, und Hilfsobjekte, die unterstützende Aufgaben übernehmen, aber nicht direkt mit der Produktion zusammenhängen.

Da in modernen Fertigungen nicht immer eine klare Unterscheidung der Funktion nach Gebäuden oder Objekten möglich ist, wird im Weiteren das Wort *Fläche* bei Differenzierungen benutzt. Im Folgenden werden die Arten von Produktionsimmobilien in einem Automobilwerk beschrieben. Die einzelnen Prozessflächen sind in Abbildung 6 markiert. Die Fokussierung auf das Automobilwerk als spezielle Produktionsimmobilie erfolgt aus dem Grund, da sich die im weiteren Verlauf der Arbeit durchgeführten empirischen Studien auf Bauvorhaben in der Automobilindustrie beziehen.

Produktionsflächen können in direkte und indirekte Produktionsflächen sowie Nebenflächen unterteilt werden. Direkte Produktionsflächen beinhalten die Flächen für die Werterstellung. Indirekte Produktionsflächen umfassen die logistischen Flächen, wie z. B. Lagerflächen und Transportwege. Die Nebenflächen hingegen inkludieren Flächen wie die Umkleiden, Pausenräume und Toiletten. Alle diese Flächen sind für das Betreiben einer Produktionsstätte erforderlich und damit als Teil der Produktionsimmobilie zu sehen.

Die Art der Produktionsimmobilie hängt stark von dem zu produzierenden Produkt ab (vgl. Nezval 1960, S. 347). Gerade die Schwerindustrie, wie z. B. der Schiffsbau, benötigt Sonderlösungen. Jedoch können viele Unternehmen ihre Produkte in standardisierten Fertigungshallen produzieren.

Eine komplexe Produktion mit hohen Anforderungen stellt die Automobilproduktion dar (vgl. Wiendahl u. a. 2013, S. 4). Nachfolgend werden die verschiedenen benötigten Produktionsschritte für die Produktion eines Automobils beschrieben und die daraus resultierenden Anforderungen an das Gebäude und

dessen Erstellungsprozess zusammengefasst. Die Details im Fertigungsprozess der Erstausrüster oder *Original Equipment Manufacturer* (OEM) können sich unterscheiden. In seiner Allgemeinheit besteht dieser jedoch aus denselben Fertigungsschritten.

2.5.2 Presswerk

Das Presswerk ist für die Herstellung aller Blechteile einer Fahrzeugkarosserie verantwortlich. Der Rohstoff wird entweder in Form aufgerollter Metallbänder (Coils) oder gestapelter Metallplatten (Platinen) angeliefert. Die in Reihe angeordneten Pressen bilden die Pressenstraße. Pressenanlagen weisen in Relation zu anderen Produktionsanteilen ein hohes Investitionsvolumen und damit eine langfristige Kapitalbildung auf (Imgrund 2014, S. 37). Die Lebensdauer dieser Anlagen ist auf mehrere Jahrzehnte (Imgrund 2014, S. 38) und damit auf mehrere Fahrzeugmodellreihen ausgelegt. Abbildung 6 zeigt das Presswerk mit der Nummer 1. Die Anforderungen an das Gebäude liegen vor allem in den Notwendigkeiten der Pressenstraße. Neben der Langlebigkeit des Gebäudes und der hohen Raumhöhe stellen die im Pressvorgang entstehenden Vibrationen und Schwingungen spezielle Anforderungen an die Gebäudehülle und die Statik.

2.5.3 Karosseriebau (Rohbau)

Die gepressten Bauteile werden im Karosseriebau zu einer Fahrzeugkarosserie zusammengesetzt. Diese Arbeitsvorgänge werden zu 95 % automatisiert von Robotern abgewickelt (Imgrund 2014, S. 39). Nach der Herstellung der Bodengruppe werden zuerst die Seitenrahmen und anschließend das Dach angefügt. Im Karosseriefinish erhält die Karosserie ihre Anbauteile, wie Türen und Klappen. Der Karosseriebau ist in Abbildung 6 als Nummer 2 markiert. Das Gebäude wird in seinen Anforderungen maßgeblich von der hohen Automatisierung und der Fördertechnikebene beeinflusst. Durch die vielen Roboterstationen entstehen komplexe Notwendigkeiten für die technische Gebäudeausrüstung (TGA).

2.5.4 Lackiererei

Die Rohkarosserie erhält in der Lackiererei den Metallschutz vor Umwelteinflüssen. Hierfür werden vorab alle Lipid- und Bearbeitungsrückstände durch eine Reinigung entfernt. Anschließend wird eine Korrosionsschutzbehandlung durchgeführt (Imgrund 2014, S. 39). Die grundierete Karosserie kann nun in der kundenindividuellen Farbgebung und anschließend mit Pulverklarlack lackiert werden. In Abbildung 6 ist die Lackiererei mit der Nummer 3 gekennzeichnet. Die Qualität des Lackierprozesses ist stark abhängig von der Reinheit der Luft und der Oberflächen. An das Gebäude werden daher hohe Anforderungen bezüglich Luftdichtigkeit und Staubfreiheit gestellt. Die Lackieranlage ist durch den komplexen technischen Aufbau maßgebend für die Gebäudekubatur.

2.5.5 Montage

Die Montage ist als letzter Prozessschritt für das Zusammensetzen des Autos aus Karosserie und Einbauteilen verantwortlich. Die Vormontage erstellt hierfür die benötigten Module, bevor die Arbeit an der Fahrzeugkarosserie beginnt. Dies geschieht im Normalfall auf getakteten Montagebändern. Die Montage gliedert sich in drei Hauptbereiche: die Karosseriemontage, die Endmontage und das Prüffeld oder auch Finish (Imgrund 2014, S. 40). Abbildung 6 zeigt die Montage mit der Nummer 4. Eine Montageimmobilie steht für den Prozessschritt mit dem höchsten Anteil menschlicher Arbeit in einem Automobilunternehmen (vgl. Schönbeck 2009, S. 100). Die Anforderungen an das Gebäude werden daher neben der Produktionsflexibilität und einer effizienten logistischen Versorgung des Montagebandes zusätzlich von den Bedürfnissen menschlicher Arbeit bestimmt. Das Montagegebäude als *Branding im Industriebau* stellt eine komplett neue Anforderung als architektonisches Aushängeschild dar (vgl. Schönbeck 2009, S. 122).

2.5.6 Logistik

Die Logistikfläche dient dazu, alle notwendigen Teile für die Fertigstellung des Automobils in geeigneten Mengen vorzuhalten. Es existiert in allen Produktionsgebäuden ein gewisser Anteil an Logistikfläche, um die aktuell benötigten Werkstoffe und Bauteile für eine fließende Produktion vorzuhalten. Darüber hinaus existiert meist ein zentrales Lager, um die vor allem für die Montage benötigten Bauteile und Module zwischenlagern zu können. In vielen Fällen sind die Gebäude der Montage und der Logistik in einem einzigen Gebäudekomplex zusammengefasst. Logistikflächen zählen jedoch zu den nicht wertschöpfenden Flächen und sind damit indirekte Produktionsflächen. Nummer 5 in Abbildung 6 zeigt die Lage der zentralen Logistik in einem Werksumfeld.

Durch die große Menge an Bauteilen und Modulen besteht in Logistikgebäuden grundsätzlich eine hohe Brandlast. Die Anforderungen an die technische Gebäudeausrüstung sind daher auf den Brandschutz und die Prävention von Bränden ausgelegt. An die Gebäudehülle bestehen wenige spezielle Anforderungen.

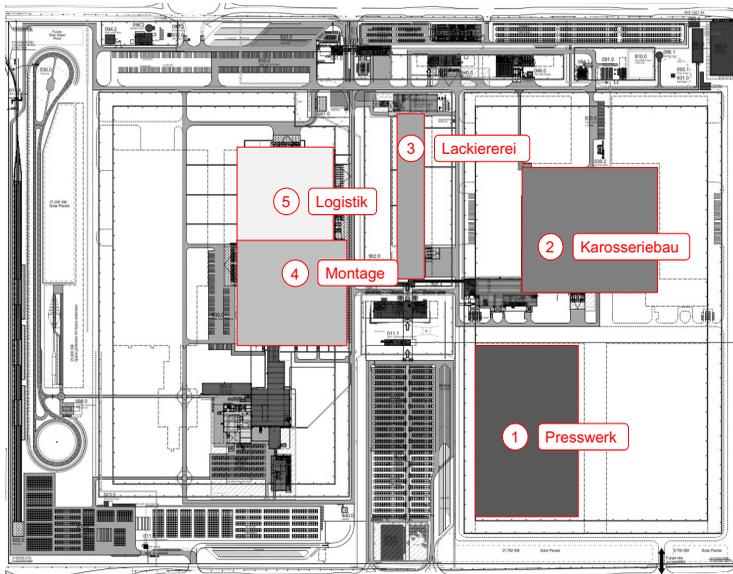


Abbildung 6: Lageplan eines Automobilwerkes (schematisch)

2.5.7 Differenzierung zwischen Neubau und Umbau

Bauprojekte sind nicht immer Neubauten. Alte Bauwerke können saniert, modernisiert oder umgebaut werden. Bei Einführung einer neuen Produktionslinie können neue Produktionsstätten errichtet oder bestehende Flächen angepasst oder erweitert werden. Hierbei können die Bauvorhaben als Neubau, Sanierung/Modernisierung und Umbau bezeichnet werden. Wie nachfolgend definiert, werden die später durchzuführenden Projektstudien nur in die Übergruppen Neubau und Umbau unterteilt:

- **Neubau:** Das Bauwerk wird gänzlich neu erbaut. Hierbei kann es auf einer unbebauten Fläche oder auf einer komplett rückgebauten Fläche errichtet werden.
- **Umbau:** Das Gebäude wird auf Grundlage einer bestehenden Baumasse baulich verändert und damit auf die neuen Anforderungen ausgelegt.

2.6 Historie der Taktplanung und Stand der Forschung

2.6.1 Definitionen

Der Begriff *Takt* stammt von dem lateinischen Wort *tactus*, was übersetzt „Berührung, Gefühl, Gefühlsinn oder Stoß“ bedeutet (Haghsheno u. a. 2016, S. 2). In der deutschen Sprache bezeichnet das Wort *Taktgefühl* eine Fähigkeit, einem anderen Menschen eine Situation zu ersparen, in der er sich schämen würde.

In der Musik werden Grundschläge mit gleicher Zählzeit in einen Takt gruppiert (Stieghorst, 2015). Das Taktprinzip wird in verschiedenen Anwendungen eingesetzt. Beispiele hierfür sind der Reitsport, die Steuerung und Regelung von rhythmischen Abläufen, der Taktfahrplan im öffentlichen Nahverkehr, die Zündung von 2-Takt- bzw. 4-Takt-Motoren und die Produktionslinien an den einzelnen Taktstationen eines Fließbandes.

In der Bauindustrie existieren durch die Anwendung des Taktprinzips bereits unterschiedliche Definitionen in der Literatur. Es zeigt sich übergeordnet eine Differenzierung zwischen der Planung und der Ausführung von Taktsystemen, auch Taktplanung und Taktsteuerung genannt.

Taktplanung: „Die Taktplanung umfasst im Bau eine konstante Taktzeit und feste räumliche Bereiche für die Planung einer Baustellenausführung vergleichbar der stationären Produktion. Ziel ist die Harmonisierung des Arbeitsflusses, wobei hierbei die Gewerke fließen und nicht das Produkt wie in der stationären Industrie“ (vgl. Bølviken u. a. 2015, S. 95).

Taktsteuerung: „Taktsteuerung ist für die Stabilität des Prozesses verantwortlich. Sie beinhaltet systematische und kurzzyklische Bausteuerung, die sich auf die Taktplanung bezieht und ein wesentlicher Erfolgsfaktor für Prozesse von Bauprojekten ist“ (vgl. Haghsheno u. a. 2016, S. 8).

Diese Forschungsarbeit betrachtet terminliche Wirkungen der Taktplanung. Die Taktsteuerung wird im weiteren Verlauf nicht näher betrachtet.

2.6.2 Fließfertigung in der UdSSR (ab 1954)

Die ersten recherchierten Dokumentationen von Takt im Hochbau stammen aus der Zeit um 1962. Das System der UdSSR und der DDR war bestrebt, günstigen und schnell verfügbaren Wohnraum zu schaffen. Es entstand der *Plattenbau*, ein standardisiertes Gebäude, für das die Einzelteile, wie Wände, Balkone usw., als Betonfertigteile vorproduziert werden konnten. Sogenannte *Kombinate* stellten dabei die organisatorische Verbindung der taktmäßigen Produktion in den Betonwerken und der taktmäßigen Montage auf der Baustelle her (Budnikow u. a. 1962, S. 303). Der Ansatz der Taktplanung lässt sich daher mit der Taktung der wiederholbaren Einbauschritte von gleichen Bauteilen in eine Ablaufreihenfolge (sogenannte *Taktstraßen*) beschreiben, die eine fließende Baustelle in einem Takt ermöglicht. Auf Grundlage dieser produktgetriebenen Prozessoptimierung fokussierte sich die Einführung des Taktes vor allem auf den Rohbau. Der Ausbau wurde integriert, spielte aber eine untergeordnete Rolle. Es wurde wenig Rücksicht auf eventuelle Verzögerungen genommen. Es wurde einzig darauf hingewiesen, dass für einen reibungslosen und störungsfreien Ablauf gesorgt werden muss (vgl. Budnikow u. a. 1962, S. 303). Der Kunde wurde hierbei stark rationalisiert. Individuelle Wünsche wurden nicht berücksichtigt. Nezval (1960, S. 346) beschreibt Wohnungen als Produkte, die in „ihrem Charakter nach Bedarfsartikel und in ihrer Ausführung nicht von den individuellen Besonderheiten des Benutzers abhängig“ sind. Damit war der Wohnungsbau ein standardisiertes Produkt und der Bewohner nur der Nutzer der Einheit ohne persönlichen Kundenwunsch. „Vollkommen anders ist das beim Bau von Industriekomplexen. Die Bauprodukte sind hier Produktionsmittel und den speziellen Bedingungen einer bestimmten Produktion angepasst“ (Nezval 1960, S. 347). Damit stellte der Industriebau mit seinen technischen Anforderungen und seiner Differenzierung eine Unterscheidung zu dem standardisierten Wohnungsbau dar. Die Varianzen in den Bauprodukten und damit auch in der Erstellung der Wertschöpfung wurden durch die Einführung von *unrhythmischen Taktstraßen* gelöst.

2.6.3 Taktplanung in Westdeutschland (ab 1970)

Aus dem Jahr 1970 ist die Arbeit von Adolf Schub (1970) zu erwähnen. Im Vorwort seines Buches *Probleme der Taktplanung in der Bauproduktion* schreibt er: „Die hier vorgelegte Arbeit soll in die Probleme der Taktplanung im Rahmen der Fließfertigung weiter vordringen und dabei folgende Punkte besonders herausarbeiten, nämlich: systematische Darstellung und rechnerische Behandlung des Taktes sowie kritische Behandlung der Voraussetzungen für die Taktplanung.“ Die Analysen fanden am Rohbau von Hochbauprojekten statt. Der Grund für die Auseinandersetzung mit der Taktplanung war für ihn die Erarbeitung eines optimalen Bauablaufs. Hierfür nutzte er eine sogenannte *Makroplanung* für den großen Rahmen der Ablaufplanung und eine *Mikroplanung* für die Detailerstellung des Bauwerkes (Schub 1970, Vorwort). Die Berechnung des Taktes erfolgte mit der *Line-of-Balance* (LOB)-Technik. Hierbei wurden über die Winkel eines Wegzeitdiagramms die Prozessgeschwindigkeit und damit die Fließgeschwindigkeit von einzelnen wertschöpfenden Tätigkeiten dargestellt. Abbildung 7 zeigt die Berechnung in einem LOB-Diagramm.

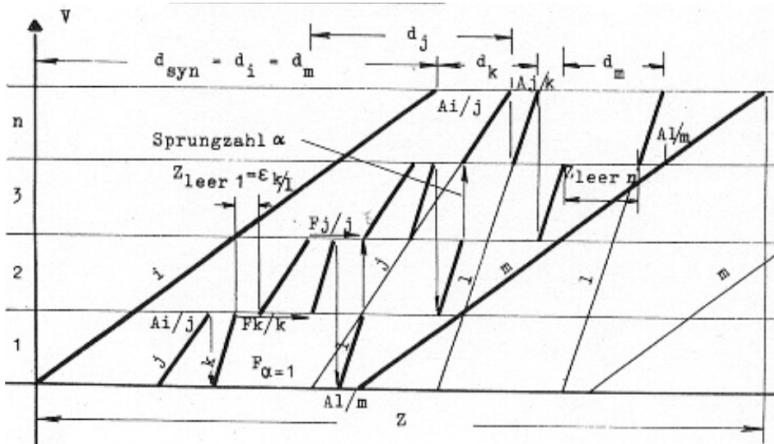


Abbildung 7: Rechnerischer Vergleich loser Staffeln mit der Takttafel im Springerbetrieb (Schub 1970, S. 45)

Die LOB-Technik wurde um 1940 für die Produktion entwickelt und ab 1970 auf das Bauwesen adaptiert. Unterschiedliche Formen und Werkzeuge haben sich hierzu entwickelt, jedoch nie nachhaltig in der Terminplanung durchgesetzt (vgl. Mendez und Heineck 1998, S. 2). Die Antwort auf die Frage, was aus Sicht von Schub einen optimalen Bauablauf darstellt, wurde in der Arbeit nicht direkt thematisiert. Zusammenfassend lässt sich ableiten, dass das „Optimum“ anhand der drei Berechnungsgrößen Zeit, Kapazitäten (Personaleinsatz) und Kosten evaluiert wurde (vgl. Schub 1970, S. 81). Ähnlich wie beim Ansatz der UdSSR beschrieb er den erfolgreichen Einsatz der Taktplanung abhängig von der Produktbeschaffenheit. Die Steuerung des Taktes fand in der Arbeit keine Erwähnung. Lediglich sah seine Handlungsempfehlung eine erneute Taktplanung bei Problemen im Ablauf vor (vgl. Schub 1970, S. 81).

2.6.4 Beginn von short interval production schedule (SIPS) (ab 1989)

Ein Ansatz zur Taktplanung im Bauwesen wurde 1989 von Alvin F. Burkhart auf dem ASCE Construction Congress „Excellence in the Constructed Project“ vorgestellt. In seinem Beitrag, „*The use of SIPS as a productivity tool*“, stellte er den *short interval production schedule (SIPS)* vor. Dieser aus detaillierten Einzelarbeitsschritten aufgebaute Terminplan zeigt zwar keinen klassischen Takt, orientiert sich aber in der Kalkulation und der Erstellung einer Intervallzeit an den Berechnungsformen einer Taktplanung. Er spricht von *pacesetter operations* (Burkhart 1989, S. 381), womit er entscheidende Arbeiten in einem Bauprojekt meint, die dem Bauprojekt so die Geschwindigkeit vorgeben. Seine in diesem Beitrag definierten Arbeitsschritte für das Erstellen eines SIPS sind auch heute noch teilweise in modernen Anwendungen der Taktplanung gültig. Die fünf Schritte sind:

1. Breche die Arbeiten auf Arbeitsschritte herunter.
2. Quantifiziere jeden Arbeitsschritt.
3. Füge den Arbeitsschritten Produktionsraten hinzu.
4. Berechne Erweiterungen und setze Ziele.

5. Entwickle eine Zeitschiene, ein mit Kapazitäten befülltes Balkendiagramm.

Burkhart (1989, S. 381 f.) beschreibt seine Form des SIPS als die Möglichkeit, Nachunternehmer oder Handwerker in den Planungsprozess persönlich zu integrieren. Grund für die Anwendung des SIPS ist, neben einer besseren Zusammenarbeit von Handwerkern und Planern, vor allem die Möglichkeit, einen stabilen und damit kapazitätsoptimierten Bauablauf zu erhalten.

2.6.5 Anwendung von SIPS (2003)

Die Weiterentwicklung des SIPS ist in einer Veröffentlichung der *International Group of Lean Construction* (IGLC) im Jahre 2003 von Michael J. Horman beschrieben (vgl. Horman u. a. 2003). Erstmals erscheint damit die Taktplanung als Methode im Kontext von Lean Construction und die Publikation präsentiert die erste Volumendiagrammdarstellung, die vergleichbar mit modernen Taktplänen ist. Hierbei lässt sich aktuell nicht genau feststellen, ob die Entwicklung zu einem vollständigen Taktsystem durch Burkhart, Horman oder durch das involvierte Bauunternehmen initiiert wurde. In der Veröffentlichung wird lediglich darauf verwiesen, dass das Bauunternehmen *Hensel Phelps Construction Company* (gegründet 1937 in Greeley, Colorado) die innovative Terminplanung SIPS nach Burkhart (1989) schon für einige Projekte eingesetzt hat. Den Grund für den Einsatz von SIPS in diesem Bauvorhaben sieht der Autor in der kontinuierlichen Fließproduktion der Baustelle. Horman argumentiert für ein aktives Puffermanagement in der Taktplanung, da er der Meinung ist, ein stabiler Bauablauf könne nur durch den gezielten Einsatz von Puffern funktionieren. Damit widerspricht er der geläufigen Meinung, Puffer seien Verschwendung und müssten reduziert werden. In diesem Zusammenhang steht auch die erste Erwähnung eines Wochentakts mit dem Puffer Wochenende in der Veröffentlichung. Die Ergebnisse am Ende des Projektes zeigen, dass die Taktplanung mit ihren Aufwandswerten stabil realisiert werden konnte. Jedoch kam es durch zu späte Kundenentscheidungen zu Verspätungen für den Innenausbau und die Möbel, wodurch die letzten Arbeiten in jedem Bereich neu geplant werden mussten (Horman u. a. 2003, S. 12). Der Kunde

hatte in diesem Fall durch seine Entscheidung Einfluss auf den Taktplan, konnte oder wollte diesem aber nicht gerecht werden. Eine Art der Taktsteuerung wurde zwar erwähnt, jedoch nicht als solche konkret benannt. Auffällig ist auch, dass es der erste Ansatz von Taktplanung für ein Ausbauprojekt ist. Die bisherigen Ansätze hatten das Ziel, eine Taktplanung bei Rohbauten durchzuführen.

2.6.6 Operatives Ausführungssystem (OAS) (2009)

Im Jahr 2009 lassen sich in Deutschland wieder Projekte mit getakteter Baustellenabwicklung in Veröffentlichungen finden. Kaiser und Zikas (2009) beschreiben die Nutzung von Takt im Straßen- und Tiefbau nach den Prinzipien des Lean Management. Takt wird hier bewusst als Prinzip des Lean Management adressiert. Ergebnisse des Einsatzes waren vor allem Effizienzsteigerungen im Bauablauf. Aufbauend auf seinen Erfahrungen in Projekten mit Taktplanung beschreibt Kaiser (2013) in seiner Dissertation „Lean Process Management“ das von ihm entwickelte „operative Ausführungssystem“ (OAS). Dieses System teilt er in vier Subelemente ein:

1. Eine fluss- und taktororientierte Terminplanung und -steuerung
2. Eine begleitende Qualitätsplanung und -steuerung
3. Eine schlanke Baulogistik
4. Eine Anwendung der Subelemente Visualisierung und Prozesskennzahlen

Dieser Ablauf beschreibt ein getaktetes Produktionssystem für die Baustelle. Neben der Taktplanung und der Taktsteuerung werden die Qualitätssicherung, die Baulogistik und Prozesskennzahlen für das Produktionssystem beschrieben. Die Taktzeit der Bauausführung orientiert sich dabei an der Abnahmefrequenz des Endkunden, die in der Einzelfertigung durch die Vorgabe des Fertigstellungstermins zu ersetzen ist (Kaiser 2013, S. 113). Der Kunde wird somit in der Anwendung berücksichtigt, aber nicht integriert. Das OAS nimmt in dem Produktionssystem einen „optimierenden Einfluss auf die Effektivität und Effizienz der Baustellenprozesse durch das Erzielen eines kontinuierlichen

Wertflusses“ (Kaiser 2013, S. 108). Damit unterstützt die Nutzung des Elements Takt ebenfalls, wie in anderen Ansätzen in der Historie, die Verbesserung des Baustellenprozesses. Eine Besonderheit des Ansatzes sind die Beschreibung von sogenannten Waggons (Bündelung aller Arbeiten in einem Takt) und die Nutzung des Begriffs eines Gewerkezugs (alle Waggons in einem definierten Bereich). Der Waggon stellt eine Weiterentwicklung in der Berechnung des Taktes und im Speziellen der Dimension des Taktprozesses dar.

2.6.7 Takt Time Planning (TTP) (2013)

Über Veröffentlichungen der *International Group of Lean Construction* (IGLC) kommt im Jahr 2013 mit dem „Takt Time Planning“ (TTP) von Adam Frandson und Iris Tommelein ein weiterer Taktplanungsansatz (Frandson u. a. 2013) hinzu. Der Ansatz basiert auf der Veröffentlichung von Linnik u. a. (2013) „An experiment in takt time planning applied to non-repetitive work“ (Linnik u. a. 2013, S. 528). Die Vorteile der Taktplanung in dieser Anwendung werden folgendermaßen benannt:

- Möglichkeit, mit anderen Gewerken über bessere Arbeitsverteilung zu diskutieren und somit Engstellen zu vermeiden,
- genaue Kenntnisse darüber, welches Gewerk wann und wo arbeitet, wodurch die Koordination erleichtert und Unvorhergesehenes vermieden wird,
- klare Ordnung in der Gewerkesequenz, wodurch die interne Steuerung der Kapazitäten erleichtert wird,
- Ermöglichung des Erreichens stabilerer Zusagen zwischen den Arbeitsaufgaben und dadurch höherer Sicherheit.

Der Taktsteuerung kommt in diesem Ansatz keine große Bedeutung zu. Zwar erwähnen Frandson u. a. (2015, S. 9 f.) die Kontrolle des TTP, jedoch wird dabei nur auf die notwendige Reaktion bei nicht erreichten Taktzielen eingegangen. Eine direkte Integration des Kunden in die Taktplanung findet nicht statt. Frandson u. a. (2015, S. 7) beschreiben jedoch, dass die Produktionsrate

der getakteten Baustelle mit der Nachfragerate übereinstimmen muss. Dieses Prinzip ist aus der stationären Industrie abgeleitet und stellt eine stark vereinfachte und verallgemeinerte Kundenbeziehung dar.

2.6.8 Taktplanung und Taktsteuerung (TPTS) (2015)

Der am Karlsruher Institut für Technologie entstandene Ansatz stellt eine Weiterentwicklung des OAS von Kaiser dar. Die Grundlagen wurden erstmals auf der IGLC Konferenz 2016 veröffentlicht (vgl. Haghsheno u. a. 2016). Die als Taktplanung und Taktsteuerung bezeichnete Methode wurde im darauffolgenden Jahr auf der IGLC Konferenz 2017 detailliert beschrieben und definiert (vgl. Binninger u. a. 2017a). Die Methode wird weiterführend in anderen Veröffentlichungen beschrieben (vgl. Binninger u. a. 2017c); (vgl. Binninger u. a. 2016b). Das Bestreben besteht darin, vorhandene praktische Umsetzungen in Deutschland in einem methodischen Ansatz abzubilden und Entwicklungen systematisch weiterzuführen. Die Vorgehensweise wird in der Veröffentlichung von Binninger u. a. (2017a) beschrieben. Es handelt sich dabei um zwölf Schritte zur Erstellung eines Taktplanes.

1. Definition von Funktionsbereichen (Bereiche mit gleicher Taktlokation)
2. Definition von Kundenprioritäten
3. Auswahl eines Funktionsbereiches
4. Definition der Standardraumeinheit, der kleinsten wiederholbaren Raumstruktur (SRE)
5. Definition aller Arbeitspakete für die ausgewählte SRE
6. Kalkulation der Arbeitsaufwände für jedes Arbeitspaket
7. Detaillierung der Arbeitspakete in Arbeitsschritte
8. Festlegen von Taktbereich und Taktzeit
9. Harmonisierung des Taktes
10. Zusammensetzen der Arbeitspakete, um Taktbereiche und Taktzeit zu erreichen
11. Durchführen der Schritte 3 bis 6 für alle Funktionsbereiche
12. Erstellen eines Taktplanes mit Festlegung aller priorisierten Kundenmeilensteine

Diese Anwendung kann als doppelte Paketierung und Sequenzierung der Arbeitsinhalte betrachtet werden. Das mehrfache Paketieren ermöglicht eine Detaillierung der Arbeitsschritte bei gleichzeitiger Kompatibilität auf übergelagerten Detaillierungsebenen. Wie in Abbildung 8 dargestellt, werden die kleinteiligen Arbeitsschritte zuerst sortenrein den Gewerken zugeordnet, wodurch sinnvolle Arbeitspakete (APs) entstehen. Schritt 2 bringt diese Arbeitspakete (APs) in die notwendige Aneinanderreihung, wodurch eine Prozesssequenz gebildet wird. Dadurch entstehen aus Arbeitsschritten sequenzierte Arbeitspakete (Gewerkesequenz). Durch eine weitere Paketierung dieser Arbeitspakete in Schritt 3 auf die gewählte Taktzeit und den gewählten Taktbereich wird neben der Sortierung nach Gewerken auch eine taktabhängige Dimensionierung erwirkt. Schritt 4 führt eine zweite Sequenzierung durch, die Gewerkezug genannt wird.

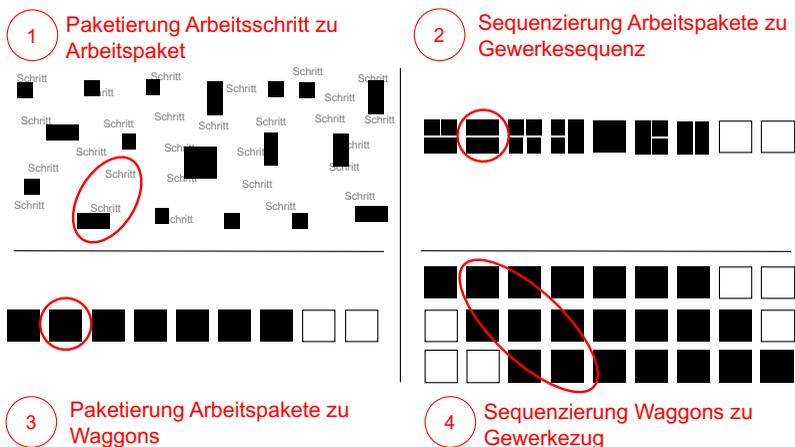


Abbildung 8: Doppelte Paketierung und doppelte Sequenzierung

Die Taktsteuerung wird bei diesem Ansatz eigenständig beschrieben. Die Erhebung von Datensätzen und Kennzahlen (Binninger u. a. 2017a, S. 6) sowie die Anpassung der Arbeiten während der Bauausführung werden in der Taktplanung, aber auch in der Taktsteuerung beschrieben (vgl. Binninger u. a.

2017c). Die Kundenintegration wird sowohl in den Grundlagen als auch in den zwölf Schritten der Durchführung berücksichtigt.

2.6.9 Das 3-Ebenen-Modell (2016)

2016 beschrieben Dlouhy et al. ein Verantwortungsmodell in drei Ebenen (vgl. Dlouhy u. a. 2016), das mit dem Ansatz der Taktplanung und Steuerung verknüpft werden kann (Binninger u. a. 2017a). Die Makro-, Norm- und Mikroebene verbinden die Arbeitsinhalte verschiedener Projektbeteiligter in einem System, das beispielhaft an einem getakteten Großbauprojekt demonstriert wurde. Dabei wird die Taktplanung auf Wunsch des Bauherrn eingesetzt, der diese gemeinsam mit dem Projektmanagement und den Bauunternehmen gestaltet und anwendet. Es wird aufgezeigt, dass mögliche Effizienzgewinne im getakteten Produktionssystem direkt für den Kundenwert genutzt werden können.

Bauherrenorganisationen bilden eine Schnittstellenfunktion zwischen dem Industrieunternehmen (Kunde) und den am Projekt beteiligten Unternehmen. Daher beruht das System auf einem verantwortungsbasierenden Zusammenarbeitsmodell, das stetig Prozesstransparenz zwischen den Projektverantwortlichen mit strukturierter Kommunikation erzielen will.

Das *3-Ebenen-Modell* der kundenorientierten Bauproduktion, wie in Abbildung 9 dargestellt, stellt einen transparenten Ordnungsrahmen zur Strukturierung von getakteten Bauprozessen dar. Es besteht aus drei hierarchischen Ebenen, deren Detaillierungsgrad von oben nach unten zunimmt und die eng miteinander verknüpft sind.

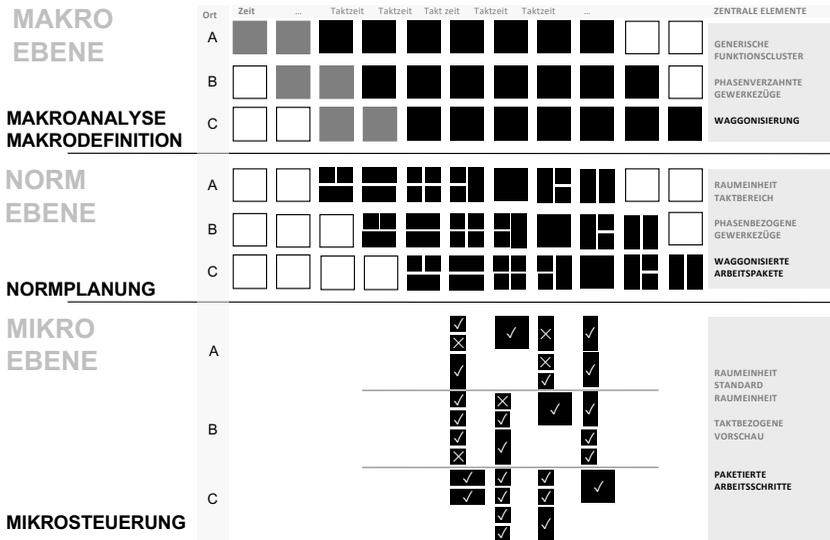


Abbildung 9: 3-Ebenen-Modell

Makroebene

Die Makroebene des *3-Ebenen-Modells* dient dem Bauherrn als Kommunikations- und Entscheidungsgrundlage und der Zielverwirklichung. Sie beinhaltet Informationen reduzierter Detailtiefe, die für strategische Entscheidungen, bezogen auf den gesamten Bauprozess, notwendig sind. Die Informationen der beiden unteren Ebenen werden gebündelt und über eine projektverknüpfende Arbeitsweise koordiniert. Die Makroebene dient dazu, die Bauphasen untereinander und mit den vorhergehenden wie nachfolgenden Phasen zu optimieren. Die gesamthafte, aber vereinfachte Darstellung des Bauprojektes ermöglicht eine für Bauherren wichtige Projektübersicht und Transparenz. Die getakteten Bereiche des Bauprojektes werden als Gewerkezug mit Waggons beschrieben. Abbildung 10 zeigt einen Makrotaktplan mit drei visualisierten Zügen und deren Waggons (erster Zug gelb, zweiter Zug grün, dritter Zug blau). Der Waggon definiert die Größe von Arbeitsprozessen als eine Art Hülle in Abhängigkeit von einem Taktbereich in einer Taktzeit, wodurch ein Takt definiert wird.

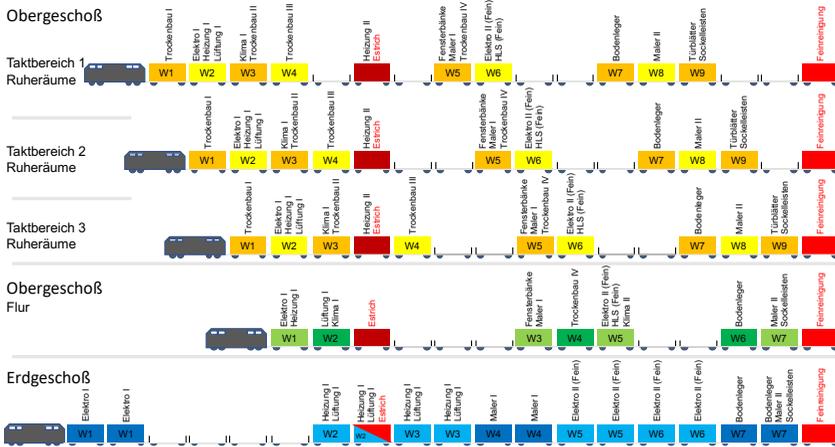


Abbildung 10: Gewerkezüge mit Arbeitspaketen im Waggon (vgl. Binnering u. a. 2017a, S. 8)

Ein Arbeitstakt ist damit durch einen gefüllten Waggon beschrieben. Die Priorisierung der Flächen findet durch den Bauherrn auf der Makroebene statt. Taktzeit und Taktbereiche werden im Makrotaktplan definiert und ggf. mit der Normebene nach deren Planung neu angepasst.

Normebene

Die Normebene des 3-Ebenen-Modells bildet die Prozesse der Baukoordination mit mittlerem Detaillierungsgrad ab. Informationen und Vorgaben aus der Makroebene werden auf das Projekt abgestimmt und die Bauabläufe geplant und koordiniert. Einzelprozesse und deren Schnittstellen werden optimiert, was einen stabilen Fluss in der Ausführung ermöglicht. Die Normebene beschreibt die Taktplanung auf Basis der zeitlichen und räumlichen Voreinteilung aus der Makroebene. Die Waggon der Makroebene werden in der Normebene mit Arbeitspaketen je Gewerk detailliert. Für jedes Arbeitspaket der Prozesssequenz identifiziert man alle Arbeitsschritte für die Mikroebene. Durch die Veränderung der Personalstärke, der Kombinationen von Taktbereichen oder der Art und Anzahl der eingesetzten Werkzeuge und Maschinen können die einzelnen Arbeitspakete harmonisiert werden. Es entsteht eine Arbeitsabfolge von Gewerken aus wiederholbaren Arbeitspaketen mit definierten

Kapazitäten und Aufwänden. Im Arbeitspaket werden Aussagen zu benötigten Materialien und Maschinen sowie anderen an Takte gebundenen Kapazitäten getroffen. Arbeitspakete, die nicht wiederholbar sind, sind nicht Teil der Taktung und werden *Workable Backlog* genannt. Diese können vorgezogen werden, parallel zum Taktplan als Arbeitsausgleich laufen oder nachgestellt werden. Abbildung 11 zeigt eine mögliche Visualisierung eines Normtaktplanes mit den horizontal verlaufenden Taktbereichen 1 bis 6, den Taktzeiten in den Spalten und den unterschiedlichen Gewerken markiert durch die Farben.

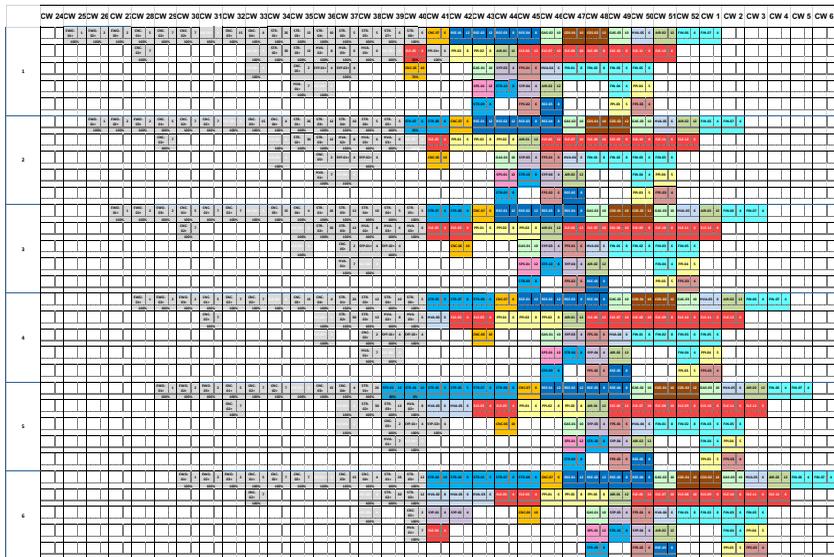


Abbildung 11: Beispiel eines Normtaktplans

Mikroebene

Die Mikroebene ist die unterste und zugleich detaillierteste Stufe des 3-Ebenen-Modells. Sie bildet die tatsächlich ablaufenden Prozesse der Wertschöpfungsebene ab, steuert und überwacht kurzzyklisch die durchgeführten Arbeiten. Sie empfängt Weisungen von der Normebene und gibt Daten und Informationen an die beiden oberen Ebenen weiter. Dabei finden die Detaillierung der Arbeitspakete aus der Normebene auf Arbeitsschritte sowie die

Steuerung der Bautätigkeit statt. Die Taktsteuerung wird durch kurzzyklische Besprechungen geführt. Vergleichbar mit dem *Shopfloor-Management* der stationären Industrie werden Informationen aus den Taktsteuerungsbesprechungen auf einer Taktsteuerungstafel dokumentiert, visuell aufbereitet und gegebenenfalls in Kennzahlen umgewandelt (Binninger u. a. 2016a, S. 7 f.). Der englische Begriff *Shopfloor* kann mit Werkstatt oder Fertigung ins Deutsche übersetzt werden. *Shopfloor-Management* beschreibt also Leitungs- und Führungsaufgaben am Ort der Wertschöpfung (vgl. Peters 2009, S. 217).

2.7 Grundlagen der Taktplanung

2.7.1 Vorbemerkung

In diesem Unterkapitel werden die für die Forschungsarbeit notwendigen Grundlagen zur Methode der Taktplanung beschrieben. Beispiele aus der Praxis ergänzen dabei die theoretischen Erläuterungen.

2.7.2 Grundelemente der Taktplanung

Durch eine Taktung wird das Bauprojekt in kleine räumliche, zeitliche und prozessuale Einheiten zerlegt, die auf die Notwendigkeiten des Bauablaufes abgestimmt und strukturiert sind. Die Dauer von wertschöpfenden Arbeitsinhalten berechnet sich aus Aufwandswerten oder Erfahrungswerten für einzelne Taktbereiche. Es entsteht eine gleichmäßige Produktionsgeschwindigkeit (Friedrich u. a. 2013, S. 43). Diese ermöglicht eine stabile Bauabwicklung. Am Ende des Taktes sollte jedes Gewerk idealerweise seine geplanten Aktivitäten beendet haben. Das Prinzip des Taktes hat die Aufgabe, Abläufe so zu standardisieren und zu systematisieren, dass der Prozess in sich einen stabilen Ablauf besitzt, ohne eine Neuorganisation oder Modifikation zu erfordern. Dabei ist nicht die Optimierung des Systems der erste Schritt, sondern die Stabilisierung und Verstetigung. Auf Grundlage eines stabilen und vorhersagbaren Ablaufes wird eine Optimierung jedoch unterstützt. In der Bauproduktion ist der

Takt keine eindimensionale Einheit. Es handelt sich um das Zusammenspiel verschiedener Dimensionen. Betrachtet man die Komponente genauer, so lassen sich die folgenden drei Dimensionen des Taktes finden:

1. **Die Taktzeit** ist die zeitliche Dimension. Sie ist für alle Takte in einem System gleich oder skalierbar. Sie erzeugt einen gleichmäßigen Rhythmus.
2. **Der Taktprozess** oder der Taktinhalt stellt das Ereignis dar, das im Takt stattfindet. Diese Dimension wird oft mit der Taktzeit verbunden (vgl. Verband für Arbeitsstudien 1985, S. 282).
3. **Die Taktlokation** beschreibt den Platz oder den Ort, an dem dieses Ereignis (Taktprozess) stattfindet.

Die Zeiteinheit (Taktzeit) als zeitliche Dimension ist keinen physikalischen Bedingungen unterworfen, wie es bei den anderen beiden Dimensionen der Fall ist. Die Taktzeit kann daher gut an die jeweiligen Notwendigkeiten angepasst werden. Haghsheno u.a. (2016, S. 7) berechnen die Taktzeit beispielhaft folgendermaßen:

$$Taktzeit = \frac{\text{Arbeitsinhalt Taktbereich [m2]} * \text{Aufwandswert [h/m2]}}{\text{Anzahl Mitarbeiter}}$$

Formel 2: Formel für die Taktzeit

Die Definition der Größe der Taktzeit kann auf den Taktbereich oder die Arbeiten in einem Takt Einfluss haben. Mit einer Vergrößerung der Taktzeit steigt die Möglichkeit, größere Flächen/Räume innerhalb des Taktes zu bearbeiten. Bei einer Verkleinerung der Taktzeit werden die zu bearbeitenden Taktbereiche hingegen kleiner oder die Arbeitskapazitäten erhöht. Durch eine feste Größe der kleinsten räumlichen Einheiten ist die Taktzeit stufenweise skalierbar. Neben dem Takt sollten auch die Übergabezeiten als Puffer zwischen den einzelnen Operationen betrachtet werden. Übergabezeiten sind die Übergabeintervalle zwischen den Gewerken einzelner Takte, diese Intervalle dienen der Vorbereitung auf den neuen Arbeitsbereich. Sie sind mit den Rüstzeiten in der Produktion vergleichbar. Rüstzeit ist Zeit, die benötigt wird, um Maschinen für eine neue Produktionsvariante umzurüsten. Als Taktzeit ist aktuell in

der Praxis die Arbeitswoche (5 Arbeitstage) oder die Halbwoche (2,5 Arbeitstage) gängig. Projekte mit einer Tagestaktzeit, einer Halbtagestaktzeit, bis zu einer Stundentaktzeit (vgl. Dlouhy u. a. 2017a) haben sich aber auch als machbar und umsetzbar erwiesen.

Die Lokationseinheit (Taktbereich) ist eine logische räumliche Abgrenzung, die abhängig von der verfügbaren Taktzeit ist. Um den Taktbereich definieren zu können, muss das Bauwerk nach räumlichen, inhaltlichen und zeitlichen Faktoren untersucht werden. Ein Bauwerk kann aus mehreren unterschiedlichen Bereichen unterschiedlicher Werterstellung (Funktionsbereiche) bestehen und eine differenzierte Funktion ausüben (z. B. die Funktion Wohnräume). Ein Funktionsbereich entspricht damit einem räumlich abgegrenzten Bereich, der nach funktionell gleichen Aspekten gegliedert ist. Diese Einteilung sollte vorgenommen werden, da Handlungen in unterschiedlichen Funktionsbereichen eine andere Prozesslogik und andere Quantitäten voraussetzen (Frandsen u. a. 2015, S. 5).

Der Taktbereich stellt den Ort der Wertschöpfung im Bauwesen (die Fläche bzw. den Raum eines Bauwerkes) dar. Die Möglichkeiten der Einteilung werden durch einen wiederholbaren Grundriss vereinfacht. Abbildung 12 zeigt eine wiederholbare Struktur und die darin definierten Taktbereiche. Bei Arbeiten im Rohbau, an der Fassade oder in Steigschächten findet eine vertikale oder räumliche Zuordnung statt. Die Ermittlung dieser Raumgrößen erfolgt durch unterschiedliche Ansätze. Ein Ansatz ist die Integration der Gewerke in die Taktbereichsentscheidung (vgl. Tommelein 2017, S. 750 f.); (vgl. Binninger u. a. 2017a, S. 608 ff.). Einen weiteren Ansatz stellt die Festlegung der Bereiche durch geometrische Formen und Abtrennung im Gebäude (vgl. Friedrich u. a. 2013, S. 49) dar. Allgemein sind unterschiedliche Perspektiven und Aspekte für die Festlegung der Taktbereiche zu beachten und zu gewichten:

- Raum wird für den besten Nutzen der Wertschöpfungserbringung festgelegt (arbeitsinhaltoptimierend);
- Raum enthält immer den gleichen Anteil an Arbeitsinhalten (prozessstabilisierend);
- Raum wird nach Dringlichkeit priorisiert (kundenwertpriorisierend);

- Raum wird in Rohbau-, Ausbau-, Fassadeneinheiten unterteilt oder Raum wird in eine gemeinsame Einheit für Rohbau, Ausbau und Fassade unterteilt.

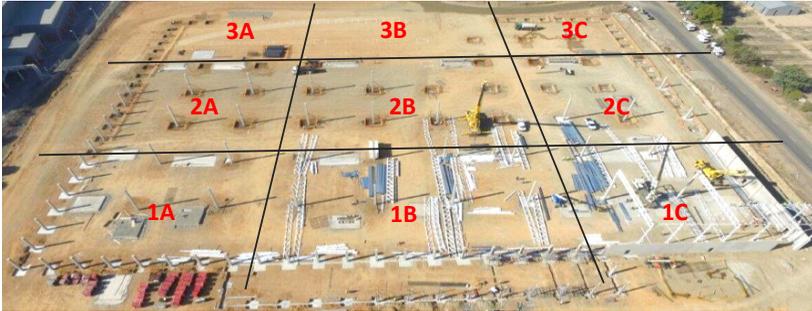


Abbildung 12: Taktbereiche im Stahlbau einer Produktionshalle

Die Wertschöpfungseinheit (Taktprozess) wird immer an einem bestimmten Ort (Taktbereich) und in einer bestimmten Zeit (Taktzeit) erbracht. Dabei teilt man in wiederholbare, abhängige Arbeiten (Gewerkesequenz, Gewerkezug) und losgelöste Arbeiten (*Workable Backlogs* oder Pufferarbeitspakete) ein. Die wiederholbaren und abhängigen Arbeiten werden getaktet. Die Arbeitsinhalte werden als gewerkeabhängige Arbeitspakete in eine Arbeitsabfolge gebracht. Die Detailtiefe dieser Arbeitsinhalte variiert bei den unterschiedlichen Ansätzen und Projekten. Die Arbeitspakete bestehen in einer detaillierten Planung aus Arbeitsschritten (Binniger u. a. 2017a, S. 608 ff.) mit berechneten Aufwandswerten. Beim Erstellen der Gewerkesequenz aus den Arbeitspaketen heraus müssen Abhängigkeiten und Einschränkungen zwischen Ressourcen, der Technik, dem Platzbedarf und den Verträgen betrachtet werden. In der weiteren Arbeit werden die Arbeitsinhalte als Arbeitsschritte, Arbeitspakete oder – zusammengefasst in einem Taktbereich zu einer bestimmten Taktzeit – als Waggons beschrieben. Auf das 3-Ebenen-Modell bezogen, handelt es sich bei einem Wagon um die Wertschöpfungseinheit der Makroebene, bei dem Arbeitspaket um die Wertschöpfungseinheit der Normebene und beim Arbeitsschritt um die Wertschöpfungseinheit der Mikroebene (siehe Abbildung 9).

2.7.3 Visualisierung von Takt

Getaktete Prozesse werden normalerweise in Form eines Liniendiagramms, als Zyklusgramm, dargestellt (vgl. Berner u. a. 2013, S. 47 ff.). Die Visualisierung der drei Dimensionen des Taktes lässt sich jedoch vereinfacht in einer speziellen Darstellungsform eines Ort-Zeit-Diagramms realisieren. Diese Form ist aus einigen Taktplanungsansätzen bekannt und wird in der Praxis angewendet. Abbildung 13 zeigt eine Form des Zyklusgramms mit Beschreibung.

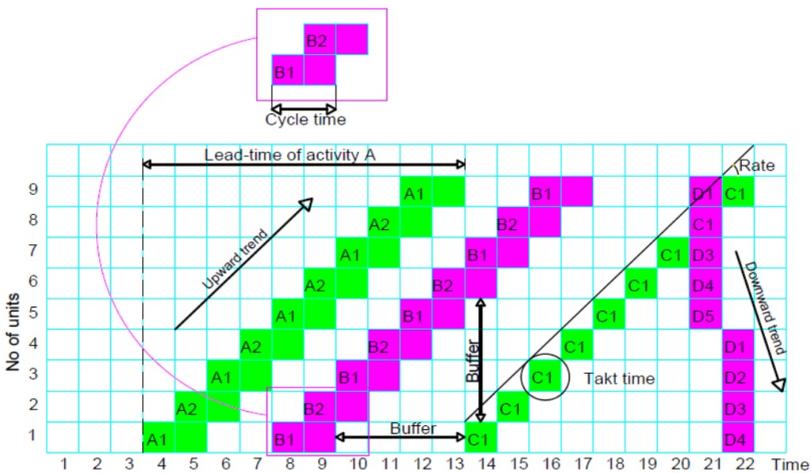


Abbildung 13: Ablesbare Informationen im Zyklusgramm nach Moura u. a. (2014, S. 41)

Es existieren unterschiedliche Benennungen von Taktterminplänen. Sie sind als SIPS (vgl. Horman u. a. 2003), Produktionsterminplan (Frandsen u. a. 2013, S.1), Line of Balance und Taktplan (Haghsheno u. a. 2016, S. 60) beschrieben. Haghsheno u.a. (2016, S. 59) beschreiben die Darstellung als Taktplan als wesentlichen Faktor für die Transparenz der Prozesse. Die Darstellungsform veranschaulicht die drei Dimensionen des Taktes auf klar beschriebenen Achsen. Der Taktplan in Abbildung 14 beschreibt auf der y-Achse die Taktlokation und auf der x-Achse die Taktzeit.

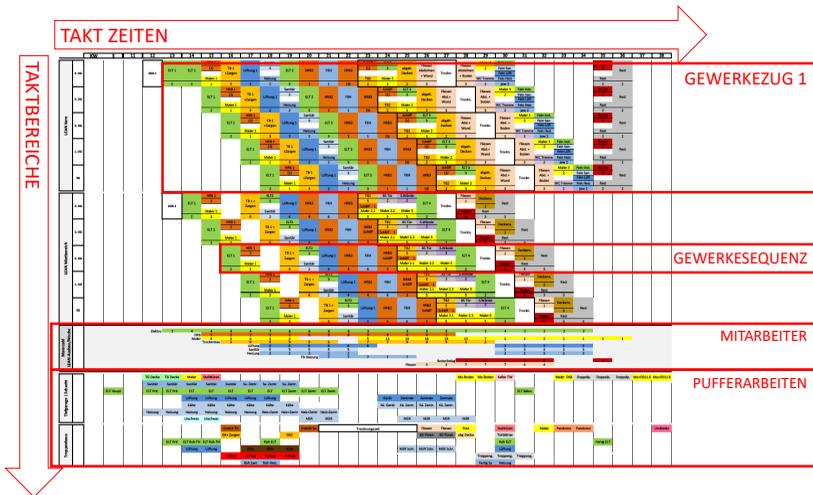


Abbildung 14: Taktplan (Haghsheno u. a. 2016, S. 60)

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird eine vereinfachte Darstellungsform des Taktplanes genutzt, wie in Abbildung 15 dargestellt. Die wesentlichen Informationen eines Taktplanes bleiben erhalten.

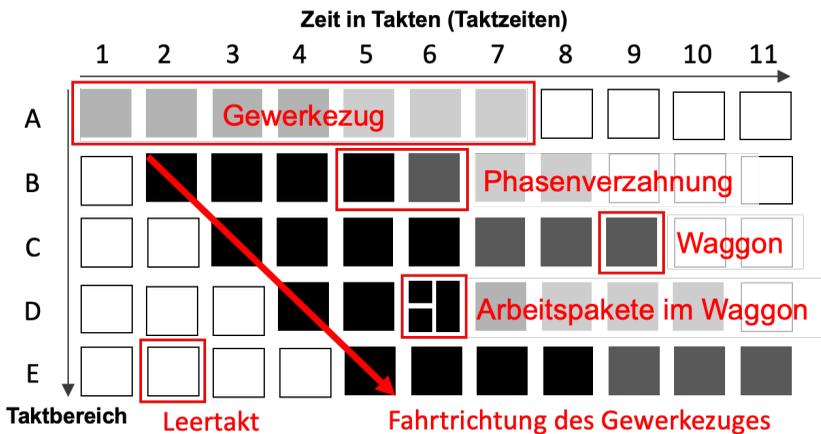


Abbildung 15: Taktplan Piktogramm

2.7.4 Berechnung des Taktes

Der Takt bildet die Beschaffungsrate und die Kaufrate des Kunden ab (Frandsen u. a. 2013, S. 527). Der vom Kunden definierte Output wird durch eine entsprechende Kaufrate (Kundentakt) und eine Losgröße ermöglicht (Haghs-heno u. a. 2016, S. 56). Die Losgröße entspricht im Bauprozess einer Teilflächenübergabefläche oder einem Taktbereich. Die Größe von Losgrößen und damit von Takten wird im Normalfall berechnet. Das Taktsystem wird auch als „Zwangantriebssystem“ bezeichnet (Takeda 1996, S. 78). Es definiert in Bauprojekten die Geschwindigkeit sowie die Abstände der Arbeiten untereinander. Je größer die Taktzeit, desto größer ist die verfügbare Bearbeitungszeit einer Tätigkeit in einem Taktbereich. Der Baustellentakt wird durch die vorhandene Bauzeit und die Anzahl der zu erstellenden Taktbereiche definiert. Die Berechnung der Taktzeit wurde bereits in Formel 2 beschrieben. Bei Baustellen mit einer gleichartigen Bautätigkeit (Gewerkezug), wie etwa bei bestimmten Tiefbaumaßnahmen, kann der Baustellentakt z. B. an der zu verlegenden Rohrlänge in einem bestimmten Rohrabschnitt ermittelt werden (Kaiser und Zikas 2009, S. 292). Formel 3 fasst die Berechnung zusammen:

$$TT_R = \frac{T_C}{M_P}$$

TT_R: Taktzeit Rohrabschnitt
 T_C: verfügbare Bauzeit
 M_P: Länge Rohr zu verlegen

Formel 3: Baustellentakt am Beispiel Rohrabschnitt

Um einen gleichmäßigen Fluss im Bauablauf zu erhalten, gilt eine gewählte Taktzeit für alle Taktbereiche. Die Berechnung der Durchlaufzeit der Losgröße (z. B. Taktbereich) ermittelt sich durch die Addition aller Taktzeiten mit Arbeitsinhalten (Waggons) in dem betrachteten Taktbereich. In Formel 4 wird die Durchlaufzeit allgemein dargestellt:

$$L_a = W_a \times TT_a$$

L_a: Durchlaufzeit Taktbereich a
 W_a: Anzahl Waggons Taktbereich a
 TT_a: Taktzeit Taktbereich a

Formel 4: Durchlaufzeit eines Taktbereiches

Die Gesamtdurchlaufzeit einer gleichartigen Bautätigkeit (Gewerkezug) berechnet sich aus der Summe der Arbeitseinheiten eines Taktbereiches (a), auch Waggons genannt, und der Anzahl der Taktbereiche (A_{train}). Hierbei muss die Subtraktion von einem Taktbereich für den ersten Starttaktbereich vorgenommen werden, da dieser nach dem Durchlauf aller Waggons bereits fertiggestellt ist. In jeder weiteren Taktzeit wird jeweils ein weiterer Taktbereich fertiggestellt. Formel 5 beschreibt diese Berechnung:

$$L_{train} = (W_a + A_{train} - 1) \times TT_{train}$$

L_{train}: Durchlaufzeit Gewerkezug
 W_a: Anzahl Waggons Taktbereich a
 A_{train}: Anzahl Taktbereiche Gewerkezug
 TT_{train}: Taktzeit Gewerkezug

Formel 5: Gesamtdurchlaufzeit eines Gewerkezugs

Die Berechnung innerhalb der Waggons hat das Ziel, die Gewerke ideal auszulasten. Diese sollten hierfür durchgängig mit Arbeiten versorgt sein. Für die Berechnung der Auslastung (RU_{tot}) beschreiben Binninger u.a. (2016b, S. 57) in Formel 6:

$$RU_{tot} = \frac{\sum_1^n (RU_x \times cs_x)}{\sum_1^n cs_x}$$

x: Anzahl der Arbeitspakete (1, ..., n)
 RU_{tot}: totaler Auslastungsfaktor der Gewerke im Produktionsprozess
 RU_x: Auslastungsfaktor eines Arbeitspaketes
 cs_x: Mitarbeiter pro Arbeitspaket

Formel 6: Auslastung eines Waggons (Binninger u.a. (2016b, S. 57))

Für die Auslastung eines Arbeitspaketes (RU_x) und die Berechnung der maximalen Befüllung einzelner Arbeitspakete (D_x) in einem Waggon beschreibt Formel 7 (Binninger u. a. 2016b, S. 57) die Berechnung:

$$RU_x = \frac{D_x}{TT} \qquad D_x = \frac{V_x \times p_x}{8 \left[\frac{h}{d} \right] \times cs_x}$$

D_x : durchschnittliche Dauer von Arbeitspaket x [in Tagen]

TT : Taktzeit im Bauprozess [in Tagen]

V_x : Arbeitsvolumen des Arbeitspaketes x

p_x : Aufwandswert [in Std.] von Arbeitspaket x

cs_x : Mitarbeiter des Arbeitspaketes x

Formel 7: Auslastung eines Arbeitspaketes (Binninger u. a. 2016b, S. 57)

Um den Auslastungsgrad der Gewerke in einer Taktzeit zu maximieren, können Harmonisierungsoperationen angewendet werden. Hierfür gibt es zwei maßgebende Operationen. Abbildung 16 zeigt eine solche Harmonisierung. Die linke Grafik beschreibt den nicht harmonisierten Zustand eines Waggons mit vier Arbeitspaketen (x-Achse). Die Horizontallinien zeigen die maximale Befüllung des Waggons, die durch die Taktzeit und den festgelegten schwimmenden Puffer entsteht. Der Begriff *schwimmender Puffer* wurde gewählt, da dieser definierte Puffer in allen Waggons oberhalb der Arbeitspakete „schwimmt“ und dadurch einen Abstand zur Taktzeit definiert. Die Auslegung der Puffergröße ist abhängig von den Projektparametern. Die Taktzeit muss immer oberhalb der maximalen Füllgrenze liegen. Für die maximale Auslastung sollten Arbeitspakete nahe an die maximale Befüllung reichen. Der erste Schritt zur Harmonisierung ist die Bestandsaufnahme der Aufwandswerte in Relation zur Taktzeit und zur maximalen Befüllung (siehe Grafik links in Abbildung 16). Durch mehr Mitarbeiter im Arbeitspaket können die Arbeiten schneller erledigt werden und der Zeitaufwand sinkt (siehe mittlere Grafik in Abbildung 16). Eine zweite mögliche Operation stellt das Zusammenlegen von Arbeitspaketen dar. Bei kleinen Arbeitsumfängen lassen sich die Arbeiten ggf. gemeinsam erledigen. Durch diese Umverteilung wird der Arbeitsaufwand optimiert und nähert sich dem Optimum der maximalen Befüllung (siehe rechte Grafik in Abbildung 16).

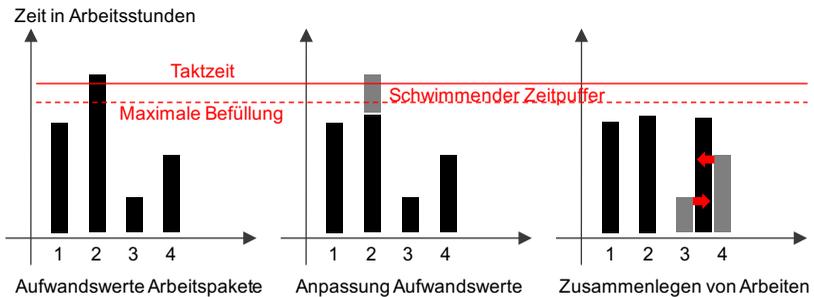


Abbildung 16: Harmonisierung der Arbeitsinhalte im Waggon (Haghsheno u. a. 2016, S. 59)

Die Berechnungen der Waggon und damit der Auslastung der Takte stellt eine entscheidende Größe für die Stabilität und die Effizienz der Taktplanung dar. Durch die passende Berechnung werden Über- und Unterproduktionen innerhalb der Takte vermieden. Das gleichmäßige Arbeiten erzeugt einen kontinuierlichen Fluss der Wertschöpfung durch das Bauprojekt. Der hier entstehende Fluss ist die Übertragung des Fließbandes auf die Baustelle. Für die Erhebung der notwendigen Aufwandswerte können auf bestehende Datensätze von bestehenden Zeitaufnahmen zurückgegriffen werden. Beispielhaft sei hier das REFA Institut genannt.

2.7.5 Taktsteuerung

„Ziel von Steuerungsaktivitäten ist die frühzeitige Reaktion auf Störungen und Abweichungen, um einen möglichst gleichmäßigen Baufortschritt zu erreichen“ (Kaiser 2013, S. 119). Besonders die kurzzyklische Steuerung steht hierbei im Fokus. Kaiser (2013 S. 119) nennt hierbei drei wesentliche Prinzipien:

- **Autonome kurzzyklische Statusbesprechungen** mit den beteiligten Akteuren,
- **Visualisierung des Prozessfortschrittes** gemäß „Andon Boards“ zur Verbesserung der Transparenz,
- **Durchführung am Ort der Wertschöpfung**, unmittelbar in den Fertigungsbereichen auf der Baustelle.

„Andon Boards“ können als Taktsteuerungstafeln bezeichnet werden, die zur Visualisierung und Dokumentation zum Einsatz kommen. Binninger u. a. (2016a, S. 10 ff.) beschreiben fünf Kernelemente der Taktsteuerung: Kommunikation, Visualisierung, Führung, Problemlösung und Kennzahlen.

In dem 3-Ebenen-Modell ist die Taktsteuerung auf der Mikroebene verortet, die bereits in Kapitel 2.6.9 beschrieben wurde.

Kurzzyklische Besprechungen können in Taktstart-/Taktendbesprechungen (zu Beginn und Ende eines Taktes) und Taktstatusbesprechungen (innerhalb eines Taktes) unterteilt werden. Während die Start-/ Endbesprechungen vor allem für die Planung des kommenden Taktes sowie für den Soll-/Ist-Abgleich des abgeschlossenen Taktes stehen, dienen die Statusbesprechungen der Anpassung von Arbeiten, um die Arbeitsziele der aktuellen Taktzeit aller Gewerke zu erreichen. Hierfür werden bei Abweichung von geplanten Arbeiten Maßnahmen ergriffen. Nachfolgend ist in Abbildung 17 ein Muster und in Abbildung 18 ein reales Beispiel einer Taktsteuerungstafel abgebildet.



Abbildung 17: Muster einer Taktsteuerungstafel



Abbildung 18: Praxisbeispiel einer Taktsteuerungstafel

Die Analysen der nachfolgenden Projektstudien beinhalten die Ergebnisse der Taktsteuerung. Eine detaillierte Datenanalyse der Taktsteuerung wurde in der Projektstudie jedoch zurückgestellt, da sich diese Umfänge auf der Mikroebene befinden und sich somit dem Wirkungsbereich und den Optimierungsmöglichkeiten des Bauherrn entziehen.

2.8 Zusammenfassung

In Kapitel 2 wurden unterschiedliche Arten von Bauherren beschrieben. Der Bauherr definiert die Ziele eines Bauvorhabens. Diese sind optimierte Kosten, hohe Qualität und Termintreue. Darüber hinaus hat ein Industriebauherr spezielle Ziele und Anforderungen an seine Produktionsimmobilien. Zeitliche Optimierungen im Aufbau einer Produktion verschaffen dem Produkt einen Wettbewerbsvorteil und längere Laufzeiten durch früheren Marktzugang.

Die moderne Taktplanung im Bauwesen hat eine Historie, die bis in die 1950er Jahre reicht. Die Ansätze und Anwendungen lassen sich überwiegend in der Phase der physischen Wertschöpfung finden. Im Bauwesen ist damit die Realisierungsphase mit ihren Unterstützungsprozessen gemeint. Die Taktung der Baustelle erzeugt hierfür eine bestimmte Art der technischen Strukturierung. Der Bauherr als Mitwirkender im Bauprozess wird in den Taktansätzen aktuell kaum beteiligt. Er wird zwar in einzelnen Ansätzen erwähnt, aber die direkte Mitarbeit an einem getakteten System ist bis dato kaum nachweisbar. Die Wirksamkeit der Anwendung von Taktplanung für Bauherren im Bauwesen ist noch nicht explizit ermittelt worden. Seit dem Jahr 2013 sind immer wieder Anwendungen der Taktplanung wissenschaftlich beschrieben. Dabei handelt es sich jedoch meist nicht um die Erstellung einer eigenen Methode, sondern um eine weitergehende Forschung zu bereits veröffentlichten Ansätzen. Abbildung 19 fasst die beschriebenen Taktansätze aus dem Bauwesen zusammen.

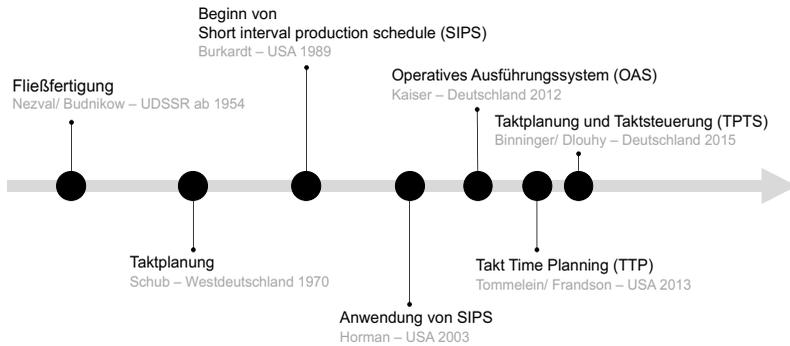


Abbildung 19: Zeitstrahl mit Taktansätzen im Bauwesen

3 Einordnung der Messgröße Termine

3.1 Einleitung

Kapitel 3 befasst sich mit der Analyse der Wirksamkeit der Taktplanung für Industriebauherren. Die Vorteile von Zeitreduzierungen im Industriebau wurden bereits in Kapitel 2.4.3 beschrieben. Es werden die drei Hauptziele von Bauherren (Kosten, Termine und Qualität) im Rahmen einer schriftlichen Befragung betrachtet. Ziel ist hierbei die Untersuchung des Projektzieles Termine in Relation zu den beiden anderen Hauptzielen Kosten und Qualität. Es soll somit überprüft werden, wie sich die Priorisierung der allgemeinen Projektziele von Industriebauherren darstellen und ob die besondere Bedeutung der Messgröße Termine für diese Bauherrengruppe bestätigt werden kann. Nachfolgend werden das methodische Vorgehen der Befragung erläutert und die Ergebnisse dargelegt.

3.2 Methodik und Ergebnisse der Befragung

3.2.1 Methodisches Vorgehen

Die Befragung wurde innerhalb einer Bauherrenorganisation für Industrieimmobilien durchgeführt. In dieser Organisation wurde dem Verfasser die Möglichkeit eingeräumt, eine breit angelegte Befragung vorzunehmen sowie die später im Rahmen der Projektstudie vorgestellten empirischen Untersuchungen anhand von Fallstudien durchzuführen. Die Organisation hat bereits Erfahrung mit der Taktplanung in Bauprojekten. Die Teilnehmer wurden anonymisiert und einzeln mit Hilfe eines Fragebogens befragt.

Auswahl der Befragungsgruppe

Die befragte Zielgruppe umfasst alle am Bauprozess Beteiligten auf Kunden-seite. Es wurde ein Unternehmen mit bestehender Kenntnis und Erfahrung in der Taktplanung ausgewählt.

Auswahl geeigneter Fragetypen

Aufgrund der Zielstellung der Umfrage beziehen sich die zu beantwortenden Hauptfragen auf die Gewichtung der allgemeinen Bauherrenziele. Dies kann über verschiedene Fragetypen erreicht werden:

- **Skalenfrage/Rating:** Dies beschreibt eine Bewertungsskala mit Extremwerten und dazugehörigen Zwischenwerten. Jeder Wert stellt eine Aussage dar. Für jedes Ziel kann diese Bewertung unabhängig durchgeführt werden. Eine gleiche Bewertung mehrerer Ziele ist dadurch gegeben.
- **Ranglisten-Frage:** Bezogen auf die Antwortmöglichkeiten bringt der Befragte die Ziele in eine Reihenfolge. Dabei ist klar festzulegen, welcher Rang eine positive Bewertung erzeugt. Die Beurteilung aller Ziele kann nur in Abhängigkeit zueinander erfolgen. Eine gleiche Bewertung mehrerer Ziele ist nicht möglich.
- **Summenfrage:** Der Befragte kann eine gewisse Menge an Punkten (beispielsweise 100) auf die vorgegebenen Ziele verteilen. Je mehr Punkte ein Ziel erhält, desto größer ist seine Bedeutung in Bezug auf die gestellte Frage.

Für die vorliegende Befragung wurden Ranglisten verwendet, die eine Gewichtung der allgemeinen Bauherrenziele im Verhältnis zueinander erzeugen. Diese Entscheidung basiert auf der Erfahrung mit einer anderen Befragung des Autors, die unter externen Planern und internen Projektverantwortlichen im Vorfeld eines Bauprojekts durchgeführt wurde. Viele Befragte stufen die Gewichtung aller Ziele oft als sehr hoch ein, wodurch die Aussagekraft der Umfrage stark eingeschränkt wurde. Zudem wurden teilweise widersprüchliche Angaben gemacht. Ranglisten-Fragen stellen sicher, dass die Teilnehmer alle Bauherrenziele relativ zueinander abwägen müssen.

Durchführung der Befragung

Die Umfrage wurde von April bis Juni 2017 unter Mitarbeitern der an Bauprojekten beteiligten Abteilungen eines großen deutschen Industriekonzerns durchgeführt. Zielgruppe waren somit die in der Bauherrenorganisation tätigen Akteure. Der Fragebogen konnte handschriftlich oder digital per PDF

ausgefüllt werden. Der Rücklauf erfolgte durch Zurücksenden des digitalen PDFs oder des handschriftlich ausgefüllten Fragebogens. Insgesamt wurden 60 Personen angeschrieben wovon 54 Umfragebögen zurückgesendet und ausgewertet wurden.

Umgang mit Fehlwerten

Aufgrund der umfangreichen Antwortmöglichkeiten in Form von Rangfolgen war insbesondere bei Frage 3 damit zu rechnen, dass einige fehlerhafte Antworten vorhanden sind, die nicht dem geforderten Antwortschema entsprechen. Als ungültig wurden solche Rangfolgen gewertet, die nicht vollständig ausgefüllt wurden oder bei denen unerlaubterweise doppelte Werte vorhanden waren. Diese Angaben wurden wie folgt behandelt:

Bei Frage 3 wurden die ungültigen Rangfolgen (1 bis 3) für den jeweiligen Fragebogen herausgenommen. Die korrekt angegebenen Rangfolgen der übrigen Antworten blieben erhalten. Insgesamt wurden 10 Fragen (3 %) nicht und 25 Fragen (7 %) nur teilweise beantwortet.

3.2.2 Ergebnisse der Befragung

Nachfolgend werden nun die Ergebnisse der Befragung entlang der drei Fragen dargestellt. Eine Auswertung erfolgt später in Kapitel 1.

Frage 1: „Haben Sie bereits Erfahrung mit der Methode der Taktplanung?“

Die Frage dient zur Einordnung der Befragten bezüglich ihrer Erfahrungen mit der Methode der Taktplanung. Gleichzeitig ermöglicht sie es, im Rahmen der Auswertung eine unterschiedliche Perspektive der Gruppen auf die Priorisierung von allgemeinen Projektzielen darzustellen. Es stehen die Antwortmöglichkeiten „ja“ und „nein“ zu Auswahl. Abbildung 20 visualisiert die Ergebnisse grafisch.

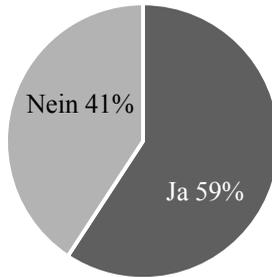


Abbildung 20: Erfahrungen der Befragten mit der Methode Taktplanung

Die Auswertung der Frage hat ergeben, dass 32 Personen Erfahrung mit Taktplanung haben. 22 Teilnehmer haben diese Erfahrung nach eigener Aussage nicht. Damit zeigt sich, dass in dem befragten Unternehmen Erfahrungen mit der Anwendung der Taktplanung auf Bauherrenseite bestehen.

Frage 2: „In welcher Position befinden Sie sich?“

Die zweite Frage ermittelt die Position der Befragten in dem Unternehmen und damit ihre Perspektive auf das Bauprojekt. Die Teilnehmer vertreten unterschiedliche Positionen der Bauherrenorganisation. Für eine Zuordnung der Umfrageergebnisse werden sechs Positionen zur Auswahl gestellt. Die „wir“-Formulierung dient dazu, Interessen der Abteilungen in den Vordergrund zu stellen und subjektive Einschätzungen der Befragten zu reduzieren:

- Wir sind verantwortlich für die Unternehmensstrategie.
- Wir planen das Objekt.
- Wir planen die Bauausführung.
- Wir sind verantwortlich für die Projektdurchführung.
- Wir sind die Nutzer der bereitgestellten (Produktions)-Immobilie.
- Wir betreiben Immobilien oder sind verantwortlich für das Facility-Management.

Abbildung 21 stellt die Ergebnisse der Frage 2 grafisch dar und zeigt die Verteilung im Hinblick auf die Positionen der Befragten.

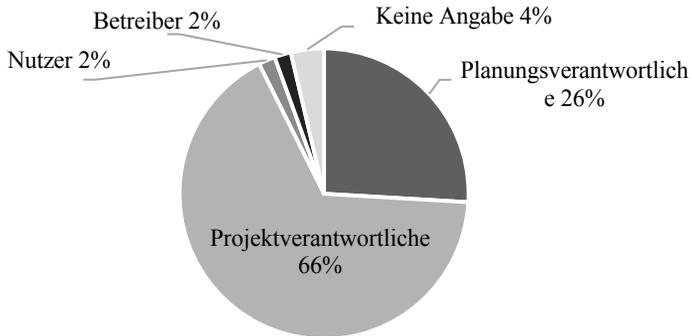


Abbildung 21: Verteilung der Teilnehmer im Hinblick auf ihre Position

Die Teilnehmer setzen sich aus 14 Planungsverantwortlichen, 34 Projektverantwortlichen und 4 Mitarbeitern in sonstigen Positionen zusammen. Die Projektverantwortlichen stellen die Projektleitung und sind nicht gleichzusetzen mit den Planungsverantwortlichen, die nur in der Planungsphase tätig sind. Der größte Anteil der Befragten stammt aus der Gesamtprojektleitung der Bauherrenorganisation. Diese Gruppe hat die Verantwortung für Bauprojekte über den Gesamtzeitraum von der Strategiephase über die Planungsphase bis hin zur Realisierungs- und Übergabephase.

Frage 3: „Bitte legen Sie eine Reihenfolge (1–3) fest, in der Sie Ihren Fokus auf Termine, Kosten und Qualität richten.“

Die Hauptfrage im Rahmen der Befragung geht auf die Hauptzielstellung der Umfrage ein. Es wird die Gewichtung der Ziele im Bauprozess untersucht. Die Bauphasen sollen dabei isoliert und der Bauprozess soll insgesamt untersucht werden. Die Priorisierung wird einmal allgemein und dann in fünf Einzelphasen nach den Ziffern 1 bis 3 erfragt. 1 symbolisiert in dieser Befragung den höchsten Prioritätsrang. Die Ziffer 2 beschreibt die mittlere und die Ziffer 3

die niedrigste Priorität. Nachfolgend sind die zu priorisierenden Phasen des Bauprozesses beschrieben:

- Bauprojekt insgesamt
- Bauprojekt-Initialisierung
- Objektplanung
- Bauausführungsplanung
- Bauausführung
- Inbetriebnahme/Übergabe

Die Befragung gewichtet die Ziele „Kosten“, „Termine“ und „Qualität“ durch Bildung einer Rangfolge für die oben beschriebenen Projektphasen. Eine frühe Nennung in der Rangfolge entspricht einem hohen Gewicht. Insgesamt sind bei drei Zielgrößen sechs verschiedene Ordnungen möglich. Die Ergebnisse der Umfrage unter allen 54 Befragten sind der jeweiligen Projektphase und einer der sechs unterschiedlichen Ordnungen in Tabelle 3 zugeordnet.

Tabelle 3: Absolute Häufigkeit der Nennungen je Ordnung im Hinblick auf die Projektziele

Ordnung	Bauprojekt Insgesamt	Bauprojekt Initialisierung	Objekt- planung	Bauausführ- ungsplanung	Bau- ausführung	Objekt- übergabe
T,K,Q	13	9	4	12	18	5
T,Q,K	5	5	3	7	10	13
K,T,Q	6	11	5	8	5	2
K,Q,T	3	4	5	2	1	0
Q,T,K	14	10	11	10	8	22
Q,K,T	4	8	18	7	3	4

T = Termine K = Kosten Q = Qualität

3.3 Auswertung der Befragung

3.3.1 Vorbemerkung

Die Ergebnisse der Befragung werden nachfolgend analysiert. Die vertiefte Auswertung wird auf die Kategorien „Bauprojekt insgesamt“ und „Bauausführung“ beschränkt, da diese die entscheidenden Ergebnisse für die Forschungsfrage darstellen. Tabelle 4 visualisiert die Ergebnisse der Befragung nach den beiden Kategorien.

3.3.2 Ergebnisse der absoluten Nennungen

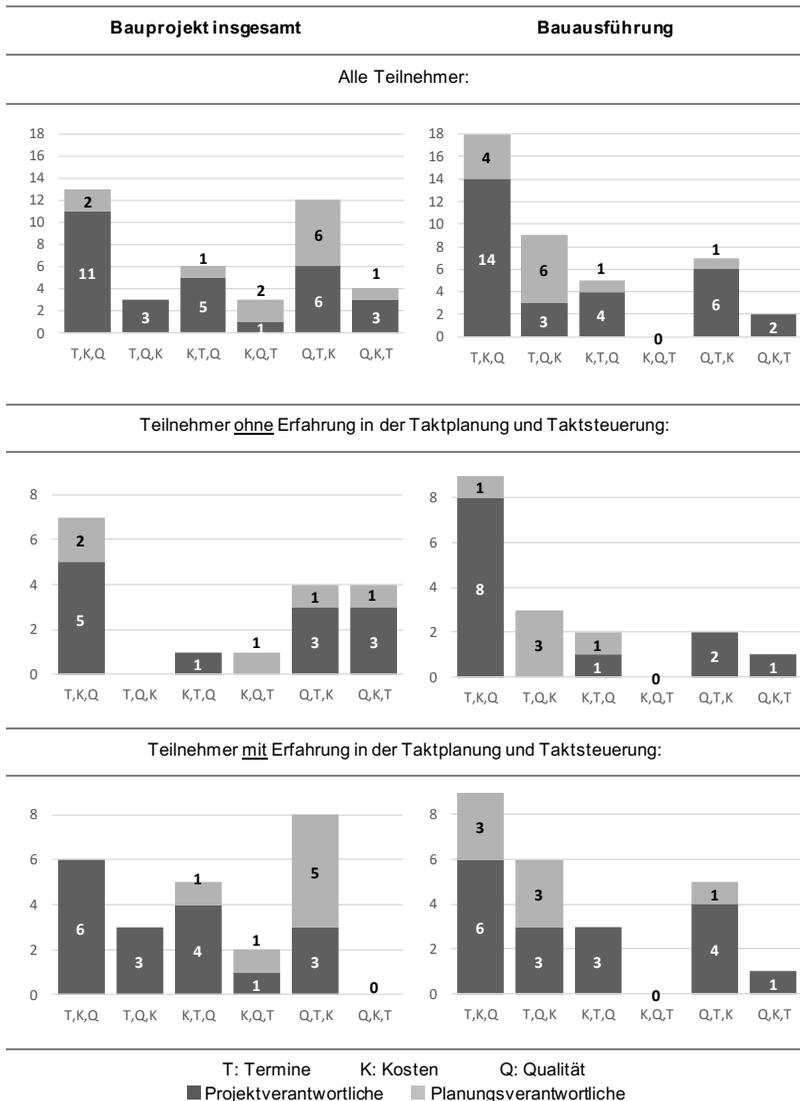
Die Nennung der Ranglisten weist in den verschiedenen Projektphasen ein unterschiedliches Bild auf. In der Kategorie „Bauprojekt insgesamt“ sind zwei Reihenfolgen maßgebend: „Termine, Kosten, Qualität“ sowie „Qualität, Termine, Kosten“. Die Kategorie „Projektinitialisierung“ ist deutlich ausgeglichener. Nennungen in der Objektplanung weisen eine Tendenz zur Qualität der Planungsinhalte auf. In der „Bauausführung“ sind „Termine, Kosten, Qualität“ und „Termine, Qualität, Kosten“ die beiden meistgenannten Rangfolgen. Die Termine werden hier als Hauptpriorität bewertet. Die letzte Kategorie der „Übergabe“ zeigt wiederum eine Priorisierung der Qualität, aber auch einen Anteil an Priorisierung der Termine.

3.3.3 Ergebnisse der gruppenbezogenen Nennungen

In der Kategorie „Bauprojekt insgesamt“ wird von Projektverantwortlichen mehrheitlich die Reihenfolge „Termine, Kosten, Qualität“ genannt. Der Modalwert (häufigste Nennung) der Antworten der Planungsverantwortlichen ist hingegen die Rangfolge „Qualität, Termine, Kosten“. Projektverantwortliche ohne Wissen in der Taktplanung priorisieren sowohl Termine als auch Qualität. Mit dem Wissen über die Takplanung hingegen fokussieren die Projektverantwortlichen die Priorisierung im Bauprojekt insgesamt mehrheitlich auf Termine. Die Priorisierungen in der Kategorie „Bauausführung“ unterscheiden

sich von denen zum „Bauprojekt insgesamt“. In der „Bauausführung“ werden mehrheitlich die Termine als Priorität gesehen. Hingegen werden in der Kategorie „Bauprojekt gesamt“ sowohl Termine als auch Qualitäten gleichmäßig priorisiert. Projektverantwortliche und Planungsverantwortliche ordneten die Termine mehrheitlich dem ersten Rang (27 von 41; 66 %) zu. Kosten und Qualität werden von beiden Zielgruppen unterschiedlich bewertet. Planungsverantwortliche wiesen die Qualität mehrheitlich dem zweiten Rang (Rang 2 oder höher: 7 von 12; 58 %) zu. Die Projektverantwortlichen zeigten eine Priorisierung der Kosten auf Rang 2 (Rang 2 oder höher: 20 von 28; 75 %) gegenüber der Qualität mit Rang 3 (18 von 28; 64 %).

Tabelle 4: Absolute Häufigkeit der Nennungen je Ordnung im Hinblick auf die Projektziele (Differenzierte Betrachtung für zwei Phasenkategorien)



3.3.4 Kritische Betrachtung

Die von 54 Bauherrenvertretern bearbeitete Umfrage sollte die Frage beantworten, welche allgemeinen Bauherrenziele für den Bauprozess bei Produktionsimmobilien eine besonders wichtige Rolle spielen. Eine Gleichbewertung von Zielen war nicht möglich. Die Befragten mussten eine Priorisierung durchführen, die sie in einem funktionierenden Bauprojekt ggf. nicht treffen würden. Es besteht dahingehend ein Kritikpunkt, dass eine Priorisierung immer den Einzelwert bewertet, aber nie das Zusammenspiel der Ziele als Ganzes. Die Priorisierung findet meist bei Projekten in „Schieflage“ statt. Ziel des Einsatzes der Taktplanung ist es jedoch nicht, krankende Projekte zu „retten“, sondern Projekte methodisch richtig aufzusetzen und nach den Kundenwünschen zu optimieren.

Die Befragung fand nur im Zusammenhang mit den Zielen für Produktionsimmobilien in einem bestimmten Industrieunternehmen statt. Die Ergebnisse können in einer anderen Immobilienkategorie oder in einer anderen Bauherrenorganisation differenziert ausfallen. Befragt wurden maßgeblich Experten innerhalb des Bauprozesses. Nur wenige Teilnehmer waren Nutzer oder Betreiber. Die Priorisierung kann unter einer anderen Teilnehmerverteilung (innerhalb einer Bauherrenorganisation) auch deutlich andere Priorisierungen erzeugen.

3.3.5 Bestätigung der Messgröße Termine

In der Anwendung der Taktplanung in Bauprojekten nehmen die Zeit und damit die Termine eine signifikante Rolle ein. Ein Hauptgrund hierfür sind die in Kapitel 2.7 erwähnte zyklische Einteilung der Zeit in die Taktzeit und deren systematische Bindung an die Dimensionen der Örtlichkeit (Taktlokation) und Wertschöpfung (Taktprozess). Einige Quellen (Kaiser 2013, S. 149; Frandson u. a. 2013 S. 527) beschreiben die Möglichkeit einer Zeitreduzierung durch den Einsatz von Taktplanung. Das entspricht einer zeitlichen Wirkung der Methode an sich. Wirksamkeit kann für diese Methode jedoch nur bestehen, wenn die Zeit auch für den zu betrachtenden Fall einen nachweisbaren Wert bildet,

in diesem Fall für den Bauherrn. Durch die Befragung in diesem Kapitel wird die Priorisierung des Ziels Termine in den Bauprojekten gesamthaft, aber besonders in der Bauausführungsphase untermauert. Da diese Phase den Wirkungsbereich der Taktplanung definiert, sollten daher die Zeit und damit die Termine in der Bauphase als Messeinheit für die Wirksamkeit der Taktplanung aus Bauherrenperspektive herangezogen werden.

3.3.6 Einordnung der Messgröße Termine

Die Normierung der Zeit in einem hexametrischen numerischen System hat menschlichen Ursprung. Sie ist nicht direkt an ein Produkt oder einen anderen Faktor gebunden. Die Zeit und im Weiteren auch Termine werden für die Darstellung der Werterstellung und für den Ablauf eines Bauprojektes benötigt. Alle Elemente eines Bauprozesses müssen in Relation zur Zeit bewertet werden. Zeit ist jedoch auch an alle Werte des Bauablaufes gebunden. Die Termineinhaltung ermöglicht, dass zusätzliche ungeplante Kosten vermieden werden. Verzögerungen im Bauprozess gehören zu den häufigsten, komplexesten, risikoreichsten und teuersten Problemen (vgl. Alaghbari 2007, S. 193). Darüber hinaus zeigt sich, dass eine Einhaltung von Terminen dazu beiträgt, Kosten und Qualität zu kontrollieren (Bowen u.a. 2012, S. 48). Die Einhaltung von Terminen bedingt alle allgemeinen Bauherrenziele. Jedoch lässt eine Unterschreitung oder Optimierung von Terminen nicht zwangsläufig Rückschlüsse auf eine Verbesserung der Bauherrenziele zu. Wie in Kapitel 2.3.3 beschrieben, wird in der Theorie davon ausgegangen, dass sich die allgemeinen Ziele in einem wirkungsabhängigen Gleichgewicht befinden (vgl. Wollensak 2013, S. 46 ff.). Durch eine Reduzierung der Termine können daher negative Auswirkungen auf die Qualität oder die Kosten des Projektes entstehen.

Die bis dato erwähnten Zeitreduzierungen der Taktplanung in der Literatur beschreiben keine negativen Abhängigkeiten zu anderen Zielgrößen des Bauherren, wie beispielsweise Kostensteigerungen oder Qualitätsminderungen (vgl. Kaiser 2013, S. 149); (vgl. Frandson u. a. 2013, S. 527). Die durch die Taktplanung erzeugten Zeitreduzierungen sind aktuell in der Literatur noch nicht umfassend analysiert.

3.4 Zusammenfassung

Kapitel 3 befasst sich mit der Beschreibung und Prüfung der Messgröße Termine. Diese Größe soll für die Untersuchung der Wirksamkeit der Taktplanung für Bauherren herangezogen werden. Hierfür wurde in diesem Kapitel über eine schriftliche Befragung in einer Bauherrenorganisation die These untermauert, dass das Bauherrenziel Termine im Allgemeinen, aber auch insbesondere in der Bauphase für den Bauherren bedeutend ist.

Für die Messung des Erfolges der Taktplanung in den Projektstudien werden daher die zeitlichen Reduzierungen der Projektdurchlaufzeit analysiert und bewertet. In dieser Forschungsarbeit wird der Fokus somit auf die Wirksamkeit der Taktplanung im Hinblick auf die Termine gelegt. Wie in der Umfrage dargestellt, existieren neben der Messgröße Termine weitere Größen, die zur Wirksamkeit der Bauherrenziele beitragen können.

4 Beschreibung des Untersuchungsprogramms

4.1 Einleitung

Der Einfluss der Taktplanung auf das Kundenziel Termine soll im Rahmen einer Projektstudie mittels Fallstudien analysiert werden. Im folgenden Kapitel werden die Auswahl der Projekte sowie die methodische Vorgehensweise zur Analyse innerhalb der Projektstudie beschrieben. Ziel des Kapitels ist die Erstellung von Auswahlkriterien und die Herleitung eines Untersuchungsprogramms für die Projektstudie.

4.2 Methodisches Vorgehen in der Projektstudie

Die Projektstudie untersucht die Anwendung der Taktplanung unter realen Bedingungen. Dabei eignet sich die gewählte Art der Datenermittlung vor allem für die Beantwortung der Fragen „wie?“ und „warum?“ (Yin 2009, S. 7). Im Vergleich zu anderen quantitativen Forschungstechniken wird sie als ein ganzheitlicher Ansatz mit einer oder mehreren Methoden zur Erforschung einer Einheit (z. B. Person, Gruppe, Organisation) mit ihren Entwicklungen, Prozessabläufen und Ursachen-Wirkungs-Zusammenhängen gesehen (vgl. Yin 2009). Durch die detaillierten Informationen bietet sie die Grundlage für weitere Rechercharbeiten und eröffnet durch die multiple Fallbetrachtung unterschiedliche Anwendungsmöglichkeiten (Yin 2009, S. 14 f.). Yin (2009, S. 48 ff.) empfiehlt ein Vorgehen in sechs Schritten: (1) Zunächst muss die Forschungsfrage definiert werden, (2) dann müssen die Fallbeispiele ausgewählt, die Analysetechniken erarbeitet und (3) es muss die Datensammlung vorbereitet werden. Im Anschluss (4) folgen die eigentliche Datenerhebung, (5) das Interpretieren und Analysieren der Daten und (6) schließlich die Veröffentlichung und Anwendung der Ergebnisse (siehe Abbildung 22).

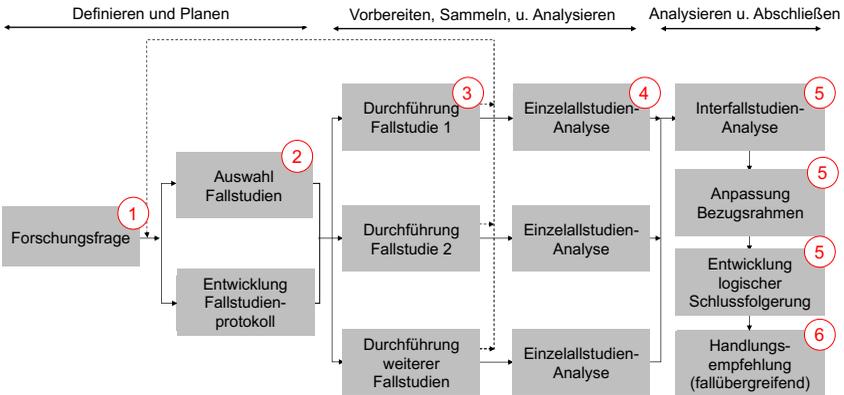


Abbildung 22: Ablaufplan Projektstudie (nach Yin 2009, S. 49)

Die Projektstudie dient dabei der Plausibilisierung von definierten Aussagen bzw. Fragestellungen (vgl. Kaiser 2014, S. 1 ff.). Es empfiehlt sich, für eine detaillierte Antwort eine Kombination mehrerer Datenerhebungsmethoden, wie beispielsweise die Befragung (persönliches Interview, Telefoninterview, schriftliche Befragung), die Beobachtung (direkt oder teilnehmend) und die Inhaltsanalyse (Dokumente, Archivdatensätze), zu nutzen (vgl. Albers u. a. 2009).

Wie in Kapitel 2.6 ausgeführt, existieren unterschiedliche Anwendungen des Taktprinzips im Bauwesen. Im folgenden Unterkapitel wird die Auswahl der für die Projektstudie eingesetzten Taktplanungsmethode beschrieben.

4.3 Auswahl von Projekten

4.3.1 Bestimmung der Auswahlkriterien

Damit die Ergebnisse der Projektstudie trotz unterschiedlicher Inhalte vergleichbar werden, kommt ein definierter methodischer Ansatz der Taktplanung

in der Studie zum Einsatz. Hierfür wird besonders darauf geachtet, alle notwendigen Beteiligten der Ausführungsphase in der Taktplanung zu berücksichtigen.

„Ein guter Plan ist einer, den alle Beteiligten ausreichend zuverlässig als Basis für ihre Entscheidungen nutzen können“ (Cohn 2005, S. 8). Die Auswahl des Taktansatzes geht auf folgende Kriterien zurück:

1. Der genutzte Ansatz weist eine Integration und Berücksichtigung des Bauherrn auf.
2. Es sind Projektanwendungen in Deutschland, aber auch im Ausland.
3. Der Ansatz ist wissenschaftlich umfangreich definiert und beschrieben.

4.3.2 Auswahl des Taktansatzes

Aus der historischen Entwicklung der Taktplanung in Kapitel 2.6 lassen sich mehrere Beobachtungen ableiten. Die Nutzung des Taktes ist in Grundzügen in allen beschriebenen Ansätzen vergleichbar. Es sind immer die drei Dimensionen Taktzeit, Taktlokation und der Taktprozess (Kapitel 2.6) zu beobachten. Die Taktplanung stellt in allen bekannten Vorgehensweisen die Basis für die Anwendung. Dabei unterscheiden sich die Aufteilung der Grundflächen und die Taktzeiten geringfügig und immer mit Bezug auf die getakteten Gebäudebereiche. Die Taktsteuerung erscheint explizit nur vereinzelt. Die Beschreibungen sind bis auf das OAS und die daraus resultierende TPTS nur reduziert dokumentiert. Kaiser (2013, S. 119 ff.) beschreibt mit der kurzzyklischen Taktsteuerung notwendige Besprechungen der Projektbeteiligten und Visualisierungswerkzeuge auf der Baustelle.

Die Art der Bauprojekte, die in der Praxis mit Takt erstellt wurden, umfasst eine Bandbreite vom Hochbau bis zum Infrastrukturbau. Die meisten Anwendungen sind jedoch im Hochbau zu finden. Alle analysierten Ansätze lassen sich in ihrer Anwendung der Baurealisierungsphase zuordnen. Die älteren Ansätze priorisieren verstärkt die Rohbautaktung. Neuere Anwendungen sind auch auf den Ausbau fokussiert. Es liegt die Vermutung nahe, dass diese

Verschiebung den entstandenen Komplexitäten des Ausbaus durch die fortschreitende Technisierung des Innenraums moderner Gebäude geschuldet ist.

Der Kunde wird als maßgebender Takteinfluss in einzelnen Ansätzen erwähnt, jedoch ist keine Interaktion zwischen den Kundenzielen und der Taktung beschrieben. Einzig der Ansatz der Taktplanung und Taktsteuerung (TPTS) und des dabei angewendeten 3-Ebenen-Modells (vgl. Dlouhy u. a. 2016) formuliert eine direkte Interaktion zwischen dem Kunden und den Baustellenprozessen während der Bauausführung und beschreibt daraus resultierende Vorteile für den Kunden sowie für die ausführenden Unternehmen.

Der ausgewählte Ansatz entspricht der TPTS des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) in Kombination mit Nutzung des 3-Ebenen-Modells. Durch das 3-Ebenen-Modell und seine Makroebene ist sichergestellt, dass der Bauherr in der Anwendung berücksichtigt und integriert ist. Der Ansatz wurde in Deutschland in über 50 Projekten und international in über 10 Projekten praktiziert. Die TPTS geht auf das OAS (vgl. Kaiser 2013) zurück und wurde in mehr als drei wissenschaftliche Publikationen veröffentlicht (Haghsheno u. a. 2016), (Dlouhy u. a. 2016), (Binniger u. a. 2017a).

Das ausgewählte System der Taktplanung und Taktsteuerung stellt einen ganzheitlichen Ansatz für Baustellenproduktionssysteme dar und ist für alle am Bauprozess Beteiligten anwendbar und optimierbar. Die Analyse der Projektstudien beschränkt sich in dieser Arbeit auf die direkte Wirksamkeit der Taktplanung im Hinblick auf die Projektdurchlaufzeit. Die erhobenen Daten werden maßgeblich der Makroebene und vereinzelt der Normebene entnommen. Die tatsächliche Wertschöpfung (Mikroebene) wird dabei nicht direkt verändert. Die ermittelten zeitlichen Effekte lassen sich daher besser der Bauherrn- und Projektorganisation zuordnen. Verbesserte und stabilisierende Einwirkungen auf die direkte Wertschöpfung und damit Einfluss auf die zeitlichen Effekte durch die Anwendung der TPTS sind jedoch nicht auszuschließen.

4.3.3 Kriterien für die Auswahl von Projekten

Kriterien bilden die Grundlage für die Auswahl passender Projekte. In der hier beschriebenen Projektstudie bilden die Nutzung des definierten Taktansatzes und die Erfüllung der Kernkriterien die Grundbedingung für die Auswahl von Projekten. Die erweiterten Kriterien differenzieren den Einsatz der Taktplanung in den einzelnen Projekten.

In Abbildung 23 sind die vier Kernkriterien und drei erweiterte Kriterien beschrieben. Die Kriterien werden in den Projektbeschreibungen in Kapitel 5 dokumentiert. Zu den Kernkriterien gehören die Durchführung von Taktplanungsbesprechungen, Durchführung von Taktsteuerungsbesprechungen, die Erstellung eines Taktplanes (Makro- oder Normebene) und die Nutzung einer Taktsteuerungstafel auf der Baustelle. Die erweiterten Kriterien sind vertragliche Festlegung der Taktplanung zwischen Bauherr und ausführendem Bauunternehmen, die externe Unterstützung durch Berater, sowie der Startpunkt der Implementierung der Taktplanung.

<input checked="" type="checkbox"/> Ja 1x	<input type="checkbox"/>	Taktplanungsbesprechungen (pro Woche)	Kernkriterien der TPTS Anwendung
<input checked="" type="checkbox"/> Ja 5x	<input type="checkbox"/>	Taktsteuerungsbesprechungen (pro Woche)	
<input checked="" type="checkbox"/> Norm	<input type="checkbox"/>	Taktplan (Makro / Norm)	
<input checked="" type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/>	Taktsteuerungstafel genutzt	Erweiterte Kriterien der TPTS Anwendung
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Nein	Vertrag TPTS (Bauherr / Auftragnehmer)	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Nein	Externe Unterstützung TPTS	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> nach	Implementierung TPTS (vor / nach Vertrag)	

Abbildung 23: Kriterien zur Dokumentation der TPTS

4.4 Aufbau der Projektstudie

4.4.1 Auswahl der Projekte

Die Auswahl der Projekte fand für die Untersuchungen dieser Arbeit innerhalb einer Bauherrenorganisation statt. Dabei handelt es sich um einen Industriebauherren aus dem Automobilbau. Die produktionsrelevanten Flächen stellen die für die Automobilproduktion benötigten Gebäudetypen dar. Hierbei handelt es sich neben den Hauptkategorien von Industriegebäuden, wie in Kapitel 2.5 beschrieben, auch teilweise um produktionsrelevante Neben- oder Logistikflächen, da diese Flächen für die reibungslose Automobilproduktion entscheidend sein können. Die folgenden Kriterien waren bei Auswahl der Projektstudien maßgebend:

- Alle Flächen sind ausgewählte produktionsrelevante Flächen für den Industriebauherren.
- Alle Studien betrachten ausschließlich eigene Projekte des Bauherren (keine Investorenprojekte).
- Es kam Taktplanung und Taktsteuerung zum Einsatz, die durch den Bauherren initiiert wurden.
- Taktplanung und Taktsteuerung werden kooperativ vom Bauherren und von ausführenden Unternehmen umgesetzt.
- Alle Formen der Vertragskonstellationen sind möglich (GU, Einzelvergaben, TU usw.).
- Studien werden mit demselben methodischen Taktplanungs- und Taktsteuerungsansatz umgesetzt.
- Studien werden über den gesamten Projektablauf der Realisierungsphase wissenschaftlich analysiert.
- Für jedes Projekt steht ein Projektleiter des Bauherren zur Verfügung.
- Studien können sowohl Umbauprojekte als auch Neubauprojekte betrachten.
- Eine bestimmte Bauweise oder der Einsatz bestimmter Produkte (z. B. Fertigteile usw.) haben keinen Einfluss auf die Projektauswahl.

4.4.2 Vorgehen in den Projekten

Alle für die Studie berücksichtigten Projekte wurden durch den Verfasser dieser Arbeit ausgewählt. Die Implementierung der Taktplanung wurde ebenfalls durch den Autor selbst durchgeführt.

Beginn der Projektstudie

Nach der Auswahl des jeweiligen Projekts wurde mit dem jeweiligen Projektleiter des Bauherrn ein Startgespräch geführt. Die Projektleiter haben sich in den ausgewählten Projekten für den Einsatz der Taktplanung ausgesprochen. In den Gesprächen wurden weitere Implementierungs- und Befähigungsbausteine vereinbart. Die Unterstützung des Topmanagements des Bauherrn wurde im Vorfeld der Auswahl eingeholt und bestätigt. Bei einigen Projekten ist die Anwendung der Taktplanung in den Verträgen der ausführenden Firmen vorgeschrieben und in den Bietergesprächen besprochen.

Implementierung der Taktplanung

Nach Beauftragung der ausführenden Firmen wurden Workshops mit allen Beteiligten angesetzt. Der Workshop zur Planung bestand aus einem zweitägigen Programm. Der erste Tag beinhaltete eine Spielsimulation, die in drei Runden den Beteiligten das Wissen und die Sinnhaftigkeit der neuen Methode näherbringen sollte. Der zweite Tag bestand in der Übertragung des erlernten Wissens auf das eigene Projekt. Hier wurden durch die erste Taktplanung der Taktplanzeitraum und der Planzeitraum für die Teilflächen definiert. In einem zweiten eintägigen Workshop wurden die Projektbeteiligten in der Anwendung der Taktsteuerung geschult.

Durchführung der Projekte

Während der Durchführung des Projektes wurde das Projektteam weiterhin bei der Umsetzung der Taktplanungsmethode durch den Verfasser unterstützt. Die Unterstützung beinhaltete die Anpassung der Taktplanung wie auch die praktische Umsetzung der Taktsteuerungsbesprechungen. Während der gesamten Projektlaufzeit wurden durch den Verfasser Daten erhoben und Beobachtungen dokumentiert. Diese Daten werden in Kapitel 4.5 beschrieben.

Abschluss der Projektstudie

Mit Übergabe des Bauvorhabens an den Kunden war das jeweilige Projekt abgeschlossen. Die Datensätze wurden von dem Projektleiter des Bauherrn bestätigt und freigegeben. Im Anschluss fand die Befragung des zuständigen Projektleiters statt.

4.5 Datenerhebung in den Projekten

4.5.1 Vorbemerkung

Für die Analyse der Wirksamkeit werden Datenerhebungen aus den Projekten benötigt. Hierbei wird darauf geachtet, dass Daten in allen Projekten vergleichbar sind. Diese Daten werden in der weiteren Forschungsarbeit als Attribute bezeichnet.

Für die Ermittlung zeitlicher Effekte werden Meilensteine in den Projekten bestimmt und in Relation zueinander gesetzt. Die ermittelten zeitlichen Effekte werden in Zusammenhang mit den erhobenen Projektattributen (allgemeine Projekt-, Takt- und Implementierungsattribute) analysiert.

4.5.2 Erhebung von Zeitattributen

Um die zeitlichen Effekte der Taktplanung zu ermitteln, werden bei allen Projekten zeitliche Meilensteine relativ erfasst. Die Meilensteinmessungen sind so gesetzt, dass die wichtigsten zeitlichen Entwicklungen nachvollziehbar bleiben. Alle Messungen orientieren sich dabei relativ am Vertragszeitraum. Der vor der Einführung der Taktplanung geschlossene Vertrag mit dem Bauunternehmen wird als zeitlicher Vergleichswert zwischen klassischen Umsetzungen und der Anwendung der Taktplanung genutzt. Der Betrachtungsraum der Datenerhebung beschränkt sich auf die Bauausführung. Damit werden nur Daten der Realisierungsphase des Projektes analysiert. Nachfolgend werden in dieser Arbeit die zeitlichen Werte als „zeitliche Attribute“ eines Projektes geführt.

Die beschriebenen Zeiträume werden in Abbildung 24 an einem Taktplanbeispiel zusammengefasst.

Vertragszeitraum: Dies ist der Zeitraum, der vertraglich zwischen dem Bauherrn und den ausführenden Unternehmen bzw. dem Generalunternehmer definiert wurde. Zu diesem Wert stehen alle anderen Messungen in Relation. Er bildet damit in jeder Projektstudie 100 % der Laufzeit ab. Dieser Vertragszeitraum wird vor dem Einsatz der Taktplanung bestimmt.

Taktplanzeitraum (Takt-Planung): Der erste getaktete Terminplan in einer Projektstudie zeigt das zwischen Bauherrn und ausführenden Unternehmen gemeinsam vereinbarte Ziel einer getakteten Baustelle. Dieser Wert stellt den Planwert der Taktung der Projekte dar. Alle identifizierten Zeitpuffer werden an das Ende der Realisierung gesetzt, um gegebenenfalls Verzögerungen aufzufangen. Der Wert orientiert sich an der Fertigstellung und der damit verbundenen Übergabe an den nachfolgenden Anlagenbau oder der Inbetriebnahme der Fläche. Die Inbetriebnahme ist von der zeitlichen Messung ausgenommen. Bei einem Wert von 85 % entspricht die Taktung 85 % des Vertragszeitraumes. Damit befinden sich 15 % Zeitpuffer am Ende des Projektes. Die Zeitpuffer werden nicht durch Reduzierung in der Wertschöpfung erzeugt, sondern durch ein abgestimmtes Puffermanagement. Alle wertschöpfenden Tätigkeiten behalten ihre Aufwandswerte und ihre individuellen Puffer.

Taktrealisierungszeitraum (Takt-Realisierung): Der Taktrealisierungszeitraum stellt die im Projekt tatsächlich realisierte Projektdurchlaufzeit in den Projektstudien dar.

Teilflächenübergabezeitraum (optional): In Projekten wurden teilweise frühzeitige Teilflächenübergaben vereinbart. In der Projektstudie sind diese Zeiträume bis zur Übergabe optional mit aufgenommen, wenn diese vorhanden waren. Dabei werden immer die erste Teilfläche und ihre relative Größe zum Gesamtprojekt ermittelt.

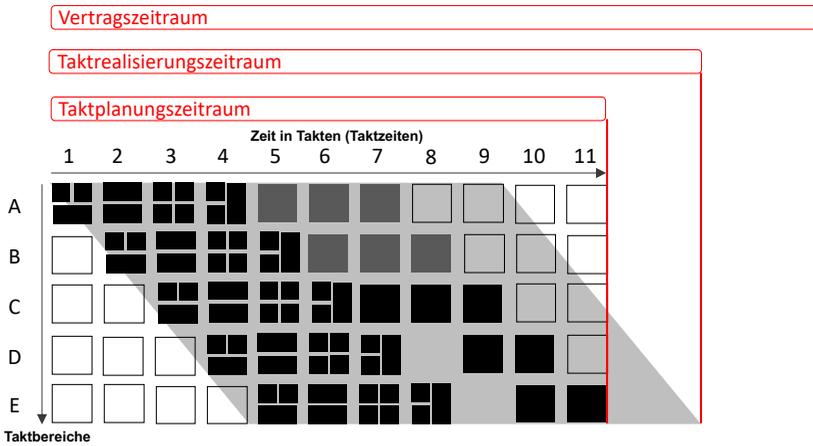


Abbildung 24: Erhebung von Zeiträumen in den Projektstudien

4.5.3 Erhebung der Projektattribute

Aus den ausgewählten Projektstudien werden relevante Attribute erhoben und in der Bearbeitung der dritten Forschungsfrage dieser Arbeit analysiert. Diese teilen sich in drei Gruppen ein.

Allgemeine Projektattribute

Damit Projekte anhand ihrer unterschiedlichen Eigenschaften und Voraussetzungen analysiert werden können, werden allgemeine Projektattribute erhoben. Diese ermöglichen eine allgemeine Einteilung. Es werden folgende Attribute erhoben: Projektlänge (in Wochen), Projektort (Kategorie 1–4 nach Kontinenten), Kosten (Kategorie 1–4 nach € in Millionen), Projekttyp (Art der Immobilie) und Projektgröße (Kategorie 1–4 in m² Bruttogeschossfläche).

Attribute zur Taktplanung

Die Taktattribute bilden die notwendige Datenbasis für die Ermittlung von Verbindungen zwischen den zeitlichen Effekten und dem Einfluss der Faktoren, wie auch von möglichen Korrelationen (Beziehungen). Dafür werden folgende Attribute erhoben: Taktzeit (in Tagen), Größe SRE (in m²), Anzahl

SREs (pro Projekt und Taktbereich), Größe Taktbereich (in SREs und m²), Anzahl Waggons (pro Gewerkezug), Anzahl Züge (pro Projekt), Anzahl Arbeitstakte (pro Projekt und Gewerkezug), Anzahl Puffertakte (pro Projekt), Anzahl Arbeitspakete (pro Projekt und Gewerkezug), Anzahl Taktbereiche (pro Projekt und pro Gewerkezug), Anzahl Funktionsbereiche (pro Projekt), Anzahl Taktbesprechungen (pro Takt) und Anzahl Teilflächenübergaben (pro Projekt).

Attribute zur Implementierung der Taktplanung

Implementierungsattribute spiegeln den Beratungsaufwand und die externe Betreuung in den Projektstudien wider. Da die Taktplanung eine innovative Form der Projektabwicklung darstellt, ist das Wissen noch nicht allgemein verfügbar. Um die unterschiedliche Unterstützung berücksichtigen zu können, werden folgende Attribute in den Projektstudien erhoben: Anzahl der Workshops (pro Projekt), Teilnehmer der Workshops (pro Projekt), Anzahl investierter Beratungsstunden (intern/extern) und Art der Workshops.

4.5.4 Bemessungsgrundlage für die Wirksamkeit im Hinblick auf Termine

Der beschriebene Vertragszeitraum stellt nur dann eine belastbare Referenzgröße für Wirksamkeit der Taktplanung im Hinblick auf die Termine dar, wenn der Durchschnittswert für Projekte ohne den Einsatz der Taktplanung bekannt ist. Ziel soll sein, die durchschnittliche Zielerreichung der Projekte ohne Taktplanung mit der durchschnittlichen Zielerreichung von Projekten mit Taktplanung vergleichbar zu machen. Der Projektdurchschnitt in Prozent aller nicht getakteten Projekte dient hierzu als Basiswert. Zur Ermittlung dieses Basiswertes wurden 210 abgeschlossene Projekte des Bauherrn analysiert. Betrachtet wurde die Abweichung zwischen vertraglich vereinbartem Fertigstellungsdatum und tatsächlichem Fertigstellungsdatum. Abbildung 25 zeigt die Projekte (x-Achse) und deren zeitliche Abweichung in Prozent (y-Achse) ausgehend vom vertraglichen Fertigstellungstermin (100 %). 43 Projekte haben die Vertragslaufzeit unterschritten, 42 Projekte die Vertragslaufzeit

überschritten und 125 Projekte sie exakt eingehalten. Der prozentuale Durchschnittswert aller Projekte liegt bei 110,8 % der Vertragslaufzeit, der Median bei 100,0 %.

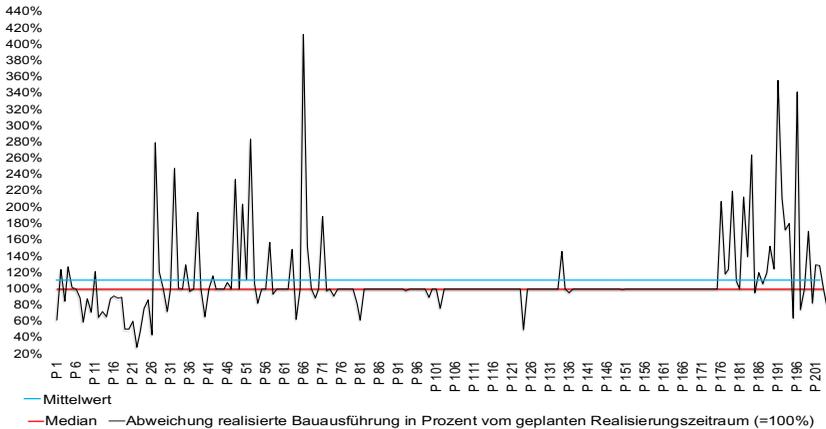


Abbildung 25: Vertragliche Durchlaufzeit von 201 Projekten (x-Achse) ohne Einsatz der Taktplanung im Verhältnis zur Realbauzeit (y-Achse)

Die Gründe für Unterschreitungen und Überschreitungen sind nicht bekannt. Im Allgemeinen bewegen sich die Projekte in den vertraglichen Vereinbarungen. Als allgemeines Mittel wird bei normalen Projekten ohne Taktung angenommen, dass Projekte ihren vertraglichen Rahmen für die Realisierungsphase erfüllen. Die Referenzgröße für die Realisierungsphase von nicht getakteten Bauprojekten wird daher auf 100 % des Vertragszeitraumes festgelegt.

4.6 Zusammenfassung

In Kapitel 4 wurden die benötigten Definitionen und Eingangswerte für die Studie beschrieben. Alle Projekte müssen für die notwendige Vergleichbarkeit auf Basis desselben Taktansatzes durchgeführt worden sein.

Es wurde das methodische Vorgehen während der Projektlaufzeit jeder Fallstudie definiert. Der Analysezeitraum endet mit der Befragung des Bauherrenprojektleiters. Die Inhalte dieser Befragung sind strukturiert, damit sie die Forschungsfrage ergänzen. Nach Definition der Auswahlkriterien der Projekte wurden sowohl geeignete Zeiträume wie auch die Aufnahme möglicher Einflussfaktoren abgeleitet. Dabei handelt es sich um vier Zeiträume, die dokumentiert werden (Vertragszeitraum, Taktplanzeitraum, Taktrealisierungszeitraum und Zeitraum der Teilflächenübergabe). Die Einflussfaktoren können in die drei Bereiche der allgemeinen Projektattribute, Taktattribute und der Implementierungsattribute unterteilt werden.

5 Quantifizierung zeitlicher Effekte der Taktplanung

5.1 Einleitung

Kapitel 5 beschreibt die zehn Fallstudien der Projektstudie und die Erhebung der in Kapitel 4 definierten Daten zur Bestimmung der zeitlichen Ergebnisse der Taktplanung. Ziel des folgenden Kapitels ist die Datenerhebung und deren Beschreibung mit Bezug auf ihre Projektquellen. Die in diesem Kapitel ermittelten Daten bilden die Basis für die weiteren Untersuchungen im Rahmen dieser Forschungsarbeit.

5.2 Beschreibung der Projekte

5.2.1 Vorbemerkung

In diesem Unterkapitel werden die analysierten Projekte prägnant mit Hilfe der in Kapitel 4.2 erwähnten Daten beschrieben. Betrachtungszeitraum ist die Ausführungsphase des Projektes. Die Projektbeschreibungen beinhalten eine Zusammenfassung der Projektdaten. In Abbildung 26 sind die in der Projektbeschreibung genutzten Kategorien der Projektdaten beschrieben. Alle Attribute zu den Projektstudien sind in Kapitel 4.5 zusammengefasst.



Abbildung 26: Kategorien von Projektattributen

5.2.2 P1: Montage, Sanierung, Deutschland

Projekt P1 wurde in einer Produktionsunterbrechung (PU) innerhalb von Hauptproduktionsflächen umgesetzt. Im Rahmen der PU werden notwendige Umbaumaßnahmen der Produktions- und Montagebänder vorgenommen, um diese für aktuelle und zukünftige Produktionsvorhaben zu rüsten. Dies dient vor allem der Vorbereitung auf veränderte oder zukünftige Produktreihen. Produktionsunterbrechungen werden im Winter wie im Sommer geplant. Da die Bänder für den gesamten Zeitraum der PU stillstehen und somit keine Produktion möglich ist, handelt es sich für den Betreiber der Bänder um ein aufwändiges Unterfangen. In der folgenden Abbildung 27 werden die Projektdaten zur Implementierung der Taktplanung zusammengefasst.

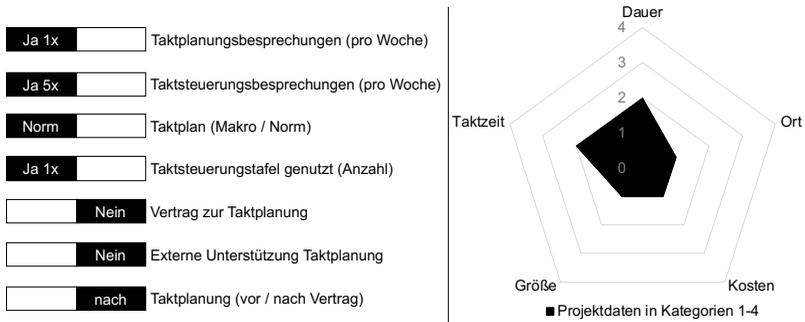


Abbildung 27: Taktkriterien und Projektattribute der Projektstudie P1

Je Minute ungeplanten Stillstandes der Bänder entgehen Automobilherstellern mehrere Tausend Euro (vgl. Doll 2013; Höhne 2014). Das erklärt den hohen Zeitdruck für die Durchführung der Maßnahmen und die speziellen Anforderungen an die Termintreue. Die hier beschriebene Sanierung wurde im Winter 2016/2017 durchgeführt und durch den Projektleiter des Bauherrn initiiert und umgesetzt. Tabelle 5 fasst die zeitlichen Einsparungen anhand der zeitlichen Attribute der Projektstudie P1 zusammen.

Tabelle 5: Zeitliche Attribute Projektstudie 1 (P1)

Vertragszeitraum	Taktplanzeitraum	Taktrealisierungszeitraum	Teilflächenrealisierung	Real Zeitreduzierung
6 Wochen	4,8 Wochen	4,8 Wochen	-	20%

5.2.3 P2: Montage und Logistik, Neubau, Brasilien

In diesem Projekt wurde der Bau einer neuen Montagefertigung mit direkten Logistikflächen durchgeführt. Das Großbauprojekt war die erste Anwendung der Taktplanung in der Reihe der Fallstudien. Die Einführung der Methodik erfolgte durch den Bauherrn. Der lokale ausführende Generalunternehmer setzte die Baustellentaktung integral mit seiner Betonteilfertigung um. Die

Anliefer- und Erstellungsprozesse waren damit aufeinander abgestimmt. Das Projekt hatte einen zentralen Taktplan und drei Taktsteuerungstabellen aufgrund der Größe der Baumaßnahmen. Die weiteren Projektdaten werden in Abbildung 28 zusammengefasst.



Abbildung 28: Taktkriterien und Projektattribute der Projektstudie P2

Durch nicht geplante Bodenverbesserungsmaßnahmen verzögerte sich der Baustart. Den Baumaßnahmen blieb somit ein verkürzter Zeitraum bis zum Beginn des Aufbaus der Produktionslinie. Die Resultate der Termine sind in Tabelle 6 wiedergegeben.

Tabelle 6: Zeitliche Attribute Projektstudie 2 (P2)

Vertragszeitraum	Taktplanzeitraum	Taktrealisierungszeitraum	Teilflächenrealisierung	Real Zeitreduzierung
40 Wochen	32 Wochen	32 Wochen	21 Wochen	20%

5.2.4 P3: Nebenflächen Sanitär, Sanierung, England

Bei der Fallstudie 3 handelt es sich um die Sanierung von Hauptsanitäranlagen eines Karosseriebaus. Diese Anlagen stellen in ihrer Funktion Nebenflächen dar, von denen die direkten Produktionsflächen abhängig sind. Abbildung 29 visualisiert die wichtigsten Taktkriterien und Projektattribute.



Abbildung 29: Taktkriterien und Projektattribute der Projektstudie P3

Die Sanierung von Sanitäreanlagen innerhalb von Produktionsflächen scheint auf den ersten Blick unkritisch für die Produktion und damit auch unkritisch für den Bauherrn. Jedoch hängt der Betrieb der Fertigungslinie an der Funktion der Anlagen. Mitarbeiter der Produktion können sich aufgrund von Gewerkschaftsvorgaben während ihrer Schicht nicht weit von ihrem Arbeitsplatz entfernen. Die Sanierung muss in der Produktionsunterbrechung stattfinden und die Anlage zum Start der Produktion wieder funktionsfähig sein. In Tabelle 7 sind die Zeitreduzierungen der Taktplanung von 44 % im Vergleich zum Vertragszeitraum aufgezeigt. Das Projekt trägt damit trotz seines reduzierten Bauvolumens maßgeblich zur Sicherung der Produktionsstabilität der abhängigen Primärproduktionsfläche bei. Mit dieser Projektstudie konnte die Wirksamkeit der TPTS für kleine Projekte geprüft werden.

Tabelle 7: Zeitliche Attribute Projektstudie 3 (P3)

Vertragszeitraum	Taktplanzeitraum	Taktrealisierungszeitraum	Teilflächenrealisierung	Real Zeitreduzierung
3,2 Wochen	2,4 Wochen	1,8 Wochen	-	44%

5.2.5 P4: Logistik, Sanierung, England

Dieses Projekt umfasste die Umwandlung einer ehemaligen Montagehalle in eine zentrale Logistikfläche innerhalb eines bestehenden Werkes. Durch die Nutzungsänderung waren vor allem erhöhte Anforderungen an den Brandschutz zu beachten. Die Projektdaten in Abbildung 30 zeigen eine reduzierte Nutzung der Methode der Taktplanung, da nur die Basiskriterien umgesetzt wurden.



Abbildung 30: Taktkriterien und Projektattribute der Projektstudie P4

Der Vorteil der in Tabelle 8 ausgewiesenen Zeitreduzierung von 33 % ergab sich durch die Einsparung der Mieten der extern genutzten Flächen. Durch die frühzeitigere Nutzung konnten Kosteneinsparungen erzielt werden.

Tabelle 8: Zeitliche Attribute Projektstudie 4 (P4)

Vertragszeitraum	Taktplanzeitraum	Taktrealisierungszeitraum	Teilflächenrealisierung	Real Zeitreduzierung
30 Wochen	20 Wochen	20 Wochen	11 Wochen	33%

5.2.6 P5: Lackiererei, Umbau, England

Die Umbaumaßnahme innerhalb der Lackierstraße eines Automobilherstellers in England wurde während des normalen Produktionsbetriebs durchgeführt. Der Lackierbetrieb erfordert wie in Kapitel 2.5.4 dargestellt äußerst reine Bedingungen. Verunreinigung kann zu Qualitätsverlusten an den Fahrzeugoberflächen führen. Ein regulärer Verkauf der Produkte ist damit nicht mehr möglich. Die Arbeiten müssen daher mit der Produktion abgestimmt und zyklisch erfolgen. Die Taktplanung wurde, wie in Abbildung 31 aufgezeigt, nur mit ihren Grundelementen implementiert.

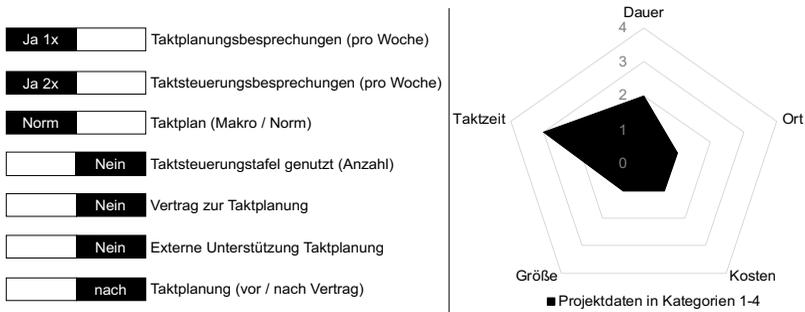


Abbildung 31: Taktkriterien und Projektattribute der Projektstudie P5

Um auf die Anforderungen des Produktionsbetriebes eingehen zu können, wurde ein Zweitaktssystem eingeführt, bestehend aus einer 5-Tages-Taktzeit (Arbeitstage) und einer 2-Tages-Taktzeit (Wochenende). Alle staubintensiven Arbeiten wurden auf den Wochenendtakt gelegt, in dem nur eingeschränkter Schichtbetrieb der Produktionslinie bestand. Es konnten wie in Tabelle 9 beschrieben 54 % der Vertragszeit reduziert werden, wodurch die Maßnahme die Produktion 8 Wochen weniger als zuvor geplant einschränkte.

Tabelle 9: Zeitliche Attribute Projektstudie 5 (P5)

Vertragszeitraum	Taktplanzeitraum	Taktrealisierungszeitraum	Teilflächenrealisierung	Real Zeitreduzierung
13 Woche	8 Wochen	6 Wochen	4,5 Wochen	54%

5.2.7 P6: Karosseriebau, Neubau, Südafrika

Der Neubau einer Anlage für den Karosseriebau in Südafrika wurde als Greenfield-Projekt angrenzend an die bestehende Werkstruktur realisiert. Über einen Fördertunnel wurde die Produktionsfläche an den bestehenden Werkskomplex angeschlossen. Abbildung 32 zeigt, dass die Taktplanung in allen betrachteten Kriterien eingesetzt wurde.



Abbildung 32: Taktkriterien und Projektattribute der Projektstudie P6

Durch eine späte strategische Entscheidung im Management des Automobilkonzerns über die Wahl des zu fertigenden Produktes wurde der Produktionsbeginn um ein Jahr nach vorne verlegt. Es entstand ein hoher Zeitdruck im Projekt. Die in Tabelle 10 dokumentierten Zeitreduzierungen unterstützten die Erreichung des Produktionsstartes.

Tabelle 10: Zeitliche Attribute Projektstudie 6 (P6)

Vertragszeitraum	Taktplanzeitraum	Taktrealisierungszeitraum	Teilflächenrealisierung	Real Zeitreduzierung
52 Wochen	41 Wochen	41 Wochen	26 Wochen	21%

5.2.8 P7: Presswerk, Sanierung, Deutschland

Die Sanierung von Flächen einer Fahrzeugteilepresse während laufender Produktion in Werksumgebung stellt Logistik, Abbruch sowie Einbau vor extreme Herausforderungen. Die Taktkriterien in Abbildung 33 zeigen, dass die Taktplanung frühzeitig, aber ohne Vertrag und externe Unterstützung eingeführt wurde.

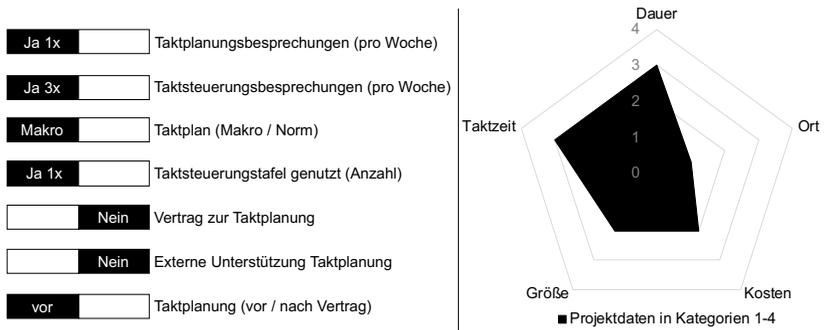


Abbildung 33: Taktkriterien und Projektattribute der Projektstudie P7

Die Emissionsbelastungen durch Staub, Lärm, Vibration usw. erfordern Schutzmaßnahmen. Zusätzliche Lagerflächen für Abbruch und neue Materialien waren innerhalb des Werkes kaum realisierbar. Die An- und Ablieferung musste daher just in time (JIT) stattfinden. Das Arbeiten auf unterschiedlichen räumlichen Ebenen erhöhte die Komplexität. Die Arbeitsumfänge des nachfolgenden Anlagenaufbaus waren bis Beginn der Bauarbeiten nicht stabil ausgeplant. In diesem Umfeld konnten wie in Tabelle 11 gezeigt 16 % der Bauzeit reduziert werden.

Tabelle 11: Zeitliche Attribute Projektstudie 7 (P7)

Vertragszeitraum	Taktplanzeitraum	Taktrealisierungszeitraum	Teilflächenrealisierung	Real Zeitreduzierung
37 Wochen	31 Wochen	31 Wochen	26 Wochen	16%

5.2.9 P8: Montage, Neubau, Deutschland

Die Projektstudie umfasst ein mehrstöckiges Gebäude in einem bestehenden Werksgelände. Es erstreckt sich über insgesamt sieben Geschosse, von denen die beiden Untergeschosse als Technikebenen, die Ebenen Erdgeschoss, 1. und 2. Obergeschoss für die Montagelinie sowie das 3. und 4. Obergeschoss als Bürogeschosse geplant wurden. Abbildung 34 zeigt, dass alle bewerteten Taktkriterien in diesem Projekt umgesetzt wurden.

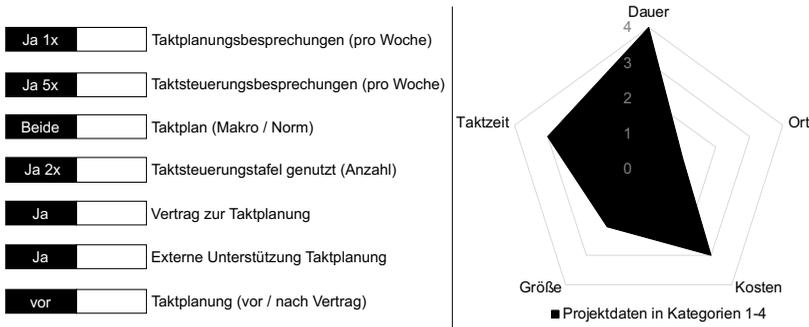


Abbildung 34: Taktkriterien und Projektattribute der Projektstudie P8

Die Arbeit auf begrenztem Raum ohne direkte Lagerflächen erhöhte die Anforderungen an die Logistik. Zusätzlich war der Transportverkehr aufgrund von Reglementierungen des Verkehrs auf immer nur einen LKW innerhalb des Werkes beschränkt. Die Arbeiten wurden mit einem Generalunternehmer durchgeführt. Die Bauzeit konnte, wie in Tabelle 12 zusammengefasst, um 17 %, also 10 Wochen, reduziert werden.

Tabelle 12: Zeitliche Attribute Projektstudie 8 (P8)

Vertragszeitraum	Taktplanzeitraum	Taktrealisierungszeitraum	Teilflächenrealisierung	Real Zeitreduzierung
58 Woche	47 Wochen	48 Wochen	-	17%

5.2.10 P9: Karosseriebau, Neubau, Mexiko

Die Erbauung eines Werkes in Mexiko umfasst alle in Kapitel 2.5 beschriebenen Produktionsflächen einer modernen Automobilfertigung. Die Fallstudie 9 beinhaltet das Teilprojekt des Fahrzeugrohbaus. Das in Stahlkonstruktion erstellte Gebäude mit Fördertechnikebene (FT-Ebene) beherbergt in Zukunft einen großen Anteil an Schweißrobotern und Fördertechnik. Das Großbauprojekt wurde, wie in Abbildung 35 visualisiert, in einem frühen Stadium mit allen Taktkriterien umgesetzt.

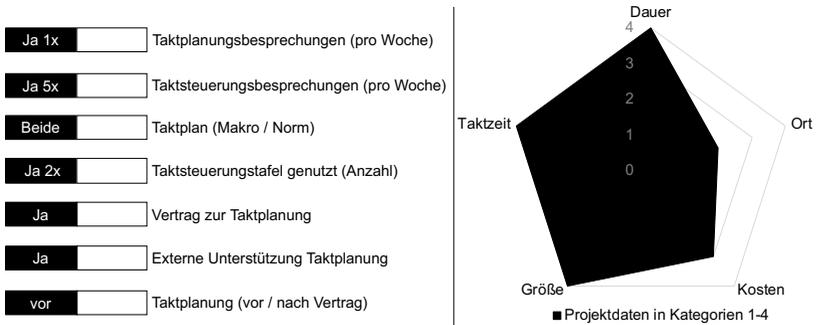


Abbildung 35: Taktkriterien und Projektattribute der Projektstudie P9

Der Automatisierungsgrad der Fertigung in diesem Bereich der Automobilproduktion ist hoch. Aus diesem Grund sind spezielle Anforderungen an die technische Gebäudeausrüstung (TGA) gerichtet. Der Bau der Produktionsimmobilie wurde durch einen lokalen Generalunternehmer realisiert. Tabelle 13 zeigt die Zeitreduzierungen der Bauzeit von 10 %.

Tabelle 13: Zeitliche Attribute Projektstudie 9 (P9)

Vertragszeitraum	Taktplanzeitraum	Taktrealisierungszeitraum	Teilflächenrealisierung	Real Zeitreduzierung
40 Wochen	34 Wochen	36 Wochen	-	10%

5.2.11 P10: Logistik, Neubau, Mexiko

Neben dem Karosseriebauprojekt P9 wurde mit der zentralen Werkslogistik eine weitere Immobilie des Werksneubaus in Mexiko übernommen (P10). In der Baukonstruktion vergleichbar mit Fallstudie 9 besteht der wesentliche Unterschied in der Höhe des Gebäudes und dem geringeren Anteil an TGA. Abbildung 36 zeigt ebenfalls eine umfängliche und frühzeitige Umsetzung der Taktplanung.



Abbildung 36: Taktkriterien und Projektattribute der Projektstudie P10

Die Brandschutzaufgaben stellen einen wesentlichen Anteil der technischen Ausrüstung. Die Bauausführungen wurden von einem Generalunternehmen durchgeführt. Es konnten 24 % der Bauzeit eingespart werden, wie der Tabelle 14 zu entnehmen ist.

Tabelle 14: Zeitliche Attribute Projektstudie 10 (P10)

Vertragszeitraum	Taktplanzeitraum	Taktrealisierungszeitraum	Teilflächenrealisierung	Real Zeitreduzierung
68 Wochen	40 Wochen	51,5 Wochen	-	24%

5.3 Zusammenfassung

Die beschriebenen Projekte der Projektstudie weisen signifikante terminliche Veränderungen zu den Vertragszeiträumen auf. Nachfolgend werden die Ergebnisse zusammengefasst dargestellt.

Die durchschnittliche reale Zeitreduzierung in den betrachteten Fallstudien beläuft sich relativ zur Vertragslaufzeit auf 25,9 %. Damit lässt sich Forschungsfrage 2 beantworten, die sich auf die wirksame Quantifizierung des Kundenzieles Zeit durch den Einsatz der Taktplanung richtet. Alle Projektstudien weisen eine Verbesserung des Kundenzieles durch die reduzierte Projektlaufzeit auf. Die Zeitreduzierung konnte in allen Projekten durch den Einsatz von TPTS realisiert werden, ohne die direkten wertschöpfenden Arbeitsabläufe der Arbeiter zu optimieren. Wie Tabelle 15 aufzeigt, weisen die realen Zeitpotentiale im Durchschnitt mit 25,9 % ($\sigma = 12,9\%$; $min = 10,5\%$; $max = 53,8\%$) mehr Reduzierung auf als die Zeitpotentiale, die zu Beginn der Projekte geplant wurden (24,8 %).

Tabelle 15: Zeitliche Effekte in den Fallstudien

Projektstudie	Real Reduzierung in Prozent	Plan Reduzierung in Prozent
P1	20%	20%
P2	20%	20%
P3	44%	25%
P4	33%	33%

P5	54%	38%
P6	21%	21%
P7	16%	16%
P8	17%	19%
P9	10%	15%
P10	24%	41%
Durchschnitt	25,9%	24,8%

Es besteht die Möglichkeit, dass weitere Zeitpotentiale in der Taktsteuerung zu erzielen sind. In fünf der zehn Fallstudien stimmen der Taktplanungs- und der Taktrealisierungszeitraum überein. Zwei Fallstudien weisen einen Unterschied von bis zu 5 % auf und drei Studien zeigen höhere Schwankungen, von denen zwei Studien (P3 und P5) mehr Zeit reduzierten als in der Taktplanung geplant. Sieben von zehn Studien konnten innerhalb des Taktplanungszeitraumes realisiert werden. Fünf von zehn Projekten erreichten das Taktplanungsergebnis.

Sowohl im Taktplanzeitraum als auch im Taktrealisierungszeitraum der Projekte lassen sich somit signifikante Zeitersparnisse beobachten. Im projektübergreifenden Durchschnitt wurde eine Zeitreduzierung von 25,9 % im Taktrealisierungszeitraum erreicht. Die Termine in der Projektstudie weisen eine zu analysierende Veränderung (Zeitreduktion) auf. Dieses Ergebnis lässt eine Wirksamkeit der Taktplanung im Hinblick auf das Bauherrenziel Termine vermuten. Der Grund für diese Veränderung soll im weiteren Verlauf dieser Forschungsarbeit herausgearbeitet werden.

6 Auswertung von Zusammenhängen zwischen Projektattributen

6.1 Einleitung

Die erhobenen Projektattribute werden in Kapitel 6 systematisch mittels statistischer Verfahren im Hinblick auf Einflussfaktoren zur Zeitreduzierung beim Einsatz der Taktplanung untersucht. Hierbei stehen direkte Zusammenhänge mit dem Zeiteinsparpotential im Fokus, aber auch andere Verbindungen ermöglichen Hinweise. Als Ergebnis werden aus den Korrelationen zeitrelevante Aussagen zur Wirkung der Taktplanung abgeleitet.

6.2 Ermittlung der Projektattribute

Das Wort *Korrelation* stammt vom lateinischen Wort *correlatio*, was ins Deutsche übersetzt eine Wechselbeziehung beschreibt (vgl. Wahrig 2009, S. 473). Diese Beziehung liegt zwischen zwei Elementen oder, wie in dieser Arbeit, zwischen zwei Attributen vor. Nachfolgend werden alle Attribute, die für die Korrelationsanalyse herangezogen werden, beschrieben und strukturiert.

Die Datensätze wurden aus den zehn Projekten ermittelt. Den Zeitpunkt der Erhebung der allgemeinen Projektattribute, der Taktattribute, der Zeitattribute und der Implementierungsattribute stellt die projektabschließende Projektleiterbefragung dar. Die Attribute werden in diesem Zusammenhang durch den Projektleiter bestätigt. Nachfolgende Tabelle 16 beschreibt die Attribute und formuliert die Einheiten wie auch die Kategorien, in denen die Daten erfasst werden.

Tabelle 16: Beschreibung der Projektattribute

Attribut	Beschreibung
Projektname	Bezeichnung des Projektes zur eindeutigen Identifikation. (Nicht in der Korrelationsauswertung aufgelistet)
Allgemeine Projektattribute	Kategorisierung der tatsächlich benötigten Zeit für die Realisierung des Projekts, dies entspricht daher dem Taktrealisierungszeitraum. Zeitliche Ersparnisse durch die Anwendung von TPTS werden berücksichtigt:
	Kategorie 1: < 1 Monat
	Kategorie 2: 1 - 6 Monate
	Kategorie 3: 6 – 12 Monate
	Kategorie 4: >12 Monate
Ort	Kategorisierung des Ortes, an dem das Projekt realisiert wurde: Kategorie 1: Europa Kategorie 2: Amerika Kategorie 3: Afrika und Mittlerer Osten Kategorie 4: Asien und Pazifik
Kosten	Kategorisierung der Kosten, die für die Umsetzung des Projektes angefallen sind bzw. bei noch nicht fertiggestellten Projekten laut Planung anfallen: Kategorie 1: < 1 Mio. € Kategorie 2: 1 – 10 Mio. € Kategorie 3: 10 – 100 Mio. € Kategorie 4: >100 Mio. €
Größe	Kategorisierung der Brutto-Grundfläche (BGF) des Bauprojekts: Kategorie 1: < 1.000 m ²

	<p>Kategorie 2: 1.000 – 10.000 m²</p> <p>Kategorie 3: 10.000 – 50.000 m²</p> <p>Kategorie 4: >50.000 m²</p>
Taktzeit [Tage]	Taktzeit des Bauprojekts in Tagen. Während der Taktzeit werden die Arbeitspakete für einen Taktbereich abgearbeitet.
Größe SRE [m ²]	Die Fläche der kleinsten sich wiederholenden Raumeinheit in m ² . Diese wird als Standard-Raumeinheit bezeichnet und mit SRE abgekürzt.
Anzahl SRE	Die Anzahl der Standard-Raumeinheiten, aus denen sich das Projekt zusammensetzt.
Größe TB [m ²]	Die Fläche eines Taktbereiches in m ² . Ein Taktbereich (TB) entsteht durch das Zusammenfassen mindestens einer SRE. Durch Größenvarianz der Taktbereiche im Projekt ist hier die Größe eines durchschnittlichen Taktbereiches angegeben.
Anzahl Taktbereiche	Die Anzahl der Taktbereiche, die getaktet aufgebaut werden bzw. die ein Gewerkzeug durchfährt.
Anzahl Waggon	Die Anzahl der Waggon innerhalb des Gewerkzeugs.
Anzahl Gewerkzeuge	Anzahl der Gewerkzeuge, die zur Fertigstellung des Bauprojekts parallel auf der Baufläche tätig sind.
Anzahl Arbeitstakte	Anzahl der Takteinheiten (Zellen im Taktplan), in denen Wertschöpfung betrieben wird.
Anzahl Puffer-takte	Anzahl der Takte, in denen keine Wertschöpfung betrieben wird. Es werden nur vollständig leere Takteinheiten gezählt. Wenn teilweise Wertschöpfung betrieben wird, zählt die Takteinheit komplett zu den Arbeitstakten.
Anzahl Arbeitspakete	Die Anzahl der Arbeitspakete (AP), zur Fertigstellung des Bauprojekts in jeder SRE. Mehrere Arbeitspakete können je nach Dauer in einem Waggon zusammengefasst werden. Arbeitspakete bestehen aus Arbeitsschritten.

Anzahl Funktionsbereiche	Anzahl der Funktionsbereiche im Bauprojekt. Funktionsbereiche fassen ähnliche Flächen zusammen, die später vergleichbare Nutzung aufweisen (z. B. Büro, Produktion usw.). Je nach Anforderungen an den Funktionsbereich kann die Sequenz (Zusammensetzung der Züge) unterschiedlich sein.
--------------------------	---

Anzahl Teilflächenübergaben	Anzahl der Teilflächenübergaben. Durch Teilflächenübergaben werden dem Kunden Teile der Baustelle noch vor Fertigstellung der gesamten Baustelle übergeben.
-----------------------------	---

Teilflächenübergabe 1	Das Projekt hat eine 1. Teilflächenübergabe
-----------------------	---

Teilflächenübergabe 2	Das Projekt hat eine 2. Teilflächenübergabe
-----------------------	---

Teilflächenübergabe 3	Das Projekt hat eine 3. Teilflächenübergabe
-----------------------	---

Zeitattribute	Vertragslaufzeit	Vertragslaufzeit der Bauphase. Kategorie --: bis 1 Monat Kategorie -: 1 bis 6 Monate Kategorie +: 6 bis 12 Monate Kategorie ++: ab 12 Monate
---------------	------------------	--

Zeitpotentialkategorie	Einsparung durch die Taktplanung (Realwerte aus der Projektstudie) Kategorie --: kein Einsparpotential Kategorie -: bis 10 % Einsparpotential Kategorie +: bis 25 % Einsparpotential Kategorie ++: sehr gute Vorkenntnisse
------------------------	--

Implementierungsattribute	Workshops int. [h]	Stundenzahl, die im Vorfeld der Bauausführung für die Schulung der Beteiligten im Bereich Taktplanung von Mitarbeitern des Bauherrn aufgewendet wird.
	Workshops ext. [h]	Stundenzahl, die im Vorfeld der Bauausführung für die Schulung der Beteiligten im Bereich TPTS von Mitarbeitern einer externen, vom Bauherrn beauftragten Beratungsfirma aufgewendet wird.
	Projekt-unterstützung int. [h]	Stundenzahl, die während der Bauausführung für die projektbegleitende Betreuung von Mitarbeitern des Bauherrn aufgewendet wird.
	Projekt unterstützung ext. [h]	Stundenzahl, die während der Bauausführung für die projektbegleitende Betreuung von Mitarbeitern einer externen, vom Bauherrn beauftragten Beratungsfirma aufgewendet wird.
	Vorkenntnisse Firmen	Einschätzung der vorhandenen Vorkenntnisse der Taktplanung bei den ausführenden Unternehmen. Einteilung in Kategorien von -- bis ++: Kategorie --: keine Vorkenntnisse Kategorie -: geringe Vorkenntnisse Kategorie +: gute Vorkenntnisse Kategorie ++: sehr gute Vorkenntnisse
	Vorkenntnisse Projektleiter	Einschätzung der vorhandenen Vorkenntnisse der Taktplanung beim Projektleiter auf Bauherrenseite. Einteilung in Kategorien von -- bis ++: Kategorie --: keine Vorkenntnisse Kategorie -: geringe Vorkenntnisse Kategorie +: gute Vorkenntnisse Kategorie ++: sehr gute Vorkenntnisse

Einschätzung der vorhandenen Vorkenntnisse der Taktplanung beim externen Projektmanagement. Einteilung in Kategorien von -- bis ++:

Vorkenntnisse Projektmanager

- Kategorie --: keine Vorkenntnisse
- Kategorie -: geringe Vorkenntnisse
- Kategorie +: gute Vorkenntnisse
- Kategorie ++: sehr gute Vorkenntnisse

Die Attribute wurden aus den unter 5.2 beschriebenen Projekten ermittelt und in einer Synopse bestehend aus den folgenden drei Tabellen, Tabelle 17, Tabelle 18 und Tabelle 19, zusammengefasst.

Tabelle 17: Synopse der zeitlichen und allgemeinen Projektattribute der Projektstudien (P1 – P10)

	Zeitliche Attribute					Allgemeine Projektattribute				
	Vertragszeitraum	Taktplanzeitraum	Taktrealisierungszeitraum	Teilflächenrealisierung	Real Zeitreduzierung	Dauer	Ort	Kosten	Typ	Größe
P1	6 Wochen	4,8 Wochen	4,8 Wochen	-	20%	Kat.2	Kat.1	Kat.1	Montage	Kat.1
P2	40 Wochen	32 Wochen	32 Wochen	21 Wochen	20%	Kat.3	Kat.2	Kat.4	Montage	Kat.4
P3	3,2 Wochen	2,4 Wochen	1,8 Wochen	-	44%	Kat.1	Kat.1	Kat.1	Karosseriebau	Kat.1
P4	30 Wochen	20 Wochen	20 Wochen	11 Wochen	33%	Kat.3	Kat.1	Kat.2	Logistik	Kat.3
P5	13 Wochen	8 Wochen	6 Wochen	4,5 Wochen	54%	Kat.2	Kat.1	Kat.1	Lackiererei	Kat.1
P6	52 Wochen	41 Wochen	41 Wochen	26 Wochen	21%	Kat.4	Kat.3	Kat.3	Karosseriebau	Kat.3
P7	37 Wochen	31 Wochen	31 Wochen	26 Wochen	16%	Kat.3	Kat.1	Kat.2	Presswerk	Kat.2
P8	58 Wochen	47 Wochen	48 Wochen	-	17%	Kat.4	Kat.1	Kat.3	Montage	Kat.2
P9	40 Wochen	34 Wochen	t.b.a.	-	10%	Kat.4	Kat.2	Kat.3	Karosseriebau	Kat.4
P10	68 Wochen	40 Wochen	t.b.a.	-	24%	Kat.4	Kat.2	Kat.3	Logistik	Kat.4

Tabelle 18: Synopse der Taktattribute der Projektstudien (P1 – P10)

Taktattribute												
Taktzeit	Größe SRE	Anzahl SRE	Größe TB	Anzahl TB	Anzahl Wagons	Anzahl Züge	Anzahl Arbeits-takte	Anzahl Puffer-takte	Anzahl AP	Anzahl I FB	Teilfläche n-übergabe	
P1	1 Tag	9 m ²	76	85,5 m ²	8	29	1	107	157	34	2	0
P2	5 Tage	360 m ²	168	2160 m ²	28	13	3	287	250	18	1	2
P3	0,5 Tage	10 m ²	10	35 m ²	3	9	1	37	17	10	2	0
P4	5 Tage	210 m ²	52	840 m ²	13	8	1	104	96	10	2	3
P5	5 Tage (2 d)	42 m ²	18	252 m ²	3	7	1	19	8	7	1	1
P6	5 Tage	350 m ²	77	3000 m ²	9	20	1	184	55	39	3	2
P7	5 Tage	350 m ²	23	350 m ²	23	10	3	184	424	39	5	1
P8	5 Tage	128 m ²	52	390 m ²	24	16	1	224	543	57	3	0
P9	6 Tage	350 m ²	153	2975 m ²	18	23	2	528	484	116	3	0
P10	6 Tage	225 m ²	289	1912 m ²	34	18	1	580	1324	56	3	0

Tabelle 19: Synopse der Implementierungsattribute der Projektstudien (P1–P10)

Impementierungsattribute							
	Workshops		Projektunterstützung		Vorkenntnisse		
	Intern	Extern	Intern	Extern	Firmen	PL	PM
P1	2 Tage	0 Tage	0 Tage	0 Tage	-	+	-
P2	32 Std.	32 Std.	0 Std.	8 Std.	-	--	+
P3	8 Std.	0 Std.	0 Std.	0 Std.	--	+	--
P4	8 Std.	4 Std.	4 Std.	0 Std.	--	+	-
P5	8 Std.	8 Std.	0 Std.	0 Std.	-	+	--
P6	88 Std.	0 Std.	24 Std.	0 Std.	--	--	--
P7	16 Std.	0 Std.	8 Std.	0 Std.	--	+	-
P8	80 Std.	40 Std.	40 Std.	96 Std.	+	+	-
P9	64 Std.	64 Std.	48 Std.	144 Std.	-	--	+
P10	48 Std.	48 Std.	48 Std.	144 Std.	-	--	+

Aufgrund der Vielzahl an möglichen Verbindungen der 290 Datenpunkte wurde eine Analyse der Zusammenhänge zwischen den Projektattributen vorgenommen. Nachfolgend werden Zusammenhänge zwischen diesen Daten mittels lineare Korrelationsanalyse untersucht.

6.3 Beschreibung des statistischen Verfahrens

6.3.1 Vorbemerkung

Dieses Unterkapitel beschreibt das ausgewählte statistische Verfahren. Die Auswahl eines passenden Berechnungsverfahrens wird durch den Umfang der Projektstudie limitiert. Die Stichprobe von zehn Projekten reduziert die Auswahl von möglichen statistischen Verfahren. Für eine fallstudienübergreifende Korrelation werden die Ausprägungen aller Fallstudien eines Attributes mit denen eines anderen verglichen. Die Ergebnisse werden in einer Matrix visualisiert.

6.3.2 Auswahl der Korrelationsmethode

Das gängige Korrelationsverfahren nach Bravais und Pearson (vgl. Galton 1888; Schlittgen 2008, S. 95) wird vor allem bei normalverteilten Daten angewendet. Da die hier vorliegende Stichprobe mit einem Umfang von lediglich zehn Projekten statistisch relativ klein ist, sind vereinfachende Annahmen, die eine Aussage über die vorliegende Verteilung der Daten zulassen, nicht anwendbar. Der zentrale Grenzwertsatz kann als Beispiel angebracht werden. Er besagt, dass bei großen Stichprobenumfängen eine unbekannte Verteilung der Daten durch eine Normalverteilung angenähert werden kann (vgl. Schlittgen 2008, S. 258) und damit auch die Berechnung des Bravais-Pearson-Korrelationskoeffizienten möglich ist, sofern die weiteren Voraussetzungen erfüllt sind. Hierfür müssen Daten intervallskaliert bzw. dichotom sein, das heißt, sie sind exakt einem von zwei möglichen Elementen zuordenbar.

Zur Überprüfung, ob die hier vorhandene kleine Projektanzahl einer

Normalverteilung unterliegt, können statistische Hilfsmittel, wie beispielsweise der Shapiro-Wilk-Test, genutzt werden (vgl. Shapiro und Wilk 1965). Die Anwendung des sogenannten P-Testes nach Shapiro-Wilk zeigt auf, dass die verfügbaren Daten aus den Projektstudien nicht durchgängig in einer Normalverteilung dargestellt werden können. Somit ist die Nutzung des Bravais-Pearson-Korrelationskoeffizienten für die Datenanalyse nicht zu empfehlen. Zur Ermittlung von Korrelationen aus nicht normalverteilten Datensätzen steht der Spearman-Rangkorrelationskoeffizient zur Verfügung (vgl. Schlittgen 2008, S. 98). Wie der Name *Rangkorrelationskoeffizient* beschreibt, wird hier jedem Datenpunkt einer Kategorie ein Rang zugeordnet. Rang eins wird dem Datensatz mit kleinstem Wert zugeordnet. Darauf folgen die weiteren Ränge mit aufsteigenden Werten. Sollten die Werte mehrerer Stichproben identisch sein, so bildet sich der Rang für diese Projekte als durchschnittlicher Rang heraus. Die so generierten Merkmalsausprägungen stammen aus einem bekannten, normalverteilten Intervall. Damit ist es möglich, den Bravais-Pearson-Korrelationskoeffizienten über die Ränge zu berechnen. Die Vorgehensweise ist in Anhang Nr. 1 in einem Beispiel erläutert.

Ableiten von Korrelationen

Sowohl positive wie auch negative Korrelationen fließen in die Analyse mit ein. Abbildung 37 visualisiert die beiden unterschiedlichen Beziehungen. Links ist eine positive Korrelation und damit ein zusammenhängender Anstieg von zwei Attributen zu sehen. In der rechten Grafik besteht ein negativer Zusammenhang. Bei Anstieg der Ausprägung des einen Attributs fällt der andere ab.

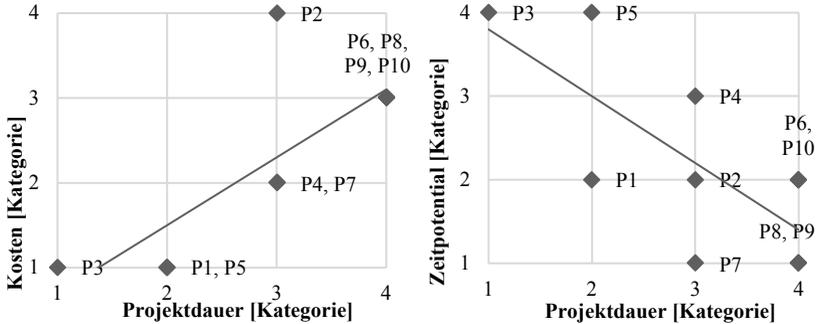


Abbildung 37: Beispiele für positive Korrelation (links) und negative Korrelation (rechts)

Die Analyse mit dem Spearman-Rangkorrelationskoeffizienten ermöglicht die Ermittlung linearer Zusammenhänge zwischen zwei Projektattributen. Die Nutzung der Ränge befähigt darüber hinaus dazu, die Darstellung nichtlinearer Zusammenhänge (monotone Funktionen) zu beschreiben (Schäfer 2008, S. 5). Auf der Diagonalen hat der Korrelationskoeffizient immer den Wert 1, da der Zusammenhang einer Projekteigenschaft mit sich selbst immer perfekt linear ist. Die p-Werte im Zusammenhang mit der Spearman-Korrelationsmatrix ermöglichen die Überprüfung der Signifikanz der Korrelationskoeffizienten. Bei der Interpretation der Streudiagramme, wie in Abbildung 37 dargestellt, ist zu beachten, dass durch die Verwendung des Spearman-Korrelationskoeffizienten jeweils die Ränge der abgebildeten Daten als Berechnungsgrundlage für die Stärke des linearen Zusammenhangs dienen.

6.3.3 Beschreibung der Korrelationen

Es wurden gesamt 132 Kombinationen mit einer signifikanten Beziehung ermittelt. Sie lassen sich in 112 positive und 20 negative Korrelationen unterteilen und sind gesamthaft in Abbildung 38 dargestellt. Die Grafik zeigt durch die grauen Felder den Schnittpunkt einer positiven Korrelation zwischen zwei Attributen. Dasselbe Prinzip besteht für die negativen Korrelationen durch ein weißes Feld mit Rahmen und Querstrich. Rot markiert sind die direkten

zeitreduzierenden Korrelationen. Es werden im ersten Schritt alle Korrelationen dargestellt, die zwischen den zeitreduzierenden Fallstudien existieren. Jedoch werden im Weiteren nur für die Forschungsfrage relevante Beziehungen verwendet.

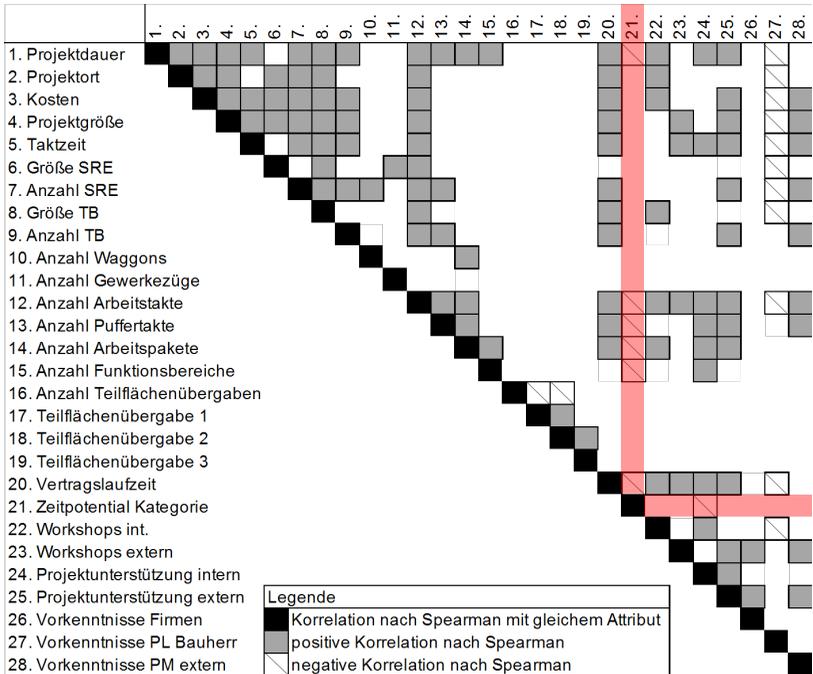


Abbildung 38: Übersicht der Korrelationen aller erhobenen Attribute

Gruppierung der Korrelationen

Die Aufteilung der Korrelationen kann nach den Attributgruppen vorgenommen werden, wie in Abbildung 39 dargestellt. Die zehn Attributgruppen weisen einen totalen und einen relativen Wert der Korrelationsdichte auf. Diese sind in Tabelle 20 zusammengefasst.

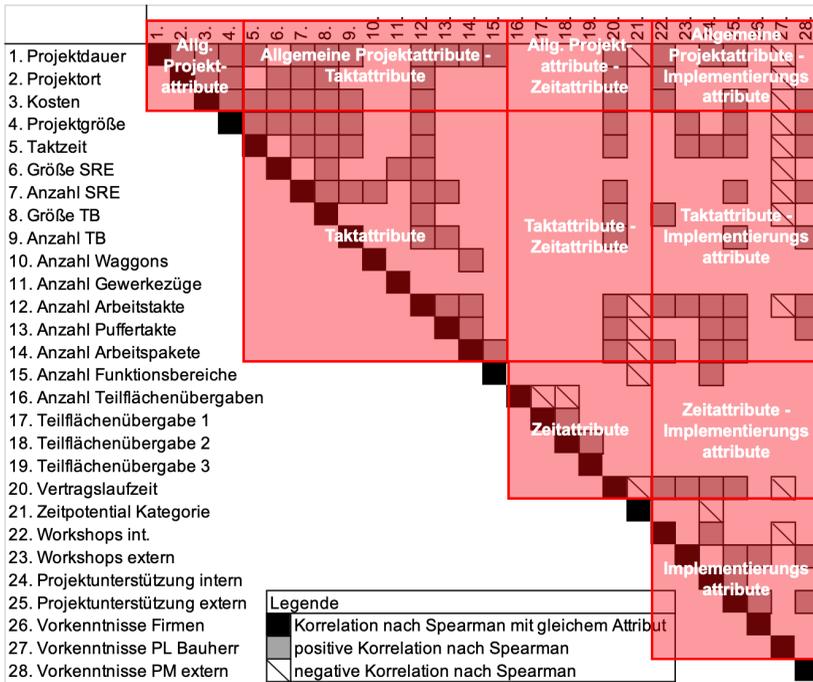


Abbildung 39: Gruppierung der Korrelationen nach Art der Attribute

Aufbauend auf Abbildung 39 werden in Tabelle 20 die totalen und relativen Werte aller Attributgruppen numerisch zusammengefasst.

Tabelle 20: Totaler und relativer Wert der Korrelationen nach Attributgruppen

Attributgruppe 1	Attributgruppe 2	Korrelationen total	Korrelationen relativ
Allgemeine Projektattribute	Allgemeine Projektattribute	6	100 %
Allgemeine Projektattribute	Taktattribute	24	56 %

Allgemeine Projektattribute	Zeitattribute	5	21 %
Allgemeine Projektattribute	Implementierungsattribute	14	36 %
Taktattribute	Taktattribute	20	36 %
Taktattribute	Zeitattribute	11	17 %
Taktattribute	Implementierungsattribute	26	34 %
Zeitattribute	Zeitattribute	5	33 %
Zeitattribute	Implementierungsattribute	6	14 %
Implementierungsattribute	Implementierungsattribute	8	38 %

Die Auswertung verdeutlicht hohe Korrelationsdichten bei den Attributgruppen der allgemeinen Projekt- und der Taktattribute. Die Zeitattribute weisen den geringsten Anteil an Beziehungen auf. Das Zeitattribut Vertragslaufzeit stellt mit einem relativen Korrelationsanteil von 63 % einen hohen Anteil an Beziehungen. Alle direkten Verbindungen mit der projektspezifischen Zeiteinsparung oder den Vorkenntnissen des Bauherren-Projektleiters sind negativ.

6.3.4 Kritische Betrachtung des angewandten Verfahrens

Es ist nicht ausgeschlossen, dass neben den aufgedeckten Korrelationen weitere Zusammenhänge in den Projektattributen existieren. Da wie beschrieben alle Abhängigkeiten zwischen zwei einzelnen Attributen analysiert werden, bleiben komplexere Verbindungen (z. B. aus mehr als zwei Attributen) unberücksichtigt.

Durch die Verwendung des Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman gehen im Vergleich zur Verwendung des Bravais-Pearson-Korrelationskoeffizienten Informationen verloren. Ränge sind ordinalskaliert, während die tatsächlichen Werte intervallskaliert sind und damit neben dem eigentlichen Wert

mehr Informationen enthalten. Die Ränge machen es unmöglich, die tatsächlichen Abstände zwischen dem Erstplatzierten und dem Zweitplatzierten festzustellen. Ordinalskalen beschreiben Zusammenhänge zwischen Datenpunkten bezüglich ihrer Reihenfolge, nicht bezüglich der Abstände zueinander. Das kann dazu führen, dass die Attribute im Streudiagramm einen stärkeren oder auch einen weniger starken Zusammenhang vermuten lassen als durch den berechneten Korrelationskoeffizienten dargestellt. Positiv lässt sich anmerken, dass Verzerrungen der Korrelationsanalyse aufgrund von Ausreißern und Extremwerten durch die Nutzung von Rangkorrelationen abnehmen.

Nachfolgendes Unterkapitel leitet Aussagen durch Interpretation der Korrelationen ab. Diese Hauptaussagen weisen auf Gründe für die zeitliche Wirkung in den Projekten hin.

6.4 Auswertung der Korrelationen

6.4.1 Auswertung der Attribute

Die erhobenen Attribute dienen dem Zweck, die Wirkungsweise der Taktplanung in der Projektstudie besser verstehen zu können. Alle Projekte weisen ein realisiertes zeitliches Einsparungspotential auf. Die Daten werden im Folgenden durch die Korrelationen interpretiert.

Bei den Attributen handelt es sich um die schon beschriebenen drei Gruppen: allgemeine Projektattribute, Taktattribute und Implementierungsattribute. Alle Datentypen können in Tabelle 16 nachgeschlagen werden. Es wurden 25 Datensätze pro Projektstudie ermittelt, womit insgesamt 290 Datenpunkte existieren. Alle Taktattribute sind in Tabelle 21 als Durchschnittswerte jeweils mit Standardabweichung σ und den Minimal- und Maximalwerten angegeben. Der Minimalwert und der Maximalwert verdeutlichen die große Bandbreite in den Projektstudienumfängen.

Tabelle 21: Durchschnittswerte Taktattribute der Projektstudien P1 – P10

Attribut	Einheit	Durchschnitt Ø	Std.abw. σ	Min.	Max.
Taktzeit	Tage	4,35	1,84	0,5	6
Anzahl FB	Stück	2,5	1,1	1	5
Anzahl SRE	Stück	93,9	82,3	10	289
Fläche SRE	m ²	203,4	140,2	9	360
Anzahl TB	Stück	16,3	10,2	3	34
Fläche TB	m ²	1200	1133	35	3000
Anzahl AP	Stück	38,6	31,2	7	116
Anzahl Wag- gons	Stück	15,3	6,9	7	29
Anzahl Züge	Stück	1,5	0,8	1	3
Anzahl Ar- beitstakte	Stück	239,3	211,5	19	719
Anzahl Puffertakte	Stück	328,7	360,3	8	1253
Anzahl Übergaben (Teilfläche)	Stück	0,9	1,0	0	3

6.4.2 Ableiten von Hauptaussagen

Die Ableitung von Hauptaussagen beginnt bei den Korrelationen der Zeitattribute. Diese sind nach der zugehörigen Hauptaussage nummeriert und in der nachfolgenden Abbildung 40 rot markiert. Einzelne Korrelationen werden in den nachfolgenden Hauptaussagen erst mit der horizontalen und dann mit der vertikalen Nummerierung beschrieben (14/20 = Korrelation Anzahl Arbeitspakete / Vertragslaufzeit).

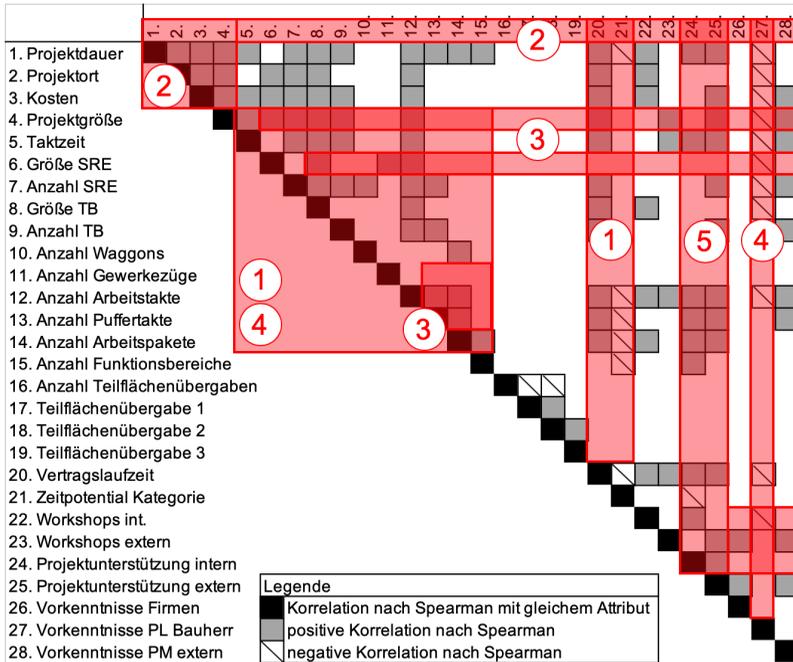


Abbildung 40: Korrelationen aller Attribute mit Markierung Hauptaussagen 1 bis 5

Die Teilflächenübergaben weisen, wie schon in Kapitel 6.3.3 erläutert, keine Korrelationen auf. Die Vertragslaufzeit und das kategorisierte Zeitpotential stellen fokussierte Attribute dar.

Die Vertragslaufzeit weist viele positive Zusammenhänge in allen drei anderen Attributgruppen auf. Das Zeitpotential und die Vorkenntnisse des Projektleiters des Bauherrn zeigen negative Korrelationen. Es lässt sich daher Folgendes als erste Hauptaussage formulieren:

1. Projekte mit langer Vertragslaufzeit generieren relativ weniger Zeitreduzierung als Projekte mit kürzerer Vertragslaufzeit.

Diese Aussage wird durch die Betrachtung des Zeitpotentials gestützt. Hier besteht neben der Vertragslaufzeit (20/21) auch mit der Projektdauer und vier Taktattributen (12–15/21), die eng mit der Projektlaufzeit zusammenhängen, eine negative Korrelation.

Der Grund für diese Aussage soll durch eine Betrachtung der Korrelationen zwischen Projektdauer und Vertragslaufzeit (1/20) herausgearbeitet werden. Die Projektdauer weist Korrelationen in den Taktattributen (5;7;8;9/20) auf. Neben den Zusammenhängen mit den Taktaussagen der Attribute 9 und 12 bis 14 stellen die positiven Korrelationen mit den Attributen 5 (Taktzeit) und 8 (Größe des Taktbereiches) sowie die nicht vorhandene Korrelation mit Attribut 6 (Größe SRE) einen interessanten Kontext dar. Obwohl es keine signifikante Vergrößerung der SRE gab, lassen sich bei langen Projekten eine größere Taktzeit und ein größerer Taktbereich ableiten.

Es stellt sich die Frage, warum in Projekten mit langer Vertragslaufzeit zeitkritische Attribute nicht so angepasst werden, dass zeitliche Effekte der Taktplanung wirksamer genutzt werden können. Eine mögliche Erklärung kann durch die Korrelationen der allgemeinen Projektattribute gegeben werden. Attribut 1 (Projektdauer), Attribut 3 (Kosten) und Attribut 4 (Projektgröße) weisen, wie in Abbildung 40 dargestellt, untereinander eine hohe Anzahl von positiven Korrelationen auf. Gleichzeitig korrelieren mit der Projektdauer (1) auch die Taktattribute 12 (Anzahl Arbeitstakte), 13 (Anzahl Puffertakte), 14 (Anzahl Arbeitspakete) und 15 (Anzahl Funktionsbereiche) positiv. Lange Projekte zeigen also einen größeren Projekt- und Kostenumfang und steigern die Anzahl wie auch die Varianten innerhalb der Taktattribute. Diese Beobachtung lässt sich an Tabelle 21 weiterführen. Die Minimal- wie Maximalwerte der Puffertakte liegen bei 8 bzw. 1 253 Takten. Bei den Arbeitstakten reicht die Spannweite von 19 bis zu 719 Takten. Für die zunehmende Bandbreite ist die positive lineare Korrelation zwischen der Anzahl der Funktionsbereiche und der Projektdauer (1/15) entscheidend. Durch einen neuen Funktionsbereich wird der Anteil an Berechnung, Steuerung und Planung und somit auch

an Komplexität verdoppelt. Tabelle 21 zeigt in den Minimal- wie Maximalwerten der Funktionsbereiche 1 bzw. 5, was im Maximalfall einem Verfünffachen der Projektkomplexität entspricht.

2. Mit einer Zunahme der Projektdauer erhöht sich die Ausprägung von Taktattribute und damit der Aufwand für die Taktplanung.

Mit der ersten Hauptaussage ist jedoch noch nicht erklärt, warum die Taktattribute mit der Projektgröße wachsen, obwohl sich eine Verkleinerung der Taktattribute zeitreduzierend auswirkt. Eine These hierfür könnte sein, dass die zeitlichen Einsparungen in längeren Projekten nicht benötigt werden, wodurch die Puffer in den Gewerkezügen belassen werden, jedoch in der Umsetzung verloren gehen. Tabelle 28 zeigt, dass in neun Projektstudien die Projektleiter durch die Zeitreduzierungen einen wirtschaftlichen Vorteil für den Kunden erzielen.

Eine detaillierte Taktplanung in langen Projekten mit mehreren Gewerkezügen kann besonders bei ungeübten Projektbeteiligten zu Unsicherheit oder fehlender Transparenz der Puffer führen. Ein Verbleib der Puffer im Terminplan wird wahrscheinlich. Korrelationen der Attribute 5 (Größe Taktzeit), 8 (Größe Taktbereiche), 12 (Anzahl Arbeitstakte), 13 (Anzahl Puffertakte) und 14 (Anzahl Arbeitspakete) stützen diese These. Durch größere Taktbereiche und längere Taktzeiten in teuren Projekten mit längerer Vertragsdauer können die aktiven Mechanismen der Losgrößenverkleinerung und der Parallelisierung ihre Wirkung nur reduziert entfalten. Die dritte Hauptaussage wird daher wie folgt zusammengefasst:

3. Projekte mit langer Vertragslaufzeit und hohen Kosten belassen mehr zeitliche Puffer innerhalb der Gewerkezüge.

Innerhalb der Fallstudien lassen sich nun die Implementierungsattribute analysieren. Vor allem die Gruppe der Vorkenntnisse der verschiedenen Projektbeteiligten ermöglicht die Ermittlung eines Einflusses. Bauausführende Unternehmen weisen kaum Korrelationen zwischen den Attributen auf. Ein Hauptgrund hierfür scheint, dass nahezu alle ausführenden Bauunternehmen

keine oder kaum Vorkenntnisse im Zusammenhang mit Taktplanung hatten (bis auf P8). Als auffallend lässt sich die Anzahl von negativen Korrelationen in Bezug auf die Vorkenntnisse des Projektleiters des Bauherrn beschreiben. Die Attribute 1 bis 8, 12, 20 und 22 korrelieren negativ mit dem Attribut der Vorkenntnisse Projektleiter (27). Es ist sichtbar, dass Projektstudien mit großem und kostenintensivem Projektumfang Projektleiter mit geringer Taktplanungserfahrung einsetzen. Hieraus ergibt sich Hauptaussage 4 der Korrelationsanalyse:

4. Projekte mit langer Vertragslaufzeit und hohen Kosten hatten Projektleiter mit wenig Erfahrung in der Taktplanung.

Der Grund für diese Gegebenheit lässt sich anhand der Korrelationen nicht erklären. Die Beobachtungen des Verfassers bieten jedoch eine mögliche Erklärung. Die Anwendung der Taktplanung innerhalb dieser Bauherrenorganisation begann mit der Erfassung dieser Studie. Dementsprechend sind die Fallstudien auch Pilotprojekte. Gerade die Großbauprojekte stellen durch ihre längere Durchlaufzeit frühe Anwendungen der Taktplanung dar. Die Bauherrenorganisation der Fallstudien teilt die Projektleitungen in Großprojekte und Kleinprojekte ein. Der Wissensstand der Projektleiter für Kleinprojekte wird hierbei durch die kurze Durchlaufzeit schneller verbessert und dies ermöglicht eine steilere Lernkurve. Die Erfahrungen der Projektleiter der Großprojekte machen für denselben Wissensstand einen deutlich längeren Lernzyklus erforderlich.

Es zeigt sich jedoch keine negative Korrelation zwischen den Erfahrungen der Projektstudienbeteiligten (Attribut 26, 27 und 28) und den Projektunterstützungen durch interne und externe Experten (Attribute 24 und 25). Im Gegenteil, positive Korrelationen, wie 25/26 und 25/28, sind Hinweise darauf, dass die Unterstützung trotz erhöhter Erfahrung gestiegen ist, was zur letzten Hauptaussage führt:

5. Vorkenntnisse der Projektbeteiligten reduzieren in den Projekten nicht die Projektunterstützung.

Diese letzte Hauptaussage stützt sich auf die Beobachtungen der Korrelationen innerhalb der Implementierungsparameter. Trotz erhöhter Vorkenntnisse der ausführenden Bauunternehmen und des externen Projektmanagements wurden die externe Unterstützung und die Anzahl der Workshops erhöht. Diese Aussage scheint auf den ersten Blick paradox. Eine mögliche Erklärung für diese Aussage kann durch den Maßstab der Erfahrung gegeben werden. Wie bereits erwähnt, handelt es sich bei allen Projektstudien um Pilotstudien. Erste Erfahrungen in der Taktplanung sind nicht gleichbedeutend mit der Fähigkeit der selbständigen Anwendung. Die Beobachtungen des Verfassers zeigen, dass erste Erfahrungen mit der Taktplanung die Bereitschaft, externe Unterstützung anzunehmen, deutlich steigern.

6.5 Zusammenfassung

Die Projektstudie umfasst die Erhebung von 28 Attributen in jedem Projekt. Diese Attribute teilen sich in Projektattribute, Taktattribute, Zeitattribute und Implementierungsattribute. Auf Basis eines statistischen Korrelationsverfahrens mit Rangkorrelationen wurden zwischen den 28 Attributen übergreifend für alle zehn Projekte positive wie negative Beziehungen ermittelt.

Die Korrelationen wurden bzgl. der terminlichen Wirkung analysiert und in fünf relevante Hauptaussagen zusammengefasst:

1. Projekte mit langer Vertragslaufzeit generieren weniger Zeitreduzierung als Projekte mit kürzerer Vertragslaufzeit.
2. Projekte mit einer langen Projektdauer steigern die Komplexität der Taktattribute und damit die Komplexität der Taktplanung.
3. Projekte mit komplexer Taktplanung belassen mehr zeitliche Puffer innerhalb der Gewerkezüge.
4. Komplexe Projekte hatten Projektleiter mit wenig Erfahrung in der Taktplanung.

5. Vorkenntnisse der Projektbeteiligten reduzieren in den Projekten nicht die Projektunterstützung.

Es ergibt sich ein Bild der Wirksamkeit der Taktplanung abhängig von unterschiedlicher Projektgröße und der Erfahrung der Projektbeteiligten. Sowohl große als auch komplexe Projekte reduzieren den zeitlichen Effekt relativ zu kleineren und einfachen Projekten. Die Erfahrungen des Projektleiters des Bauherrn sollten hierbei berücksichtigt werden. Der Implementierungsaufwand wird sich bei Folgeprojekten erst einmal nicht reduzieren.

7 Analyse zeitwirksamer Mechanismen beim Einsatz der Taktplanung

7.1 Einleitung

Der Einsatz der Taktplanung in Projekten hat wie in Kapitel 5 aufgezeigt das Potenzial zeitreduzierenden Effekte zu erzielen. Die Gründe der Zeitreduzierungen werden in diesem Kapitel beschrieben und analysiert. Ziel ist die Beschreibung und Strukturierung der Mechanismen, die beim Einsatz der Taktplanung Einfluss auf die Bauzeit haben.

7.2 Beschreibung der zeitwirksamen Mechanismen

7.2.1 Vorbemerkung

Aufbauend auf den Ergebnissen aus Kapitel 0 werden in diesem Unterkapitel die Wirkmechanismen analysiert und beschrieben, die für die Zeitreduzierung in den Projekten verantwortlich sind. Es wird auf die aktiven und damit direkt wirksamen sowie auf die passiven und damit indirekt wirksamen Elemente eingegangen.

7.2.2 Einordnung von zeitlichen Puffern

Der Duden beschreibt den zeitlichen Puffer als einen „*als Zeitreserve eingeplanten freien zeitlichen Zwischenraum zwischen Terminen oder Punkten eines Zeitplans*“ (Dudenredaktion 2014). Um zeitliche Ziele erreichen zu können, gibt es verschiedene Arten der Zeitoptimierung. Der Bauherr hat nur bedingt Einfluss auf die direkte Wertschöpfung der Gebäudeerstellung, jedoch können Pufferzeiten mitgestaltet werden.

Die Zeiträume der Wertschöpfung in der Bauausführung werden durch die Implementierung der Taktplanung nicht zwangsläufig geändert. Basierend auf traditionellen Aufwandswerten kann eine Taktplanung erstellt werden. Der Einflussbereich der Bauherren erstreckt sich meist nur auf die Entscheidungsebene (*Makroebene*) mit partieller Wirkung auf die Planungsebene (*Normebene*). Auf diesen Ebenen werden keine wertschöpfenden Arbeiten manipuliert. Die zeitlichen Planungen umfassen in dieser Forschungsarbeit in erster Linie die Verwaltung, Planung und Dimensionierung von zeitlichen Puffern im Projektmanagement und nicht die Reduzierung der Puffer in der direkten Wertschöpfung.

Puffer stellen nicht nur Verschwendung dar. Es besteht ein Zusammenhang zwischen der Leistungsfähigkeit eines Projektes und dem Einsatz von Puffern (Sakamoto u. a. 2002, S. 11 f.) Durch die Darstellung von zeitlichen Puffern in einem Taktplan werden die Puffer mit den Dimensionen des Taktprozesses und der Taktlokation verbunden. Die Transparenz dieser mehrdimensionalen Puffer ermöglicht erst deren Definition und Manipulation.

7.2.3 Analyse der zeitlichen Effekte

Die Zeiteinsparungen sind in allen durchgeführten Fallstudien signifikant. Sie lassen sich unter Berücksichtigung der Normallaufzeit von Projekten auf die Anwendung der Taktplanung zurückführen. Die Gründe für die Zeitreduzierungen werden nachfolgend beschrieben. Eine Auflistung der ermittelten Stellhebel zur Beeinflussung der Projektdurchlaufzeit ist in Tabelle 22 dargestellt. Die Mechanismen wurden in aktiv und passiv unterteilt. Als aktiv wird hierbei eine klare technische Manipulation mit definiertem Effekt bezeichnet. Passiv sind weiche Mechanismen, die unterstützende Wirkung besitzen. Werden falsche Faktoren bzw. falsche Kombinationen der Faktoren zur Beeinflussung angewendet, so können zur Durchlaufzeitreduktion auch unerwünschte Effekte hinsichtlich der Prozessstabilität auftreten. Diese Nebeneffekte finden nach den Beschreibungen der Mechanismen Erwähnung.

Tabelle 22: Mechanismen zur Manipulation der Durchlaufzeit bei Anwendung von TPTS

Aktive Mechanismen	Passive Mechanismen
Pufferoptimierung	Synergie
Losgrößenverkleinerung	Kurzzyklische Qualitätskontrolle
Parallelisierung, Simul. Engineering	Transparenz
Flussorientierte Wiederholung	Kommunikation und Kultur
Harmonisierung	Flexibilität und Kundenorientiertheit
Waggonisierung	Auslastung
Teilflächenübergabe	

7.3 Aktive zeitwirksame Mechanismen

7.3.1 Vorbemerkung

Die Resultate der Projektstudie im Hinblick auf tatsächliche Realisierungszeiten zeigen im Mittel eine Reduzierung gegenüber dem Vertragszeitraum um 25,9 %. Klassische Projektrealisierungen des analysierten Bauherrn weisen, wie in Kapitel 4.5.4 erläutert, im Durchschnitt eine Überschreitung der gegebenen Vertragszeiträume um 10,8 % auf. Es ergibt sich eine theoretische durchschnittliche Reduzierung in den Fallstudien von 33,1 %. Aufgrund von nichtvorhandenen Daten zu den Gründen der Terminüberschreitungen werden die bekannten detaillierten Daten zwischen Vertragszeitraum und Taktrealisierungszeitraum in dieser Arbeit herangezogen. Im Weiteren werden zeitreduzierende Mechanismen einzeln beschrieben.

7.3.2 Optimierung von Zeitpuffern

Der Zeitpuffer stellt in einem völlig stabilen Ablauf ohne externe Einwirkung oder Behinderung eine Wartezeit dar und ist somit mit Verschwendung gleichzusetzen. Dennoch kann nicht gänzlich auf Puffer verzichtet werden, sie

müssen allerdings richtig dimensioniert und an einer passenden Stelle eingebracht werden (Poshdar u. a. 2015, S. 1). Bei nicht stationären Prozessen, wie dem Bauprozess, zeigt sich, dass durch den Einsatz von moderaten Zeitpuffern die Leistung der Baustellenabläufe gesamthaft gesteigert werden kann (Sakamoto u. a. 2002, S. 11 f.). Allgemein dienen diese Puffer als Ressourcenpolster oder Sicherheitsfaktor für Geld, Zeit, Material, Raum und vieles andere. Sie werden eingesetzt, um Schwankungen auszugleichen oder Ressourcenknappheit entgegenzuwirken (vgl. Alves und Tommelein 2004). Frandson (2015, S. 5) beschreibt die Entstehung von Puffern in der Taktplanung durch große Bereiche einzelner Bauaktivitäten (Losgröße), so dass terminliche Abweichungen nicht mehr sichtbar sind.

Der Zeitpuffer wird in weiteren Veröffentlichungen thematisiert. Es wird der Einsatz von Puffern beschrieben (vgl. Howell und Ballard 1998); (vgl. Horman und Kenley 1998), die Erstellungsweise in einem Produktionssystem (vgl. Tommelein Iris D. 1998); (vgl. Tommelein und Weissenberger 1999) oder die Nutzung von Kapazitätspuffern zur Steigerung der Leistung (vgl. Horman 2001). Literatur zur detaillierten Einteilung und Differenzierung von zeitlichen Puffern in getakteten Bauabläufen konnte in der Recherche für diese Arbeit nicht ausfindig gemacht werden. Daher werden nachfolgend alle Zeitpuffer beschrieben und definiert, die durch die in dieser Arbeit analysierten Fallstudien ermittelt werden konnten. Abbildung 41 bildet eine visuelle Zusammenfassung aller neun Pufferarten, die nachfolgend definiert werden.

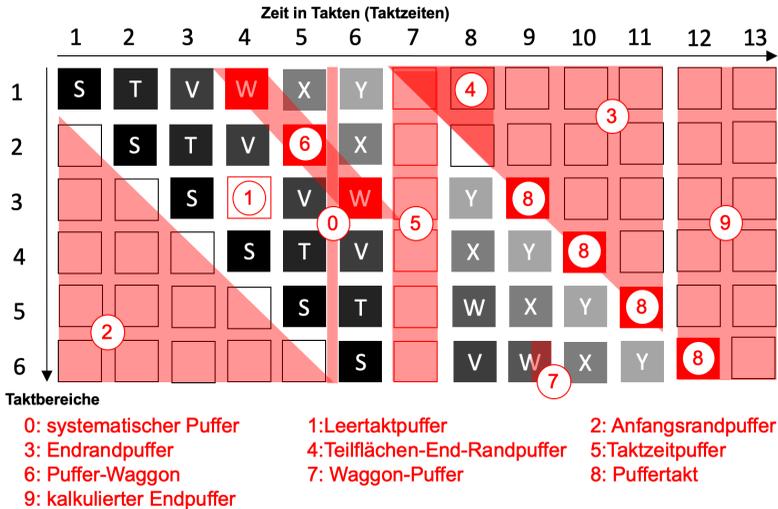


Abbildung 41: Arten von Zeitpuffern

(0) Der *systematische Puffer* stellt beispielsweise in einem Wochentakt das Wochenende dar. Es handelt es sich dabei um einen vom System natürlich vorgegebenen Puffer, der nicht explizit geplant werden muss, aber geplant werden kann. Bei einem Tagestakt tritt dieser Puffer mit dem Wochenende immer erst nach fünf Takten auf.

(1) Der *Leertaktpuffer* beschreibt eine fehlende Nutzung von Takten innerhalb des Flusses einer Werterstellung. Er kann geplant werden oder ungewollt zwischen einzelnen Waggonen auftreten. Hierfür können nicht harmonisierte Werkzeuge oder übersehene Einschränkungen verantwortlich sein.

(2) *Anfangsrandpuffer* werden auch als Anlaufpuffer bezeichnet. Es handelt sich um einen Puffer, der systembedingt immer auftritt. Er entsteht, da die Steigung der Waggonen nur begrenzt ansteigen kann (Anlaufkurve). Prinzipiell stehen die Flächen zu diesem Zeitpunkt leer, ohne dass auf ihnen Wertschöpfung betrieben wird.

(3) Der *Endrandpuffer* bildet das Gegenstück zum *Anfangsrandpuffer* und wird auch *Abklingpuffer* genannt. Prinzipiell stehen die finalisierten Flächen zu diesem Zeitpunkt leer, ohne dass auf ihnen nachfolgende Arbeit stattfände. Es handelt sich bei den Pufferarten 2 und 3 um den jeweils größten Einzelpuffer in einem Projekt. Er ist nicht geplant, sondern systemisch vorhanden. Reduzierungen in dieser Pufferart haben einen hohen optimierenden Einfluss, ohne die Wertschöpfung zu bedingen.

(4) Der *Teilflächen-End-Randpuffer (TER-Puffer)* stellt das Resultat einer solchen Optimierung dar. Er wird genau wie der Gesamtflächen-End-Randpuffer definiert, umfasst aber nur das Dreieck am Ende der Teilfläche, die früher übergeben und für wertschöpfende Tätigkeiten genutzt werden kann. Bei einem Taktplan mit drei Teilflächenübergaben entstehen drei Teilflächen-End-Randpuffer. Die Gesamtsumme der Teilflächen-End-Randpuffer ist erheblich kleiner als der Gesamtflächen-End-Randpuffer.

(5) Ein *Taktzeitpuffer* betrifft eine komplette Taktzeit und kann entweder vorhersehbar sein (Weihnachtszeit, Feiertage oder Zugstopp) oder aber auch ungeplant auftreten (Witterungsbedingungen, Streik oder Unfall).

(6) Ein *Puffer-Waggon* stellt einen Waggon in dem Gewerkzug dar, in dem keine tatsächliche Arbeit stattfindet. Er kann gezielt eingesetzt werden, um beispielsweise einen Platzhalter für Trocknungszeiten, Maschinenwechsel oder Sicherheitsflächen zu erzeugen.

(7) *Waggon-Puffer* definieren die Pufferzeit innerhalb eines Waggons. Er setzt sich aus dem schwimmenden Puffer (Abbildung 16) und den Restzeiten, die durch die Harmonisierung nicht genutzt werden konnten, zusammen. Ein Waggon mit Halb-Wochentakt (2,5 Tage), aber real zwei Tagen Arbeit beinhaltet einen halben Tag Waggon-Puffer und zwei reale Tage Arbeit.

(8) Der *Puffertakt* ist dem Puffer-Waggon ähnlich, unterscheidet sich jedoch in seiner Positionierung. Er ist vor allem vor oder hinter einem Gewerkzeug zu finden und ist nicht mehr Teil des Zuges. Diese Pufferart tritt vor allem an Schnittstellen zwischen zwei Gewerkzügen wie z. B. Rohbau und Ausbau auf.

(9) Beim *kalkulierten Endpuffer* handelt es sich um sämtliche Zeitersparnisse aus dem optimierten Prozessablauf. Dieser Puffer wirkt auf den ersten Blick wie unnötige Zeit. In Wirklichkeit wurde er aber bewusst nach der Wertschöpfung eingeplant. Er steht der Baustelle als allgemeine Zeitreserve zur Verfügung und wird nur verbraucht, wenn die Werterstellung ihn benötigt. Bei fehlendem Bedarf wird er als Zeitgewinn bilanziert. Damit stellt er die wirkungsvollste Pufferart dar, die zur Zeiteinsparung genutzt werden kann. Eine Transformation aller anderen Arten in den *kalkulierten Endpuffer* bildet das entscheidende Ziel zum tatsächlichen Zeitgewinn in Bauprozessen.

Alle Projekte hatten in der initialen Taktplanung einen *kalkulierten Endpuffer* zwischen 15 % und 50 %. Durch die Reduzierung aller Pufferarten konnte somit auch die Ausführungszeit reduziert werden. In allen Fallstudien wurde der kalkulierte Endpuffer als allgemeiner Projektpuffer definiert, der nicht aus der Planung zu entfernen ist, sondern im Projekt belassen werden muss. Somit konnten für das Projektteam Sicherheit und auch Flexibilität erzeugt werden.

Nebenwirkungen

Die Reduzierung von Puffern im Allgemeinen hat die Auswirkung, dass dem Projekt Zeitoptionen und Möglichkeiten zur Werterstellung genommen werden. Das bedeutet nicht zwangsläufig, dass die Projektleistung darunter leidet. Sakamoto u. a. (2002, S. 11 f.) beschreiben Berechnungen mit reduzierten, aber moderaten Puffern, durch die sogar die besten Leistungen erzeugt werden konnten.

7.3.3 Losgrößenverkleinerung

Im Bauwesen stellt die Losgröße die Größe der Arbeitsflächen (Taktbereiche) pro Takt dar (Shim 2011, S. 930). Die Anzahl der Taktzeiten steht in direktem Zusammenhang. Bei Verdopplung der Flächen durch Halbierung der Losgröße verdoppelt sich auch die Anzahl der Taktzeiten bei gleichzeitiger Halbierung der tatsächlichen Zeit pro Taktzeit. Kleinere Losgrößen ermöglichen ein geringeres Risiko, erzeugen weniger Kosten und liefern schneller sichtbare Ergebnisse (vgl. Reinertsen 2009), (Nielsen und Thomassen 2004, S. 1).

Losgrößenverkleinerung (LGV) ermöglicht die Verkürzung der Gesamtdauer eines Produktionsprozesses, der *Fluss* kann verbessert werden, die Kontrolle der Planung fällt leichter und die Baustelle lässt sich flexibler und leichter steuern (Valente u. a. 2013, S. 1037).

Mehrere Autoren weisen in Veröffentlichungen auf die Wirkungsweise der LGV hin (Tommelein u. a. 1999), (Alves und Tommelein 2004), (Dlouhy u. a. 2017a, S. 7 ff.). Das Prinzip wurde in den Publikationen allgemein erläutert oder an Beispielen mit klaren Unterteilungen in kleine Raumeinheiten (z. B. Hotel- oder Wohnungsbau) dargestellt. Bei einzelnen Veröffentlichungen, wie bei Ward und McElwee (2007) oder Dlouhy u. a. (2017a), wird dieser Effekt auch auf nicht direkt wiederholbare Gebäudestrukturen übertragen. Immobilien, bei denen eine kleine räumliche Einteilung auf den ersten Blick nicht eindeutig ist, können bspw. Supermärkte (Ward und McElwee 2007, S. 547), (Dlouhy u. a. 2017a, S. 8) oder die hier betrachteten Produktionsimmobilien sein. Klassische Baustellen weisen eine deutlich größer geplante Losgröße auf als die Größe der Taktbereiche von getakteten Bauprojekten. Ein Grund hierfür kann die auf die Gewerke bezogene Ausführungsplanung sein, in der das Gewerk losgelöst von restlichen Prozessen geplant und optimiert werden soll. Die LGV ermöglicht es, die tatsächliche Wartezeit, also Zeit, in der auf einer kleinen Fläche keine Arbeiten stattfinden, transparent darzustellen (vgl. Ward und McElwee 2007). Hierfür können Werkzeuge zur Visualisierung, wie „Line of Balance“ (LOB) oder der *Taktplan*, genutzt werden.

In Abbildung 42 wird die *Losgrößenverkleinerung* anhand eines Taktplanes schematisch dargestellt. Nummer 1 zeigt einen klassischen Ablauf von Arbeitsprozessen (w, x, y, z) hintereinander mit großer Losgröße (einem Taktbereich). In Nummer 2 werden die Arbeiten in drei kleinere Losgrößen aufgeteilt. Die Abfolge der Arbeitsprozesse bleibt bestehen. Bei Nummer 3 werden die Arbeitsprozesse mit der kleineren Losgröße sequenziert. Das Resultat zeigt in diesem Beispiel eine Reduzierung von zwölf auf sechs Taktzeiten, was einer relativen Zeitreduzierung von 50 % entspricht.

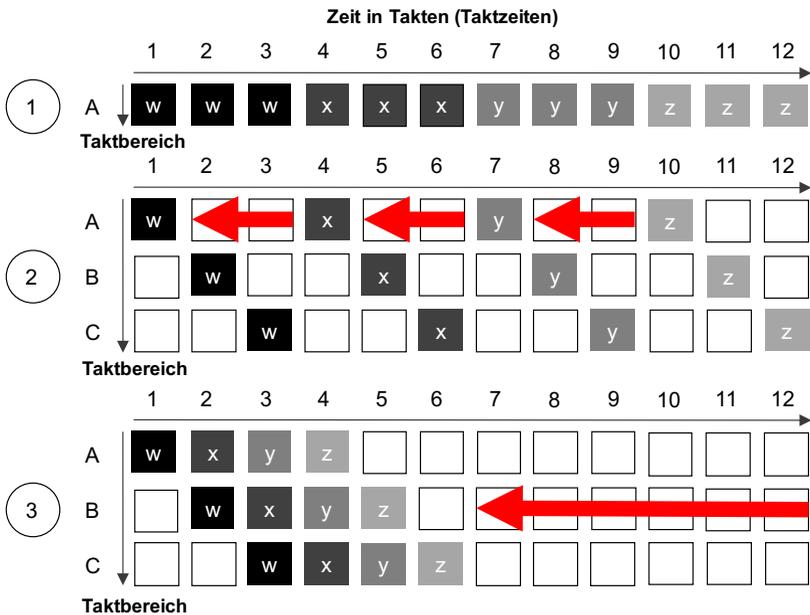


Abbildung 42: Losgrößenverkleinerungs-Effekt

Der Effekt kann durch ein Losgrößen-Verhältnis berechnet werden. Formel 8 beschreibt die Berechnung als Verhältnis aus derzeitiger Losgröße (LG) und maximaler Losgröße multipliziert mit der Anzahl an kritischen Aktivitäten.

$$\text{Losgrößenverhältnis} = \text{Anzahl kritische Aktivitäten} * \frac{\text{derzeitige LG}}{\text{max.LG}}$$

Formel 8: Losgrößeneffektnach Ward (2007, S. 546 f.)

Ward (2007) detailliert seine Überlegungen jedoch nicht über die zwei Fallstudien hinaus. Der zeitliche Effekt entsteht durch den früheren Beginn der einzelnen Arbeitsinhalte. Die tatsächliche Arbeitszeit wird dabei nicht verkürzt. Jedoch erzielt man durch eine frühere Übergabe der kleinen Flächen an das Folgegewerk bei jedem neuen Arbeitsinhalt Zeit in der Gesamtbetrachtung. Weitere Teilungen in kleinere Raum- oder Flächeneinheiten bieten zwar

erneutes Optimierungspotential. Es existiert jedoch ein abnehmender Grenznutzen.

Abbildung 43 zeigt die Anwendung der Losgrößenverkleinerung exemplarisch in Kombination mit der Taktzeitreduzierung; hierfür wird Formel 5 zur Berechnung der Durchlaufzeit genutzt. Nummer 1 der Abbildung zeigt eine Terminplanung ohne Überlappung der Arbeiten. Nummer 2 beschreibt eine klassische Terminplanung mit nicht flächenbezogener Überlappung der Arbeiten von 50 %. Nummer 3 visualisiert den ersten Einsatz einer Taktplanung. Die erste Halbierung der Taktbereiche und damit der Taktzeit wird in Nummer 4 und die zweite Halbierung in Nummer 5 zusammengefasst. Von der klassischen Terminplanung (Nummer 2) zur kleinen Losgröße der Taktplanung wird die Durchlaufzeit von 25 auf 7,25 Wochen gesenkt, was einer Reduzierung um 71 % entspricht. Hierbei handelt es sich um eine theoretische Betrachtung. In der Praxis muss anhand der Rahmenparameter deren Umsetzung geprüft werden.

Piktogramm	Berechnung	Beschreibung
 ①	$(1 + 50 - 1) \times 1 \text{ Woche} = 50 \text{ Wochen}$	(keine Parallelisierung)
 ②	Referenz Terminplanung 25 Wochen	(50% Parallelisierung)
 ③	$(5 + 10 - 1) \times 1 \text{ Woche} = 14 \text{ Wochen}$	(erste Taktplanung)
 ④	$(10 + 10 - 1) \times 0,5 \text{ Woche} = 9,5 \text{ Wochen}$	(Halbierung Fläche und Zeit)
 ⑤	$(20 + 10 - 1) \times 0,25 \text{ Wochen} = 7,25 \text{ Wochen}$	(Halbierung Fläche und Zeit)

Abbildung 43: Wirksamkeit der Losgrößenverkleinerung in Kombination mit der Taktzeitreduzierung

Nebenwirkungen

Eine Losgrößenverkleinerung von 50 % erzeugt einen Anstieg der Takte um Faktor vier. Dieser starke Anstieg von Takten bewirkt einen deutlich erhöhten Steuerungsaufwand. Zusätzlich verdoppelt sich die Anzahl an Bewegungen

der Gewerke. Dieser Anstieg muss beherrschbar bleiben. Die Komplexität im System steigt. Die Stabilität der Abläufe kann gefährdet sein, da durch die Reduzierung der Taktzeit auch die Reaktionszeit bei Störungen verringert wird. Jedoch erhöht sich die Wertschöpfung pro Taktzeit. Abbildung 44 stellt dieses Verhältnis an einem Beispiel eines Gewerkezugs mit zehn Waggons dar. Der schwarze Graph beschreibt die Veränderung der Gesamtdurchlaufzeit des Zuges durch mehrfache Taktzeithalbung in Kombination mit einer Flächenhalbung. Der rote Graph zeigt den Anstieg der Takte innerhalb des Zuges.

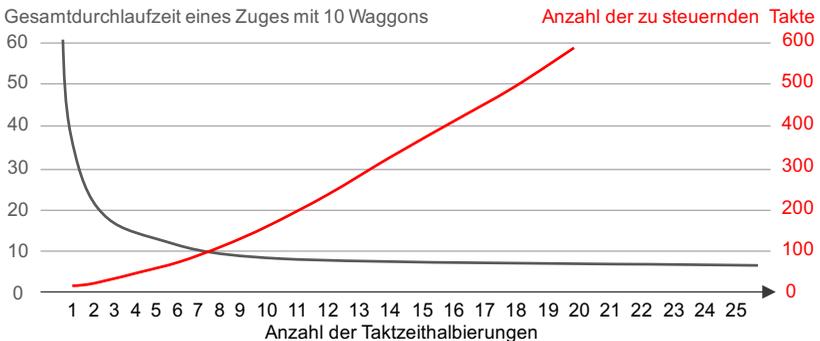


Abbildung 44: Reduzierung Gesamtdurchlaufzeit und Anzahl der zu steuernden Takte in Abhängigkeit der Anzahl der Taktzeithalbierungen

7.3.4 Parallelisierung

Die Parallelisierung beschreibt eine zeitparallele, simultane Durchführung von Arbeitsschritten, Prozessen oder Teilprozessen. Im Bauablauf wird sie beispielhaft bei einem Totalunternehmer (TU) oder Generalunternehmer (GU) mit Verantwortung für Teile der Planung verwendet, der durch eine Parallelisierung von Ausführungsplanung und Bauausführung eine Verkürzung des gesamten Bauprozesses realisieren kann (Abbildung 45). Durch die Parallelisierung von Herstellungsprozessen und reduzierten Schnittstellen ist eine schnellere und störungsfreie Ausführung möglich (vgl. Girmscheid 2010b, S. 459 ff.).

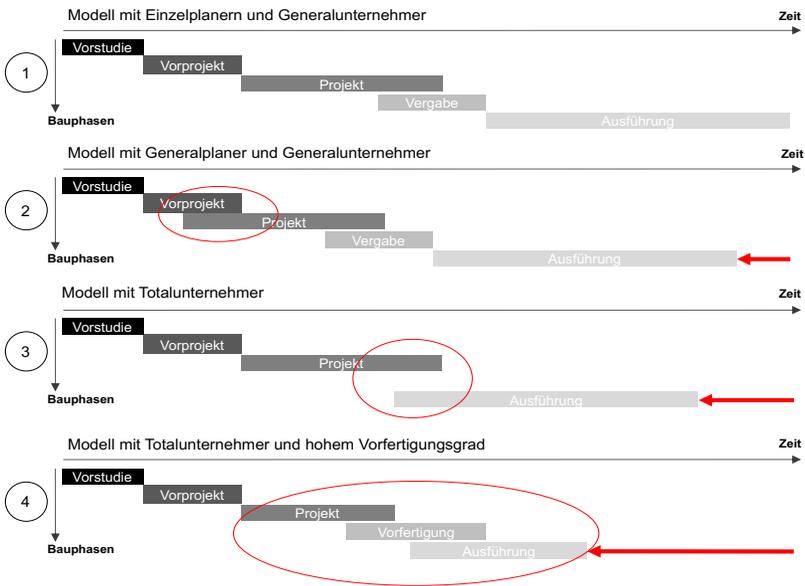


Abbildung 45: Beschleunigte Projektrealisierung durch Parallelisierung von Prozessabläufen (nach Girmscheid 2010, S. 194)

In der Taktplanung findet eine Parallelisierung beispielsweise durch die Bündelung von Arbeitspaketen innerhalb eines Waggons statt. Dabei arbeiten unterschiedliche Gewerke zur selben Zeit auf derselben Fläche. Arbeiten können jedoch nur dann parallel ausgeführt werden, wenn zu ihrer Ausführung ausreichend Verarbeitungseinheiten zur Verfügung stehen, es also nicht zum Ressourcenkonflikt kommt. Außerdem darf keine echte Abhängigkeit zu zuvor regulär ausgeführten Operationen existieren (vgl. Liebig 2003). Wenn eine Parallelisierung erfolgreich durchgeführt wird, werden die Durchlaufzeiten reduziert, was einem effektiven Zeitgewinn entspricht.

Der Schwerpunkt in der Bauindustrie liegt auf einer reinen, früh erzwungenen Detailtiefe und (zumindest partiellen) Parallelisierung von Planung und Ausführung (Blasberg 2005, S. 134 ff.). Diese Form der Parallelisierung von Schnittstellen (Planung, Rohbau, Ausbau, Gebäudetechnik, Anlagenaufbau, Inbetriebnahme) wird unter dem Punkt Teilflächenübergabe behandelt.

Die Taktung eines Gewerkezugs erzeugt den Effekt der Parallelisierung einzelner Bauprozessschritte (z. B. Arbeitspakete im Rohbau, Gebäudetechnik, Ausbau etc.). Prozessschritte bestehen normalerweise aus Teilprozessen, die wiederum sukzessiv oder parallel ausgeführt werden können. Ein Beispiel kann die Entkopplung und parallele Ausführung von Rüstzeiten sein (vgl. Bullinger et al. 2003, S. 342). Dieser Effekt wird unter dem Punkt *Waggonisierung* zusammengefasst.

Die *Losgrößenverkleinerung* (LGV) stellt ebenfalls eine Form der Parallelisierung dar. Durch die Einteilung in kleinere Flächen beginnen die einzelnen Arbeiten deutlich früher. Die Überlappung der Zeiträume einzelner Gewerke wird verstärkt parallelisiert. Dies wird unter dem Punkt *Losgrößenverkleinerung* beschrieben. Die nicht getakteten Arbeiten (*workable backlog*) müssen nach den getakteten Inhalten umgesetzt werden. Durch die Realisierung von nicht getakteten Arbeiten innerhalb von Taktzeiten wird eine höhere Parallelisierung von Arbeiten erreicht. Damit diese Arbeiten durchgeführt werden können, muss *Zeitüberschuss* in den Waggonen identifiziert werden, der dann für *workable backlogs* genutzt wird.

Die verschiedenen Parallelisierungsarten sind in Abbildung 46 noch einmal veranschaulicht. Die erste Art stellt die LGV dar, die zweite zeigt die *Waggonisierung*. Parallelisierungsart 3 veranschaulicht die Gleichzeitigkeit von Zügen und die letzte Art der Parallelisierung zeigt die Erzeugung von Arbeit aus den nicht getakteten Arbeiten innerhalb eines Waggonen.

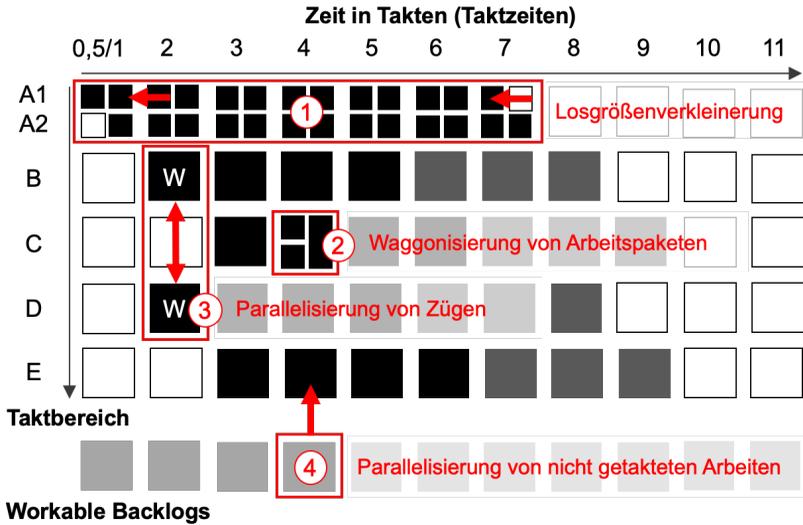


Abbildung 46: Parallelisierungs-Effekt

Nebenwirkungen

Die Parallelisierung bedeutet, dass mehr Arbeitspakete gleichzeitig in demselben Taktbereich bearbeitet werden oder zur selben Taktzeit stattfinden. Diese Konzentration kann zu einer Störung der einzelnen Arbeiten führen, wenn die Parallelisierung einen zu hohen Grad erreicht. Der Koordinations- und Steuerungsaufwand erhöht sich deutlich durch konzentrierte Parallelisierung. Die Zulieferung von Material muss gewährleistet sein. Der Wertschöpfungsanteil pro Taktzeit steigt jedoch an.

7.3.5 Harmonisierung

Eine Harmonisierung kann innerhalb eines Waggons, innerhalb eines Zuges oder innerhalb eines Projektes mit mehreren Gewerkezügen erfolgen.

Die Harmonisierung der Waggons hat das Ziel, eine gleichmäßige Auslastung der Arbeitsinhalte zu erzeugen. Durch eine ausgeglichene Arbeitsverteilung

können die ausführenden Gewerke ihre Takte ungehindert bearbeiten. Es wird ein kontinuierlicher Fluss geschaffen. Wie in Kapitel 2.7.4 beschrieben, kann die Harmonisierung berechnet und durch Manipulation der Mitarbeiterstärke und der Arbeitsinhalte angepasst werden. Weitere Möglichkeiten der Manipulation stellen beispielsweise eine Vorfertigung oder andere Beschleunigungsmaßnahmen (vgl. Körtgen 2010, S. 31 f.) dar. Auch der gezielte Einsatz von Puffern kann zur Harmonisierung genutzt werden.

Abbildung 47 zeigt, welche Zeitpotentiale durch die Harmonisierung von Zügen entstehen können. Jedes der fünf Gewerke arbeitet in beiden Szenarien gleich lange auf der Baustelle und dennoch können vier Taktzeiten und damit knapp 29 % Zeit eingespart werden. Das Balkendiagramm (Grafik 1), in dem schon eine gewisse Parallelität (flächenunabhängig) vorliegt, wird in Grafik 2 in einen Taktplan übertragen. Im Gewerk V muss mindestens die Hälfte der Fläche bearbeitet sein, bevor mit Gewerk W begonnen werden kann (z. B. aus statischen Gründen). Im Gewerk X werden zwei Teilflächen in einem Takt umgesetzt, so dass es genügt, wenn die Arbeiter für ihre Arbeit nur zweimal auf der Baustelle erscheinen. Für Gewerk Y wiederum werden zwar zwei Taktzeiten benötigt, aber es müssen nur auf zwei der vier Teilflächen Arbeiten ausgeführt werden. Das Gewerk Z kann schließlich wieder „hinterherlaufen“, kommt aber erst im siebten Takt auf die Baustelle, um im Anschluss durchgängig beschäftigt zu sein. Da diese Abläufe nicht einem linearen Ablauf eines Gewerkezugs entsprechen, werden sie als Gewerkezugmuster oder auch nur als Taktplanmuster bezeichnet.

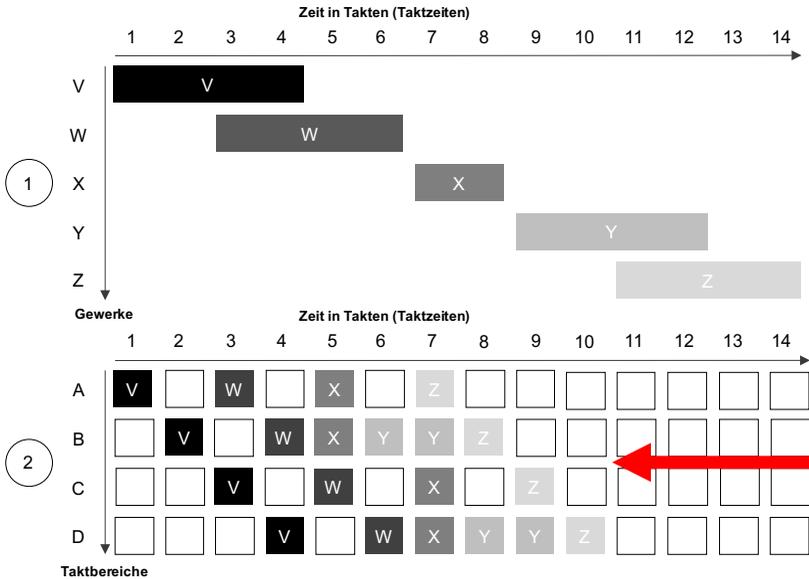


Abbildung 47: Harmonisierungs-Effekt

Nebenwirkungen

Eine nicht korrekt durchgeführte Harmonisierung führt zwangsläufig zu einer Unter- oder Überbeanspruchung der Arbeiter. Die Unterbeanspruchung erzeugt Wartezeiten oder Ausweicarbeiten sowie erhöhten Steuerungsaufwand. Wartezeiten führen zum Verbrauch von Pufferzeiten. Ausweicarbeiten können die Arbeiten von anderen Gewerken stören. Die Überbeanspruchung führt zu einer Verfehlung der Taktziele. Es verzögern sich die Arbeiten des nächsten Waggons, was Behinderungen im Arbeitsablauf erzeugen kann.

7.3.6 Flussbasierte Wiederholung

Die Harmonisierung ermöglicht dem Gewerkzug, mit seinen Waggons in einem kontinuierlichen Takt zu bleiben und damit einen geregelten Fluss zur Werterstellung des Bauprojektes sicherzustellen. Neben dem Fluss eines

Einzelgewerkes handelt es sich hierbei um einen Fluss der Wertschöpfung und damit aller Gewerke. Das Ziel ist es, Wartezeiten für Arbeiter oder Maschinen zu verringern und Anhäufungen von Material oder Umlaufbestand (Work in Progress = Halbfabrikate) zu vermeiden (Faloughi u. a. 2015, S. 164 ff.).

Ein einfacher Fluss der Gewerke entspricht aber in erster Linie nur einer durchgängigen Auslastung der Arbeitskräfte. Die Arbeitsinhalte der Gewerke können immer noch stark variieren, wodurch ein erhöhter Stillstand möglich ist. Der über die waggonisierten Arbeitspakete erzeugte Wiederholungseffekt ermöglicht die Standardisierung von Rüstzeiten und die Nutzung von routinieren Arbeitskräften. In einigen Fallstudien (z. B. P2 wurde nach drei bis fünf sich wiederholenden Waggons eine deutlich verbesserte Arbeitsleistung festgestellt. Die Arbeiten konnten bei mehrfachen Wiederholungen zwischen 10 % und 30 % früher als geplant fertiggestellt werden. Dieser Effekt lässt sich nicht direkt zeitlich nutzen. Es besteht jedoch durch die höhere Effizienz die Möglichkeit, weitere Effekte, wie beispielsweise die Parallelisierung von Pufferarbeitspaketen (*workable backlogs*) oder die Erhöhung der Arbeitsleistung, in einem Waggon einzusetzen.

Der flussbasierte Wiederholungseffekt lässt sich auf Baustellen erzeugen und transparent darstellen. Unabhängig davon, wie viele Gewerke bzw. Arbeitspakete sich in einem Waggon befinden, bewegt sich der Gewerkezug von Taktbereich zu Taktbereich über die Baustelle (siehe auch Abbildung 48). Auch wenn der fließende Wiederholungseffekt nicht immer linear sichtbar ist, wie in Grafik 2 der Abbildung 48, so lässt sich oft trotzdem eine Wiederholung ausmachen.

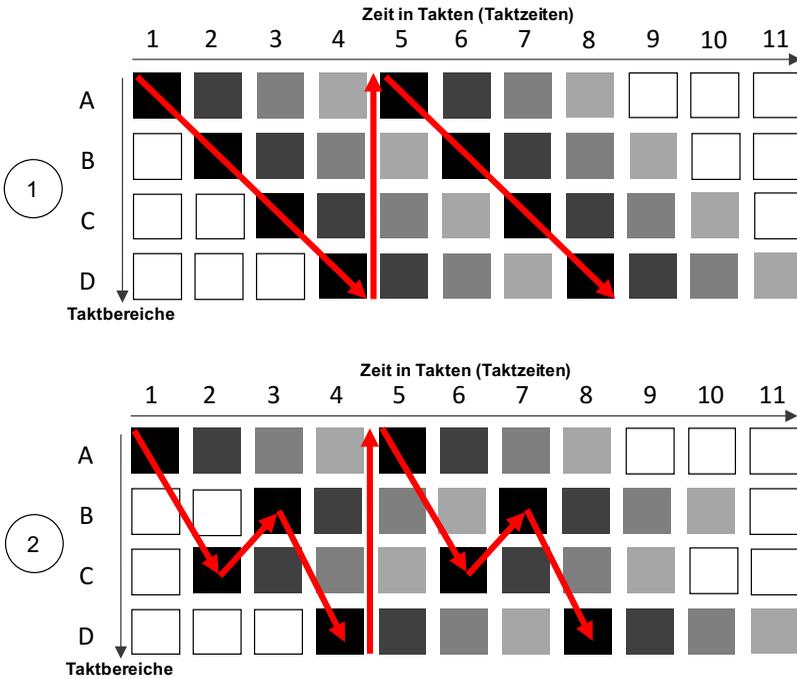


Abbildung 48: Fließender Wiederholungseffekt im Taktplan

Nebenwirkungen

Bei zu hoher Wiederholung der Arbeiten kann sich eine zu starke Routine bei den Arbeitern einstellen. Besonders bei kleinen Taktzeiten ist eine geistige Ermüdung der Mitarbeiter möglich.

7.3.7 Waggonisierung

Die Waggonisierung stellt eine Art der Parallelisierung auf Ebene der Gewerke dar. Ein Waggon beschreibt eine Aufnahmeeinheit für Arbeitspakete in einem Gewerkezug, der immer durch einen Taktbereich innerhalb einer Taktzeit definiert ist. In diesen Container werden nun Arbeiten eingesetzt. Dabei können

die Arbeiten zwei unterschiedliche Beziehungen besitzen. Sie können aufeinander aufbauen oder nebeneinander herlaufen. Aufbauende Arbeiten werden in ihrem Arbeitsaufwand summiert. Arbeiten, die nebeneinander ablaufen, werden einzeln für sich harmonisiert.

Ein Waggon beinhaltet mindestens ein Arbeitspaket (Arbeitsschritt 5 des TPTS), außer es handelt sich um einen Leerwagon (z. B. Trocknungszeiten). Wenn mehrere Arbeitspakete parallel auf einer Fläche ausgeführt werden, können auch mehrere Gewerke in einem Waggon zusammengefasst sein. Indem nicht alle Arbeitspakete hintereinander ausgeführt werden, können die Durchlaufzeit von Taktbereichen sowie die Gesamtzeit, wie in Abbildung 49 dargestellt, reduziert werden. Im hier beschriebenen Beispiel können in Grafik 2 gegenüber der Grafik 1 drei Takte und damit 30 % Zeiteinsparung generiert werden.

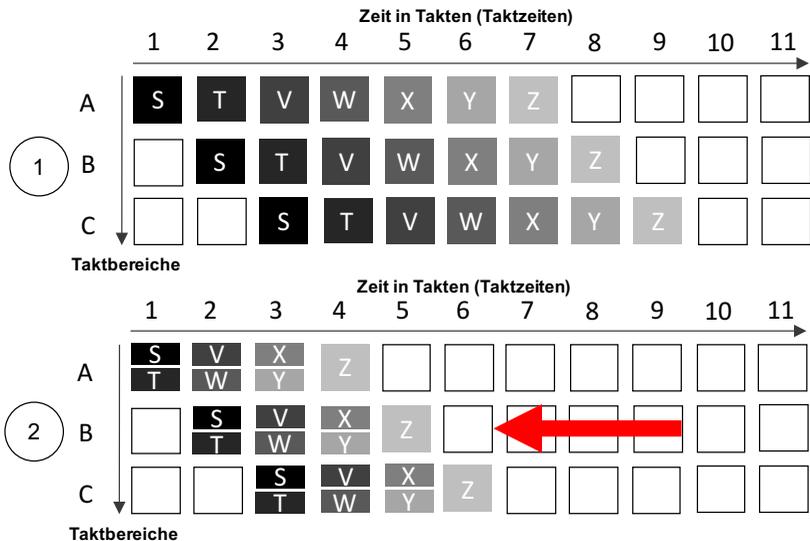


Abbildung 49: Waggonisierung

Nebenwirkungen

Eine nicht korrekt durchgeführte Waggonisierung kann eine Störung zwischen den zusammengefassten Gewerken erzeugen, wodurch die Leistung beeinträchtigt sein kann.

7.3.8 Langläufer

Beim *Langläufer-Mechanismus* wird frühzeitig mit der Realisierung von zeitintensiven Prozesssequenzen begonnen, womit ein maximaler Bearbeitungszeitraum bis Projektende ermöglicht wird. Dieser Effekt wird in vielen Baustellenplanungen mitberücksichtigt, jedoch selten methodisch beschrieben. Hauptsächlich wird für eine Berücksichtigung dieses Effektes eine flächenbezogene Terminplanung benötigt, um die nötige Transparenz für die Identifizierung von Langläufern zu erhalten. Für die Bauprojektdauer wirkt sich dieser Effekt, wie in Abbildung 50 erkennbar, zeitoptimierend aus. Durch das Priorisieren des Taktbereiches C können in dem vereinfachten Beispiel zwei Taktzeiten bzw. 22 % der Gesamtdauer eingespart werden.

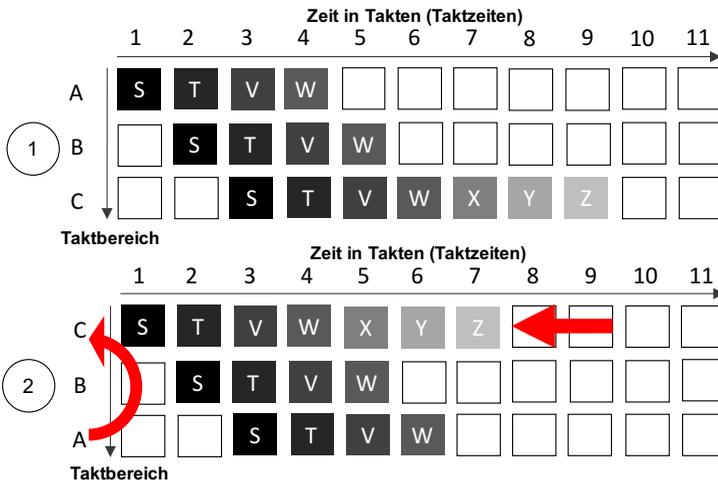


Abbildung 50: Langläufer-Mechanismus

Neben den rein technischen Langläufern besteht eine kundenorientierte Planung der Bauabläufe vor allem in der Teilflächenpriorisierung des Kunden. Hierfür muss der Nutzer bzw. der Bauherr des Projektes die Flächen bestimmen, auf denen seine Installationsumfänge die längste Aufbauzeit benötigen. Dadurch können die Flächen bei der Erstellung priorisiert und berücksichtigt werden. Somit hängen die Ermittlung von Langläufern und die Teilflächenübergabe inhaltlich zusammen.

Nebenwirkungen

Die Priorisierung von Langläufern schränkt die Priorisierung von Flächen durch Kunden ein. Die Auswahl der Langläuferflächen kann zu technischen Problemen im Ablauf führen.

7.3.9 Teilflächenübergabe

Die frühzeitige Nutzung bestimmter Flächen, bevor das Bauvorhaben beendet und vollständig übergeben ist, ist in vielen Bauprojekten gängige Praxis. 50 % der Fallstudien weisen eine frühzeitige Belegung von Flächen durch den anschließenden Nutzer auf (siehe Tabelle 23). Hierbei gibt es zwei Arten:

- Das Bauunternehmen kann dem Nutzer den Zugang zu der Fläche unter den üblichen Baustellenauflagen zur Sicherheit usw. erlauben. Hierbei handelt es sich um einen sogenannten frühzeitigen Zugang (*Early Access*). Dieser kann auch Bestandteil des Vertrages sein. Den rechtlichen Bedenken hinsichtlich Beschädigung und Behinderung wurde in den analysierten Projektstudien durch eine Vorabnahme mit Dokumentation und eine Teilnahme an den Taktbesprechungen entgegengewirkt.
- Eine formale Abnahme der Teilfläche. Damit geht die Verantwortung für die Fläche, aber auch deren Nutzung an den Nutzer oder Bauherrn über. Die Mängelbeseitigung kann auf dieser Fläche bereits beginnen. Die Frage zur Funktion von Systemen, die sich über die gesamte Projektfläche erstrecken, wird aktuell noch individuell gelöst. Gängig war in den hier analysierten Projektstudien eine Abnahme der Flächen ohne die Systeme wie Lüftung, Heizung usw.

Die erste Art der Teilflächenübergabe bietet eine einfache Möglichkeit, die Bauphase und die Phase des Anlagenbaus stückweise zu parallelisieren. Die zweite Art stellt aktuell noch einen größeren juristischen und technischen Aufwand dar (vgl. McGrigor 2010). Allerdings scheint es bei vermehrter Anwendung sinnvoll, ein standardisiertes Vorgehen zu erzeugen, wodurch auch die Abnahme, Mängelbeseitigung und Inbetriebnahme der getakteten Fertigstellung von Teilflächen folgen könnten.

Abbildung 51 beschreibt ein Beispiel der Teilflächenübergabe. Die Teilfläche 1 (A+B) wäre nach 42 % der Gesamtdurchlaufzeit zur Übergabe bereit. Wie in der Abbildung angenommen, stellen die Taktbereiche 1 bis 4 die Produktionsfläche dar. Diese Flächen können nach 58 % (7 von 12 Takten) der Zeit übergeben werden, während die Bauarbeiten auf den Büroflächen noch parallel stattfinden. In den analysierten Projekten wurden meist mehrere Taktbereiche zu einer Priorisierung der Flächen zusammengefasst, so dass am Ende drei bis vier Teilbereich-Übergaben existierten.

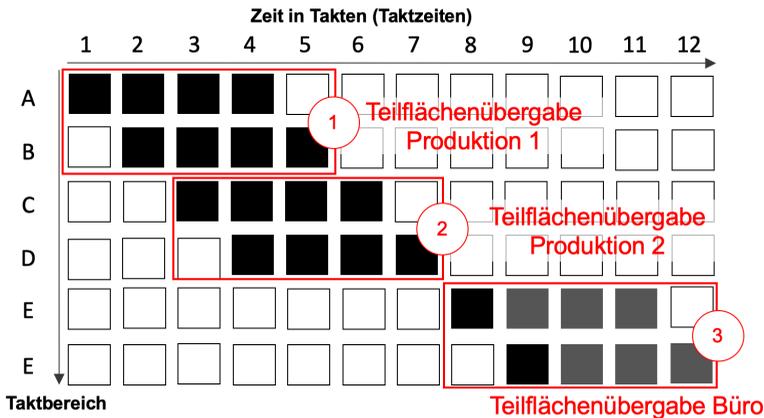


Abbildung 51: Teilflächenübergabe-Effekt

In den Projektstudien wurden die Teilflächenübergaben und die daraus resultierenden realen zeitlichen Effekte für die Teilflächen dokumentiert. Tabelle 23 zeigt die Ergebnisse der Projektstudien in Relation zu den Effekten der

Gesamtfläche. Die durchschnittlichen Ergebnisse der Teilflächenübergabe beziehen sich nur auf fünf Projektstudien, da nur in diesen die Teilflächenübergaben stattgefunden haben. Die Zeitreduzierungen für die erste Teilfläche liegen in Bezug auf die Vertragslaufzeit bei 50,7 %. Die erste Teilfläche bestand dabei im Schnitt aus 56 % der Gesamtfläche eines Projektes.

Tabelle 23: Zeitliche Effekte in den Fallstudien mit Teilflächenwerten

Projektstudie	Real Reduzierung in Prozent	Plan Reduzierung in Prozent	Real Reduzierung Teilfläche in Prozent	Größe erste Teilfläche in Prozent von Gesamtfläche
P1	20%	20%	keine	keine
P2	20%	20%	47,5%	50%
P3	44%	25%	keine	keine
P4	33%	33%	63%	31%
P5	54%	38%	65%	67%
P6	21%	21%	50%	44%
P7	16%	16%	28%	91%
P8	17%	19%	keine	keine
P9	10%	15%	keine	keine
P10	24%	41%	keine	keine
Durchschnitt	25,9%	24,8%	50,7%	56,6%

Als Hauptaussagen lassen sich ableiten, dass die Hälfte der Studien eine Teilflächenübergabe umgesetzt hat, wobei mehr als die Hälfte der Gesamtfläche nach der Hälfte der Vertragslaufzeit für den Kunden nutzbar gemacht wurde.

Nebenwirkungen

Die Übergabe von Teilflächen kann ein Zuständigkeitsproblem erzeugen. Durch die fehlende klare Definition und Abgrenzung von Teilflächen ist

sowohl der Schutz vor Beschädigungen als auch die klare Regelung von Sicherheitsvorschriften und Verantwortungen nicht immer zu gewährleisten. Die Abnahme von Systemen und Funktionen, die über die Teilflächen hinausgehen, kann zu einem früheren Termin normalerweise nicht erfolgen.

7.4 Passive zeitwirksame Mechanismen

7.4.1 Vorbemerkung

Neben den beschriebenen aktiven Mechanismen zur Zeitreduzierung in den Fallstudien existieren auch Mechanismen, die keinen direkt messbaren Effekt erzeugen. Jedoch zeigt sich durch die Ergebnisse der später vorgestellten Projektleiterbefragung (Kapitel 1) dass diese Mechanismen ebenfalls einen terminlichen Effekt aufweisen können.

7.4.2 Synergieeffekt

Synergie beschreibt das Zusammenwirken von unterschiedlichen Mechanismen, die sich gegenseitig fördern und mehr bewirken als jeder Mechanismus für sich allein. Die Waggonisierung erzeugt gemeinsam mit dem flussbasierten Wiederholungseffekt ein kontinuierliches Zusammenarbeiten von unterschiedlichen Arbeitspaketen. Dieses konstante Zusammenwirken von Arbeitsinhalten kann bei Akzeptanz der Mitarbeiter zu Synergien führen. Wie in Abbildung 52 Taktplan 1 dargestellt, können sich die Gewerke S/T, V/W wie auch X/Y aufgrund unterschiedlicher Waggonen nicht gegenseitig unterstützen oder sich in ihrer Arbeit aufeinander abstimmen. Taktplan 2 zeigt die Möglichkeit der Abstimmung wie auch Hilfestellung durch eine Waggonisierung der synergetischen Arbeiten.

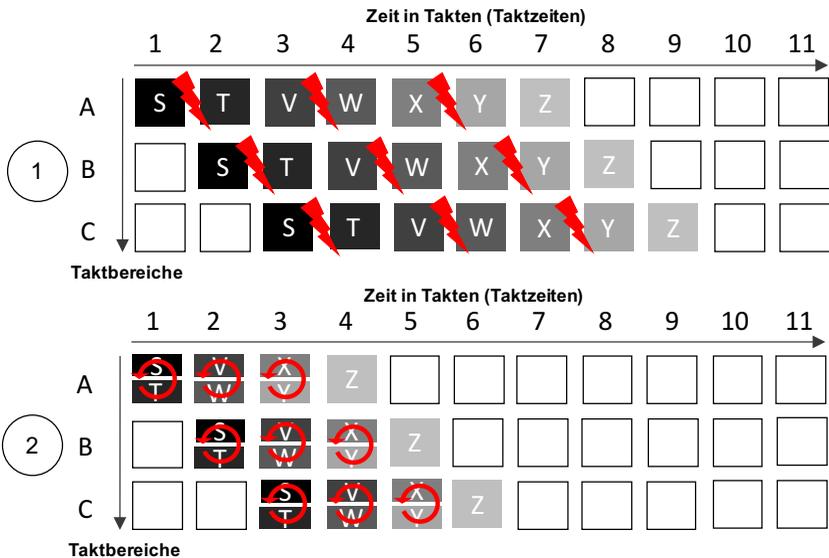


Abbildung 52: Effekt der Synergien innerhalb eines Waggons

7.4.3 Kurzzyklische Qualitätskontrolle

Durch die Taktbesprechungen mit wiederkehrenden Arbeiten entsteht ein kontinuierlicher Abgleich der Arbeiten. Die Qualitätskontrolle und die Leistungsermittlung finden nach jeder Taktzeit in jedem Taktbereich statt. Wie in Abbildung 53 dargestellt (Grafik 2), erfolgen bei einer getakteten Baustelle eine kurzzyklische Qualitätskontrolle, eine Fehlerentdeckung und eine Behebung des Fehlers nach einer Taktzeit. Der ermittelte Fehler kann so direkt für die wiederkehrende Arbeit in der zweiten Taktzeit angepasst werden. Nacharbeit bzw. Beseitigung des Defektes benötigt einen Mehraufwand, der die Zeiterparnis reduziert. Die Regelmäßigkeit und damit die Häufigkeit der Qualitätskontrollen sind im Taktplan (Grafik 2) der Abbildung 53 deutlich erhöht. Grafik 2 weist 14 Qualitätskontrollen im Vergleich zu vier Kontrollen in Grafik 1 auf.

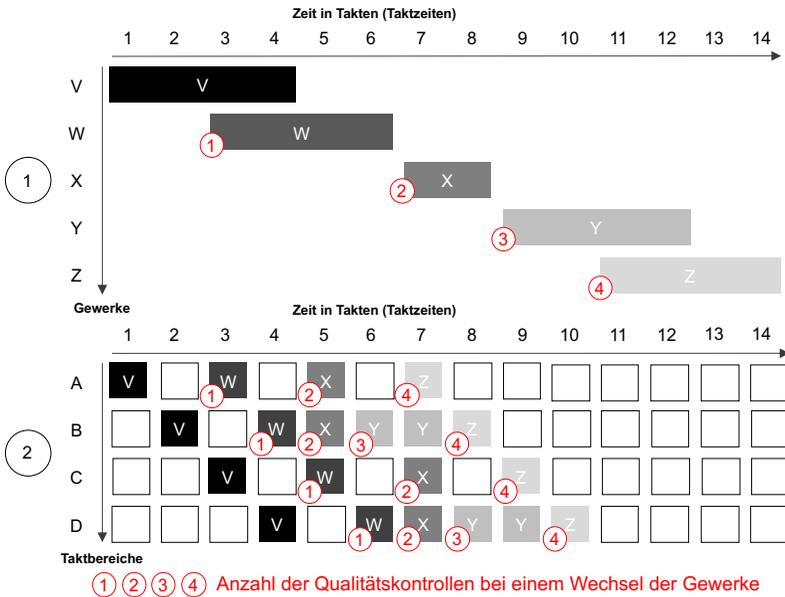


Abbildung 53: Effekt der kurzzyklischen Qualitätskontrollen

7.4.4 Transparenz

Die Transparenz der Bauprozesse für alle Projektbeteiligten stellt in der später vorzustellenden Projektleiterbefragung für sieben von zehn Projektleitern ein wichtiges Element zur Zeitreduzierung von Bauprojekten dar (siehe Kapitel 8.3.3). Durch einfache Darstellung der drei Dimensionen des Taktes im *Taktplan* werden die Zeitpuffer des Projektes sichtbar und die Anforderungen des Kunden auf den Wert (Fläche/Raum) übertragbar wie auch verfolgbar gemacht. Auch kann die Fertigstellung von Taktbereichen, von Arbeitsinhalten und Aufgaben für die aktuellen Takte abgelesen werden. Die Transparenz ist als wichtige Grundlage für alle Effekte zu bewerten. Ohne den *Taktplan* als Medium sind die beschriebenen Optimierungs- und Zeiteinsparungspotentiale schwierig in zusammenhängender Weise darzustellen. Die nachfolgende Abbildung 54 zeigt die transparente Darstellung der bestehenden Puffer im

Gesamtprojekt sowie auch die wichtigsten Aussagen zum aktuellen Stand des Bauprozesses. Hierunter fallen die aktuellen Arbeiten in der gegebenen Taktzeit, der Fertigstellungsgrad der einzelnen Taktbereiche oder auch der Fortschrittsgrad der Waggonen und der damit definierten Gewerke. Ebenfalls sind die Projektanforderungen des Kunden mit dargestellt (Teilflächenübergabe).

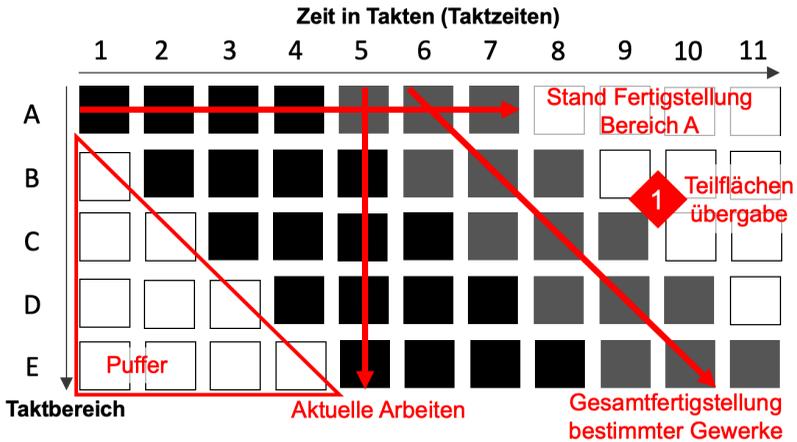


Abbildung 54: Transparenz-Mechanismus

7.4.5 Kommunikation und Kultur

Durch die vorab beschriebene Transparenz von Ausführungsprozessen und Puffern wird eine veränderte Kommunikationsgrundlage geschaffen. Mögliche Störungen der Baustellenabläufe durch Anforderungen des Bauherrn können nachvollziehbar bewertet werden. Entscheidungen über Optimierungen oder Kontrollen des Baufortschrittes werden methodisch unterstützt. Die Steuerung der Baustelle und die Planung der Abläufe finden in derselben Darstellungsform statt.

Eine Kultur, in der Potentiale transparent dargestellt und dokumentiert werden, sobald diese nicht genutzt werden, stellt die Baubeteiligten vor große Herausforderungen. Die technische Darstellung und methodische Wirkungsweise der

Taktplanung ermöglichen es allen Projektbeteiligten, die eigenen Erfahrungen und Denkweisen durch die Logik von Optimierungsprinzipien neu zu interpretieren, ohne eine andere Meinung zu übernehmen. Die Taktplanung ist in ihren technischen Regeln und Wirkungsweisen für alle Beteiligten gleich und damit auch für jeden erlernbar.

7.4.6 Flexibilität und Kundenorientierung (Bauherrenorientierung)

Flexibilität beschreibt die Beweglichkeit oder auch Biegsamkeit von Dingen, z. B. von Materialien oder Systemen. Die Flexibilität in einem System wie der Taktplanung ist nicht willkürlich. Sie ist von den Gesetzmäßigkeiten des Taktes abhängig. In vielen ersten Gesprächen zur Taktplanung wurden im Rahmen der Projektstudie Bedenken geäußert, die Systematik des Taktes schränke die Möglichkeiten zur Adaption an Probleme ein. Binninger u. a. (2017c) beschreiben 31 standardisierte Möglichkeiten, auf Störungen in einem getakteten Bauablauf zu reagieren.

Abbildung 55 zeigt den Anpassungsmechanismus *Zug-Stopp* (Binninger u. a. 2017c, S. 619). Als Reaktion auf Beeinträchtigungen in der Leistungsfähigkeit von Arbeitsinhalten eines Zuges kann dieser für einen Takt ausgesetzt werden (Taktzeit 5), um die Beeinträchtigungen zu beheben und für die Leistungsfähigkeit des Zuges zu sorgen. Dadurch kann der Zug in Takt 6 wieder seine Leistung erbringen.

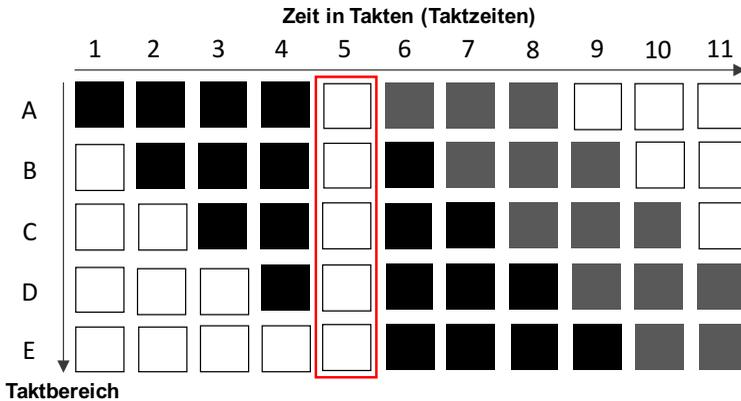


Abbildung 55: Zug-Stopp (vgl. Binnering u.a. 2017c, S. 618)

7.4.7 Auslastung

Die *flussbasierte Wiederholung*, die durch die *Waggonisierung* ermöglicht wird, erzeugt eine kontinuierliche Auslastung von Arbeitskräften. Diese Harmonisierung ist jedoch nicht auf die Mitarbeiterstärken beschränkt. Durch Kalkulation weiterer restriktiver Faktoren lassen sich auch die Lagerflächen pro Waggon, die Werkzeuge und Materialien pro Arbeitspaket oder auch die Kosten pro Takt leicht bestimmen und optimieren. Hochrechnungen für die kommenden Wochen auf Basis der letzten Takte ermöglichen proaktives Handeln und die Reduzierung von logistikbedingten Wartezeiten. Projektteams sind durch die Transparenz der Taktpläne in der Lage, zu stabileren und vorhersehbareren Abläufen zu gelangen. Abbildung 56 zeigt einen Taktplan und darunter in Rot die Auslastungskurve der Arbeitskräfte dieses Taktplans. In Schwarz ist exemplarisch eine Auslastungskurve eines typischen Projektablaufs dargestellt.

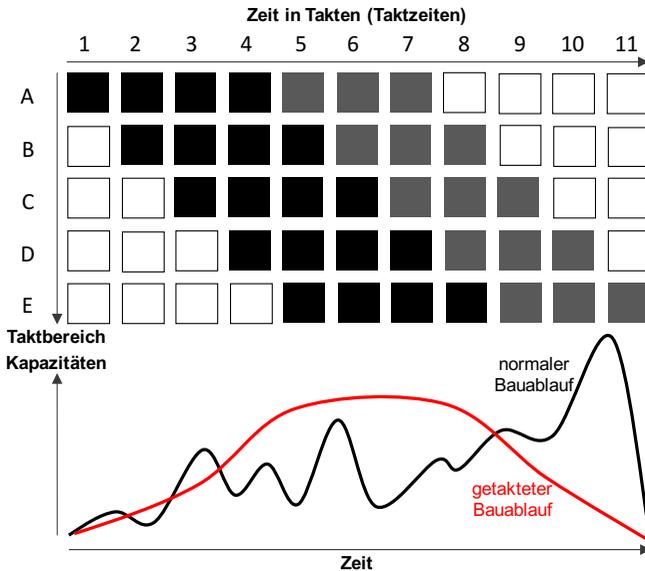


Abbildung 56: Beispielhafte Auslastung eines geplanten Taktplans im Vergleich zu einem typischen Projektverlauf

7.4.8 Überlagerung von Mechanismen

Die passiven Faktoren erzeugen mittelbare Effekte, die keine direkt ersichtliche Reduzierung von Zeiten erwirken. Sie können als begünstigend für Zeitoptimierungen beschrieben werden.

Die aktiven Faktoren erzeugen einen zeitreduzierenden Effekt, der sich auf die Gesamtprojektlaufzeit auswirkt. Da dieser Effekt nicht auf die Anpassung von direkter Wertschöpfung zurückzuführen ist, muss es sich bei allen ermittelten Zeiteinsparpotentialen um Reduzierungen von Pufferzeiten handeln. Dadurch, dass alle aktiven Faktoren die Zeitpuffer eines Projektes angreifen, ist eine Überlagerung der unterschiedlichen Mechanismen wahrscheinlich.

Die Pufferzeiten teilen sich, wie in Kapitel 0 beschrieben, in neun unterschiedliche Arten von Puffern auf. Tabelle 24 stellt dar, welche Mechanismen auf

welche Pufferarten reduzierend wirken. Sie zeigt, dass einige der Mechanismen Einfluss auf mehrere Pufferarten haben. Die erhöhte Einflussnahme auf Pufferarten legt nahe, dass sich bestimmte Mechanismen überlagern können.

Tabelle 24: Mechanismen mit zeitlicher Wirkung mit ihren Pufferarten

Art des Mechanismus	Optimierbare Pufferarten
Pufferoptimierung	Alle Pufferarten werden betrachtet
Losgrößenverkleinerung	Anfangsrandpuffer, Endrandpuffer, TER-Puffer, Leertaktpuffer, Pufferwaggon, Puffertakt, Taktzeitpuffer, Waggonpuffer
Parallelisierung	Leertaktpuffer, TER-Puffer, Waggonpuffer, Endrandpuffer
Flussbasierte Wiederholung	Waggonpuffer, Leertaktpuffer
Harmonisierung	Waggonpuffer, Pufferwaggon, Puffertakt, Leertaktpuffer
Langläufer	Endrandpuffer, TER-Puffer
Teilflächenübergabe	Endrandpuffer, TER-Puffer

Im Fall der Überlagerung besteht die Wahlmöglichkeit zwischen zwei unterschiedlichen Mechanismen. Da verschiedene Mechanismen unterschiedliche Wirkungsweisen und Manipulationen am *Taktplan* erzeugen und damit auch unterschiedliche Nebenwirkungen auftreten, besteht die Notwendigkeit, Mechanismen korrekt einsetzen zu können. Maßnahmen zur Erfüllung dieser Anforderung werden in Kapitel 9.3 erarbeitet.

Der kalkulierte Endpuffer (siehe Kapitel 0) wird einzig von dem allgemeinen Mechanismus der Pufferoptimierung beeinflusst, da diese Art von Puffer eine Besonderheit darstellt. Sie ist die Gegensumme aller anderen reduzierten

Pufferarten. Es handelt sich dabei um projektunabhängige Zeit, die nach der Wertschöpfung entsteht. In der allgemeinen Pufferoptimierung wird die Größe des kalkulierten Endpuffers festgelegt und überflüssige Puffer werden entfernt.

7.5 Zusammenfassung

Dieses Kapitel befasste sich mit den Ursachen der beschriebenen zeitlichen Reduzierung durch den Einsatz der Taktplanung im Rahmen der Projektstudie. Die zeitlichen Puffer wurden in neun Pufferarten eingeteilt und beschrieben. Die Wirkungsweise der Mechanismen und deren Nebeneffekte wurden erläutert. Sieben aktive Mechanismen und sechs passive Mechanismen bilden das Ergebnis der Analyse. Es handelt sich bei allen Mechanismen, die zur Verkürzung der Vertragslaufzeit genutzt wurden, um eine Reduzierung oder Veränderung von zeitlichen Puffern. Diese Mechanismen werden in ihren Grundprinzipien nicht nur in der Taktplanung angewendet, sondern auch in gängigen nicht getakteten Projektabwicklungen. Jedoch weisen die Ergebnisse der Projektstudie darauf hin, dass Durchlaufzeiten durch den Einsatz der Taktplanung wirksamer reduziert werden können als in traditionellen Projekten. Beispielfür sei hierfür die nicht immer angewendete Teilflächenübergabe genannt, die nach 50,7 % der Vertragslaufzeit im Durchschnitt 56,6 % der Flächen in den Fallstudien nutzen kann. Die Wirksamkeit des Puffermanagements beim Einsatz der Taktplanung lässt sich gemäß den Ausführungen in diesem Kapitel in sechs Hauptaussagen zusammenfassen.

1. Eine geringe Taktzeit erzeugt eine hohe Parallelisierung, wodurch die zeitlichen Puffer innerhalb von Gewerkezügen deutlich reduziert werden können.
2. Eine geringe Losgröße reduziert die Puffer zwischen den Takten und reduziert somit die Projektdurchlaufzeit.
3. Parallelisierte Arbeitspakete in Waggons reduzieren die Durchlaufzeit der Teilflächen.
4. Zeitpuffer am Ende des Projektes (kalkulierter Endpuffer nach dem Zug) erhöhen die Wirksamkeit der Taktplanung im Hinblick auf Termine für Bauherren.

5. Die Umwandlung der Pufferarten 0 bis 8 zu kalkuliertem Endpuffer (Pufferart 9) erhöht die Verwertbarkeit nicht benötigter Zeitpuffer für nachfolgende Arbeiten und den Kunden. Diese Manipulation der Puffer kann jedoch Instabilitäten erzeugen.
6. Aktives Puffermonitoring und Puffermanagement durch den Bauherrn und die Projektbeteiligten ermöglichen signifikante Zeitreduzierungen in der Realisierungsphase eines Bauprojektes.

Die aktiven Mechanismen manipulieren unterschiedliche Arten von zeitlichen Puffern. Daher sind Puffer bei exakter Planung keine Verschwendung, sondern erhöhen die Stabilität und Kontinuität der Ablaufprozesse (vgl. Horman u. a. 1997, S. 67). Für eine maximale Zeitreduzierung dürfen nicht andere Projekteigenschaften oder Vorteile abgebaut oder destabilisiert werden. Der Einsatz der Mechanismen und ihre geeignete Dimensionierung sollen in dieser Forschungsarbeit ermittelt und definiert werden.

8 Auswertung der Projektleiterbefragung

8.1 Einleitung

Die Projektleiterbefragung markiert den Abschluss der Projektstudie. Die in den vorgegangenen Kapiteln erhobenen Daten der Projektstudie wurden in jeder Fallstudie durch den jeweiligen Projektleiter des Bauherrn als Experten in diesem Kontext überprüft. Die Befragung wurde nach Abschluss jedes Projektes durch den Verfasser durchgeführt. Ziel des Kapitels ist die Überprüfung der bisherigen Forschungsergebnisse.

8.2 Befragung der Projektleiter

8.2.1 Vorbemerkung

Für die Befragung der Projektleiter wurde ein individueller Leitfaden vorbereitet, um das Gespräch zu lenken und bei der Durchführung der Interviews eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten. Nachfolgend werden die Vorgehensweise zur Durchführung der Befragung sowie die erzielten Ergebnisse und deren Auswertung dargelegt.

8.2.2 Grundlagen zur Expertenbefragung

Die Expertenbefragung in dieser Arbeit fand teilstandardisiert und im Rahmen persönlicher Befragungen statt. Vorteil der persönlichen Befragung ist, dass der Informationsaustausch über einen Fragebogen hinausgeht und Fragen direkt geklärt werden können. Nachteil ist der „Interviewer-Effekt“, da durch die Anwesenheit des Interviewers die Antworten ggf. anders oder modifiziert

ausfallen. Der Fragebogen wurde vorab mit der Einladung zum Gespräch verschickt, so dass sich die Experten auf die Fragen einstellen konnten.

Der Fragebogen bzw. das Interview werden überwiegend aus halboffenen (hybrid) Fragen gebildet, die aus einer Kombination aus offenen und geschlossenen Fragen bestehen. Sie geben die Möglichkeit, neben einer vorgegebenen Auswahl an Antwortmöglichkeiten eine individuelle Antwort hinzuzufügen. Bei solchen Fragen sind Mehrfachantworten erlaubt und die Befragten werden gebeten, ihre Antwort zu erläutern bzw. weiter auszuführen. Dieses Format ermöglicht es, Ergebnisse zu erzielen, die nicht zu sehr von einer standardisierten Form abweichen. Das erleichtert die Auswertung und die Antworten können besser verglichen werden. Den Experten wird dennoch die Möglichkeit gegeben, auf Aspekte einzugehen, die vom Interviewer evtl. nicht bedacht wurden (vgl. Bekalarczyk o.J.).

Auswahl der Experten

In den Experteninterviews wurden Projektleiter befragt, die in ihrer Rolle den Bauherrn vertraten, in diesem Fall einen internationalen Automobilhersteller. Dieser erfüllte die Rolle des Bauherrn, wie in Kapitel 2.3 beschrieben. Die Befragung fand immer in Relation zum Projekt statt, aus dem die Attribute (Kapitel 6.2) ermittelt wurden. Die Wahl der Experten war somit an die Auswahl der Projekte geknüpft.

8.2.3 Aufbau der Befragung

Die Befragung umfasst acht Fragen, die nachfolgend beschrieben werden:

Frage 1: Bewerten Sie die Methode der Taktplanung für das besprochene Projekt.

Der Projektleiter soll seine persönliche Einschätzung zur angewendeten Taktplanung im besprochenen Projekt über ein Benotungssystem von eins (sehr gut) bis fünf (sehr schlecht) darlegen. Es ist dem Projektleiter möglich, zusätzlich positive und negative Begriffe mit der Anwendung zu verknüpfen.

Frage 2: Bewerten Sie die Prozesstransparenz des Projektes.

Die zweite Frage greift wieder auf das Benotungssystem eins bis fünf zurück. Es soll die Verständlichkeit der Bauabläufe für den Bauherrn bewertet werden. Auch bei dieser Frage besteht die Möglichkeit, Effekte zu nennen, die durch die verbesserte oder verschlechterte Transparenz der Bauabläufe erzeugt wurden. Der Projektleiter besitzt die Option, der Benotung Effekte der verbesserten oder verschlechterten Transparenz beizufügen.

Frage 3: Welche zeitlichen Optimierungen wurden in dem Projekt genutzt?

Frage drei stellt den Kern der dritten Forschungsfrage dieses Forschungsvorhabens dar. Es werden alle in den Projekten analysierten Optimierungsmöglichkeiten unter den Antworten vorgeschlagen. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, weitere Optimierungen anzufügen sowie die einzelnen Optionen in ihrer Anwendungsmöglichkeit zu beschreiben.

Frage 4: Konnten weitere Zeitoptimierungen in der Taktsteuerung erzielt werden?

Ergänzend zu Frage 3 werden in Frage 4 weitere mögliche Zeitoptimierungen in der Taktsteuerung erfragt.

Frage 5: Wurden weitere Optimierungen neben den zeitlichen Optimierungen aufgedeckt?

Um weitere Optimierungen aus Bauherrensicht betrachten zu können, werden neben den zeitlichen Optimierungen auch noch sämtliche anderen Verbesserungen durch die Anwendung der Taktplanung und Taktsteuerung dokumentiert.

Frage 6: Sehen Sie weiteres Optimierungspotential für das nächste Projekt?

Als Abschluss der Optimierungsfragen werden weitere mögliche Verbesserungen für das kommende Projekt erfragt.

Frage 7: Hatte der Kunde durch die Zeitreduzierung einen Vorteil?

Frage 7 stellt eine von zwei kundenbezogenen Fragen dar. Der Kunde ist hier der interne Kunde, der die Produktionsfläche übernimmt und nutzt. Die Frage überprüft, ob durch die Zeitreduzierung für den internen Kunden ein Vorteil entstanden ist.

Frage 8: War der Kunde nach Abschluss des Projektes mit dem Bauprozess zufrieden?

Die letzte Frage verifiziert, ob der interne Kunde des Bauherrn mit dem getakteten Bauprozess in diesem Projekt zufrieden war. Damit wird eine abschließende Bewertung für den Projekterfolg durch Anwendung der Taktplanung und Taktsteuerung vorgenommen. Der Befragte kann hier nach drei Bereichen entscheiden: dem Endergebnis, der Kommunikation zwischen Projekt und Kunde und seinem aktiven Mitspracherecht in der Realisierungsphase.

8.3 Ergebnisse der Projektleiterumfrage

8.3.1 Vorbemerkung

Das methodische Vorgehen der Befragung wurde in Kapitel 8.2 beschrieben. Die Befragten sind die verantwortlichen Projektleiter des Bauherrn der analysierten Projekte. Ziele der Umfrage sind die Validierung aufgenommener Daten sowie die Überprüfung der terminlichen Ergebnisse. Den wichtigsten Bestandteil stellt die Dokumentation der Wirksamkeit der Taktplanung in Bezug auf jedes einzelne Projekt aus Perspektive des Bauherrn dar.

8.3.2 Beschreibung der Ergebnisse der Befragung

Frage 1: Wie bewerten Sie die Methode der Taktplanung für das besprochene Projekt?

Zehn Projektverantwortliche des Bauherrn wurden befragt, wie sie die eingeführte Methode der Taktplanung auf einer Skala von eins (sehr gut) bis fünf (ungenügend) benoten würden. Es wurden nur die Noten eins und zwei vergeben, der Durchschnitt lag bei dieser Frage bei 1,6. Darüber hinaus wurde in einem Freitextfeld nach positiven und negativen Assoziationen zu der TPTS-Methodik aus Bauherrnsicht gefragt. Tabelle 25 zeigt in Einmalauflistung die genannten Begriffe.

Tabelle 25: Positive und negative Assoziationen bei der Anwendung von TPTS

Positive Verbindungen	Negative Verbindungen
Umsetzung, Qualität, Teil-Flächenbereitstellung, Vereinfachung von Besprechungen, Transparenz, Motivation, Engagement, Ordnung, neue Erfahrung, erhöhte Abstimmung, Risikominimierung, Strahlkraft, Kommunikation, Flexibilität, Messbarkeit, Kontrolle, genaue Zeitplanung, Taktsteuerungstafeln, Vertrauen, Teamwork	Terminabstimmung, Änderungsmeldung, Verschwendung, Prozessverständnis, weniger effizienter Umgang mit Ressourcen, anfänglicher Mehraufwand, viel Überzeugungsarbeit zu leisten, hochkomplex, bauliche Umfeld-Situation, fehlende Taktfähigkeiten, Kooperation mit internen Fachstellen nicht immer optimal, Unklarheit bei Taktkurve

Besonders die Transparenz ist hervorzuheben. Sie wurde als wichtige positive Assoziation von sieben Befragten genannt. Bei allen weiteren Nennungen war keine außergewöhnliche Häufigkeit nachzuweisen.

Frage 2: Wie bewerten Sie die Prozesstransparenz des Projektes?

Frage 2 setzt sich detaillierter mit der Transparenz auseinander. Hierfür sollten die Projektverantwortlichen eine Benotung für die Prozesstransparenz nach gleicher Benotungsform wie in Frage 1 vergeben. Die Durchschnittsnote erreicht den Wert 1,4. Auch in dieser Frage wurden von den Befragten nur die Noten eins und zwei vergeben. Es bestand die Möglichkeit, resultierende Effekte (positiv und negativ) der Prozesstransparenz in einem Freitextfeld zu

nennen. Nachfolgend werden in Tabelle 26 die Kommentare zusammengefasst:

Tabelle 26: Nennungen der Effekte durch Prozesstransparenz

Welche Effekte ergeben sich durch die Prozesstransparenz im Projekt?

Keine Behinderungsanzeigen

Ständige Transparenz auch für Projektfremde

Optimierte Ressourcen-Planung

Verständnis für den Bauablauf und die Auswirkung von Änderungen

Entfall Bau-/Projektbesprechung

Ganzheitliche Einbindung des Nutzers

Risiken früh aufdecken

Fluss, d. h. Einhaltung Kosten und Zeit

Die durchgängig positiven Kommentare stellen eine Gemeinsamkeit dar. Darüber hinaus lassen sich keine weiteren signifikanten Übereinstimmungen ermitteln. Mehrfachnennungen waren nicht vertreten.

Frage 3: Welche zeitlichen Optimierungen wurden in dem Projekt genutzt?

Frage 3 ermittelt, welche zeitreduzierenden Mechanismen aus Sicht des Projektleiters innerhalb der Projektstudie genutzt wurden. Hierfür wurden die möglichen Mechanismen als Antwortmöglichkeit vorgeschlagen. Zu erwähnen ist, dass die *Waggonisierung* und *Losgrößenverkleinerung* nicht als Auswahlmöglichkeit genannt wurden, da alle Projekte der Projektstudie durch Anwendung der Taktplanung diese Optimierungsmechanismen automatisch

umsetzen. Es bestand über ein Freitextfeld die Möglichkeit, weitere Optimierungen zu nennen. Nachfolgend sind diese mit ihrer Häufigkeit für die Fragen 3 bis 5 in Tabelle 27 dargestellt. Die Auswertung zeigt, dass alle Mechanismen mehrfach genutzt wurden. Die Optimierungsmechanismen stellen daher eine praktische Anwendung in den Projekten dar.

Tabelle 27: Zusätzliche Nennungen der Fragen 3 – 5

Nennungen Frage 3	Nennungen Frage 4	Nennungen Frage 5
6x Pufferoptimierung	5x Lerneffekt	5x Opt. der Kapazitäten
6x Transparenz	3x Opt. des Bauablaufes	4x verbesserte Qualität
6x flussb. Wiederholung	3x Flex. des Taktplanes	4x leichte Abrechnung
5x Parallelisierung	2x kurzzyklische	3x verbesserte Logistik
5x Teilflächenübergabe	Qualitätsmessung	2x verbesserte Ordnung,
2x Langläufer	1x zu viel geplante Puffer	1x Sicherheit, Sauberkeit

Frage 4: Konnten weitere Zeitoptimierungen in der Taktsteuerung erzielt werden?

Ob sich das Optimierungspotential in der Taktsteuerung eingestellt hat, wurde mit Frage 4 ermittelt. Es konnten nach einer Bejahung noch Angaben zu dem Grund der Optimierung gemacht werden. Die Frage wurde von sieben Befragten mit „Ja“ beantwortet. Zwei Projektleiter verneinten und einer machte keine Angaben. Die zusätzlichen Nennungen in der Frage 4, die auch in Tabelle 27 aufgeführt werden, zeigen, dass besonders der Lerneffekt eine weitere Optimierung erzielt.

Frage 5: Wurden weitere Optimierungen neben den zeitlichen Optimierungen aufgedeckt?

Frage 5 eruiert die Optimierungen durch die Taktplanung und Taktsteuerung, die zusätzlich zu den zeitlichen Effekten realisiert werden konnten. Neun Projektverantwortliche beantworteten die Frage, ob die TPTS weitere Optimierungen neben den Terminen beeinflusst, mit „Ja“. Ein Befragter machte keine Angabe. In diesem Zusammenhang sahen die Bauherrenvertreter vor allem eine Optimierung des Einsatzes von Mitarbeitern (Kapazitäten), eine verbesserte Qualität und eine einfachere Abrechnung als zusätzliche positive Effekte.

Frage 6: Sehen Sie weiteres Optimierungspotential für das nächste Projekt?

Frage 6 ermittelt, ob die Zielgruppe weitere zeitliche Optimierungspotentiale für kommende Projekte sah. Nach einer Entscheidungsfrage (ja/nein) bestand in einem Freitextfeld die Möglichkeit, diese zu benennen. Acht von zehn Befragten gaben an, dass weiteres Optimierungspotential für kommende Projekte bestehe. Zwei Personen enthielten sich einer Angabe. Die Auswertung des Freitextfeldes ergab unterschiedliche Punkte. Mögliche Optimierungspotentiale könnten demnach z. B. eine frühere Implementierung der Methode im Bauprozess oder auch der Zugewinn an Erfahrung bis zu einer exakteren Anwendung der Methode sein. Eine erweiterte zeitliche Optimierung für die nächsten Projekte wurde jedoch von keinem Befragten erwähnt, was auf eine Sättigung des Kundenwunsches nach einer verkürzten Bauzeit schließen lassen kann.

Frage 7: Hatte der Kunde durch die Zeitreduzierung einen Vorteil?

Fragestellung 7 erfragt, ob der interne Kunde durch die zeitlichen Reduzierungen der Ausführungstermine einen wirtschaftlichen Vorteil erzielte. Neun der zehn Projektleiter beantworteten diese Frage mit Ja. In einem Fall waren der wirtschaftliche Vorteil und die Zeitreduzierung nicht vorrangig. Acht der neun Antworten gaben den Vorteil mit einer früheren Nutzung der Flächen an. In fünf dieser acht Fälle wurde mit einem früheren Aufbau der Produktionsanlagen begonnen. Vier der neun bejahenden Personen sahen einen zusätzlichen wirtschaftlichen Effekt durch die Einsparung von Lagerflächen gegeben.

Frage 8: War der Kunde nach Abschluss des Projektes mit dem Bauprozess zufrieden?

Frage 8 besteht aus einer reinen Entscheidungsfrage (ja/nein) ohne Zusatzinformationen. Es wird erfragt, ob der interne Kunde mit dem Bauprozess nach Abschluss des Projektes zufrieden war. Hier gibt es acht Ja-Stimmen und zwei ohne Angaben. Bei diesen beiden Projektstudien handelt es sich um die noch nicht abgeschlossenen Projekte P9 und P10, wodurch eine Bewertung der Wirksamkeit nicht abschließend ermittelt werden kann.

8.3.3 Zusammenfassung der Ergebnisse der Befragung

Die Ergebnisse der Fragen 1 bis 8 werden in Tabelle 28 dargestellt. Die Einzelergebnisse der Fragen sind im vorangegangenen Unterkapitel beschrieben.

Tabelle 28: Antworten Projektleiterbefragung mit Durchschnittsergebnissen (Fragen 1–8)

Bewerten Sie die Methode der Taktplanung für das besprochene Projekt (1, gut – 5, schlecht).	1,6
Bewerten Sie die Prozesstransparenz des Projektes (1 sehr gut – 5 sehr schlecht).	1,4
Welche zeitlichen Effekte wurden in dem Projekt genutzt?	Siehe Ausführungen in Tabelle 27 Frage 3
Konnten weitere Zeitoptimierungen in der Taktsteuerung erzielt werden?	7x Ja / 2x Nein / 1x keine Angabe
Wurden weitere Optimierungen neben den zeitlichen Optimierungen aufgedeckt?	9 x Ja / 1x Keine Angabe
Sehen Sie weiteres zeitliches Optimierungspotential für nächste Projekte?	8 x Ja / 2 x keine Angaben
Hatte der Kunde durch die Zeitreduzierung einen wirtschaftlichen Vorteil?	9 x Ja / 1x keine Notwendigkeit

War der Kunde nach Abschluss des Projektes mit dem Bauprozess zufrieden?	8 x Ja /
	2 x keine Angabe

Die Ergebnisse der Befragung werden nachfolgend für die Betrachtung der Wirksamkeit der Taktplanung interpretiert und bewertet. Die Interpretation findet innerhalb jeder Frage statt.

8.4 Auswertung der Projektleiterumfrage

8.4.1 Analyse der Befragung

Frage 1: Wie bewerten Sie die Methode der Taktplanung für das besprochene Projekt.

Eine erfolgreiche Anwendung der Taktplanung aus Perspektive des Bauherrenvertreters kann durch die mittlere Benotung von 1,6 abgeleitet werden.

Im optionalen Kommentarfeld der negativen Verbindungen wurden hauptsächlich Auswirkungen des Implementierungsprozesses genannt, wie fehlendes Wissen und Widerstände bei Beteiligten. Weitere Punkte wie Komplexität und Mehraufwand sind benannt. Hauptaussage 4 (wenig Erfahrung in komplexen Taktprojekten) und 5 (Vorkenntnisse reduzieren nicht die Unterstützung) der Korrelationen (Kapitel 6.4.2) stellen einen Zusammenhang dar. Es kann abgeleitet werden, dass komplexe Projektsituationen in Verbindung mit der ebenfalls anspruchsvollen Methodik der Taktplanung negativ von der Projektleitung eingeschätzt werden.

Die positiven Beschreibungen weisen auf eine Verbesserung unterschiedlicher Qualitäten im Bauprozess hin. Neben strukturgebenden Elementen, wie Messbarkeit, Risikominimierung oder Ordnung, wurden auch soziale Elemente, wie Vertrauen, Teamwork und Engagement, genannt. Eine Mehrfachnennung

erreichte nur die Transparenz. Diese wurde gleich siebenfach genannt und dies bestätigt die Wirkung, die auch unter den mittelbaren Mechanismen in Kapitel 7.4 beschrieben wurde. Ebenso lassen sich Kommunikation, Flexibilität und Messbarkeit in den passiven Mechanismen wiederfinden. Die Erwähnung dieser Effekte kann ein Indiz sein, dass die Nutzung der Taktplanung weitere Effekte neben der Zeitreduzierung erzielt, die für den Bauherrn von Relevanz sind.

Frage 2: Wie bewerten Sie die Prozesstransparenz des Projektes.

Die Transparenz scheint durch die Anwendung der Taktplanung eine hohe Ausprägung zu haben. Zwar lässt sich kein Vergleich zu Projekten ohne Taktplanung ziehen, jedoch ist die Durchschnittsbewertung von 1,4 ein starkes Indiz. Die optionalen Kommentare weisen ausschließlich positive Effekte auf, die eine Verbesserung der Organisation und der Kommunikation vermuten lassen.

Frage 3: Welche zeitlichen Effekte wurden in dem Projekt genutzt?

Von den genutzten zeitlichen Mechanismen wurden vor allem aktive (Kapitel 0) genannt. Ausnahme war die bereits erwähnte Transparenz. Trotz der Nennung anderer passiver Mechanismen in Frage 3 werden diese anscheinend nicht deutlich als zeitreduzierend erachtet. Die mehrfach genannten aktiven zeitwirksamen Mechanismen zeigen, dass sie in der Praxis genutzt wurden. Keiner der Projektleiter erwähnte die Losgrößenreduzierung und die Waggonisierung in dem verfügbaren Freitextfeld. Beide Mechanismen wurden in allen Projekten als fester Bestandteil behandelt und daher nicht offensichtlich abgefragt. Allerdings wurden sie auch von keinem Projektleiter als freier Kommentar hinzugefügt. Eine Erklärung hierfür wäre, dass der Wissensstand zu den einzelnen Mechanismen und deren theoretischer Definition bzw. Abgrenzung noch lückenhaft ist, was auf eine weiterzuführende Lernkurve trotz Projekterfahrung schließen lässt.

Frage 4: Konnten weitere Zeitoptimierungen in der Taktsteuerung erzielt werden?

Sieben von zehn befragten Projektleitern sahen weitere Optimierungen in der Taktsteuerung. Wie in Tabelle 15 zusammengefasst, haben jedoch nur zwei Projekte einen reduzierten zeitlichen Istwert zum Planwert (P3 und P5). Die Taktsteuerung hat weiteres Potential zur Zeitreduzierung. Die Möglichkeiten zur Nutzung werden in dieser Arbeit nicht näher behandelt. Jedoch sind weitere Forschungen in diesem Bereich sinnvoll.

Die zusätzlichen Nennungen der Gründe heben den Lerneffekt als wichtigen Baustein heraus. Er kann durch den Einsatz der Waggonisierung entstanden sein. Die nachfolgenden Nennungen „Optimierung des Bauablaufes“ und „Flexibilität des Taktplanes“ verweisen auf die schon herausgestellte Transparenz der Bauprozesse, durch die Puffer direkt sichtbar sind und dadurch aktiv manipuliert werden können. Darüber hinaus ermöglichen die einheitliche Waggonisierung sowie Sequenzierung der Prozesse eine strukturierte Flexibilität innerhalb der Taktsteuerung.

Frage 5: Wurden weitere Optimierungen neben den zeitlichen Optimierungen aufgedeckt?

Fragestellung 5 bietet für die zeitliche Wirksamkeit der Taktplanung nur indirekte Erkenntnisse. Als Hauptaussage kann abgeleitet werden, dass neben den zeitlichen Verbesserungen auch weitere Optimierungen stattgefunden haben. Die hierbei erwähnte Optimierung der Kapazitäten der Arbeiter, verbesserte Qualität, erleichterte Abrechnung, verbesserte Logistik und erhöhte Sicherheit und Sauberkeit stellen weitere Ziele von Bauherren dar. Es scheint daher schlüssig, dass neben den zeitlichen Effekten auch andere Effekte durch den Einsatz der Taktplanung erzeugt werden. Ob diese Wirkungen von den gleichen Mechanismen oder weiteren erzeugt bzw. verstärkt werden, wird in dieser Arbeit nicht tiefergehend betrachtet.

Frage 6: Sehen Sie weiteres zeitliches Optimierungspotential für das nächste Projekt?

Mit acht Ja-Antworten und zwei Enthaltungen zeigt diese Fragestellung ein ebenfalls klares Bild. Trotz der schon erheblichen Einsparungen scheinen die Anwendungen noch nicht ideal umgesetzt zu sein. Die individuellen

Nennungen zeigen, dass sich die Projektleiter durch Zugewinn an Erfahrung eine höhere Optimierung erhoffen. In Verbindung mit Hauptaussage 5 der Korrelationen zeigt sich nach den ersten Projekten, dass die Erfahrungen bei den Projektleitern noch nicht ausreichend aufgebaut sind. Die Unterstützung der Projektleiter sollte daher weiter fokussiert werden.

Frage 7: Hatte der Kunde durch die Zeitreduzierung einen wirtschaftlichen Vorteil?

Die neun positiven Antworten auf diese Frage zeigen, dass durch die Zeitreduzierungen ein tatsächlicher wirtschaftlicher Nutzen entstanden ist. Die Erklärung dieses Nutzens wird in Kapitel 2.4.3 näher in Form einer frühzeitigen Nutzung der Flächen beschrieben. Durch dieses Ergebnis werden die Zeitoptimierungen als für den Bauherrn wirksam bestätigt. Die zusätzlichen Kommentare zeigen, dass neben der frühen Flächenübergabe nur noch vereinzelt weiterer Nutzen aus der Optimierung gezogen werden konnte.

Frage 8: War der Kunde nach Abschluss des Projektes mit dem Bauprozess zufrieden?

Acht interne Kunden waren mit dem Projekt zufrieden und keiner unzufrieden. Dies ist ein Indiz dafür, dass das zeitliche Potential nicht auf Kosten anderer Werte für den Bauherrn erzeugt wurde. Es besteht aber die Möglichkeit, dass die Relevanz der zeitlichen Optimierungen so hoch ist, dass damit etwaige andere negativen Veränderungen nicht ins Gewicht fallen.

8.4.2 Diskussion der Befragungsergebnisse

Die Befragung stellt für sich allein keine umfängliche Betrachtung der Ergebnisse dar. Die Ergebnisse aus der Projektstudie, den Korrelationen und den aktiven Mechanismen werden durch die Befragung ergänzt. Frage 3 stellt eine Abweichung zu den aktiven Mechanismen dar. Durch die fehlende Nennung der wichtigsten aktiven Mechanismen (Losgrößenverkleinerung und Parallelisierung) ist die Aufzählung nicht vollständig. Es existiert keine vergleichende Befragung von nicht getakteten Projekten. Dadurch sind die Aussagen zu

Bewertungen nicht relativ bewertbar. Es lässt sich keine Verbesserung zu normalen Projektabläufen ermitteln. Die Projektleiter der Studie weisen alle einen unterschiedlichen Wissensstand hinsichtlich der Methode der Taktplanung auf.

8.5 Zusammenfassung

Die Befragung der Projektleiter zu den einzelnen Projekten der Projektstudie wurde im Rahmen von acht Fragen durchgeführt. Ziel der Befragung waren die Überprüfung der Projektdaten und der Projektergebnisse sowie die Überprüfung der Wirksamkeit der terminlichen Reduzierungen für den Bauherren.

Die Ergebnisse der Befragung zeigen, dass die Taktplanung für den Bauherrn einen positiven Einfluss auf die Transparenz der Prozesse erzeugt. Die in Kapitel 0 beschriebenen aktiven Mechanismen wurden in den Projekten praktisch umgesetzt und die zeitlichen Reduzierungen bestätigt.

Die Wirksamkeit der Taktplanung im Hinblick auf die Termine stellt die Kernfrage dieser Arbeit dar. Neun von zehn Projektleitern gaben einen wirtschaftlichen Vorteil durch die Zeitreduzierung im Projekt an. Ein Projekt hatte keine terminlichen Zwänge.

9 Handlungsempfehlungen für den Einsatz einer wirksamen Taktplanung

9.1 Einleitung

Kapitel 9 befasst sich mit einer Einordnung der Forschungsergebnisse aus den Kapiteln 6, 7 und 8. Die Forschungsergebnisse werden in praktisch anwendbaren Schlussfolgerungen überführt und beschrieben. Darauf aufbauend wird ein Handlungsleitfaden für den Einsatz der Taktplanung für Bauherren entwickelt. Ziel ist es, Bauherren durch ein Rahmenwerk die Implementierung und Optimierung der Taktplanung zu ermöglichen. Hierbei fließen auch die persönlichen Erfahrungen des Verfassers aus der Begleitung und Beobachtung der Projekte ein.

9.2 Allgemeine Wirksamkeit der Taktplanung für Bauherren

9.2.1 Vorbemerkung

Der Einsatz der in Kapitel 0 beschriebenen aktiven Mechanismen ist auf eine Optimierung der Bauzeit ausgelegt. Da die tatsächliche Wertschöpfung und damit die Anzahl der Arbeitskräfte oder die Arbeitsgeschwindigkeit nicht aktiv verändert werden, ergeben sich die zeitlichen Effekte maßgeblich aus der Reduzierung der Puffer. Dieses Kapitel beschreibt, wie ein aktives Puffermanagement eingesetzt und genutzt werden kann.

9.2.2 Übergeordneter Umgang mit Puffern

In Kapitel 7.2.2 wurden zehn Arten von Puffern beschrieben und definiert. Die übliche Verwendung der Pufferarten von 0 bis 8 kann als passiv wirksam bezeichnet werden. Die Puffer sind für einen bestimmten Einzelfall geplant und können auch nur genutzt werden, wenn dieser Fall eintritt. Der Puffer wird verbraucht, unabhängig davon, ob er notwendig war oder nicht. In vielen Fällen klassischer Terminplanung fällt nicht auf, ob diese Puffer verschwendet oder genutzt wurden. Die passiven Puffer erhöhen die Stabilität, wenn sie an der richtigen Stelle gesetzt sind. Eine Neuorganisation aller Puffer stellt einen nicht unerheblichen Aufwand dar. Der *kalkulierte Endpuffer* bildet hierbei eine Besonderheit. Er gehört nicht zum Projektablauf, da er hinter allen Werterstellungsprozessen gesammelt ist. Dadurch ist die Menge dieser Pufferreserve allzeit transparent sichtbar. Die Einsatzfähigkeit dieser Pufferart ist im Gegensatz zu passiv wirksamen Puffern nicht auf eine Anwendung beschränkt, sondern sie fungiert als allgemeiner Projektpuffer, der in unterschiedlichen Anwendungsfällen in die Pufferarten 0 bis 8 umgewandelt werden kann. Der kalkulierte Endpuffer kann als aktiver Puffer bezeichnet werden, da er neben einer flexiblen Anwendungsmöglichkeit als Projektpuffer auch als Puffer zur Reduzierung der Projektdurchlaufzeit umgewandelt/genutzt werden kann. Somit können nicht genutzte Puffer durch frühzeitige Planungen zwischen Bauausführung und Bauherr zu einer frühzeitigeren Nutzung der Bauwerke führen.

Es liegt die Schlussfolgerung nahe, dass der Anteil an *kalkuliertem Endpuffer* nun maximal erhöht werden kann. Das kann jedoch zu negativen Folgen führen. Beispielhaft können hier die Losgrößenverkleinerung und der Steuerungsaufwand in Abbildung 44 genannt werden. Der Aufwand der Steuerung wird durch die Anwendung der Losgrößenverkleinerung stark erhöht, wobei die Zeitreduzierung aus der Losgrößenverkleinerung stetig abnimmt. Die Planungsstabilität wird beeinträchtigt und der Projektfluss kann ins Stocken geraten, wenn das Steuerungssystem seiner Regelungsfunktion, aufgrund von Komplexität und zu schnellen Intervallen, nicht mehr nachkommen kann.

Es stellt sich daher die Frage nach der Dimensionierung des *kalkulierten Endpuffers* und damit der möglichen zeitlichen Optimierung, ohne andere negative

Effekte zu erzeugen. Die Zielsetzung wäre eine Maximierung des kalkulierten Endpuffers bei gleichzeitiger Stabilität des Baustellenablaufes. Abbildung 57 zeigt das Prinzip des kalkulierten Endpuffers in einem Taktplan. Der erste Taktplan stellt hierbei die Einplanung von passiven Puffern nach den Pufferarten 0 bis 8 dar. Taktplan 2 zeigt eine Reduzierung der passiven Puffer und die Maximierung des kalkulierten Endpuffers.

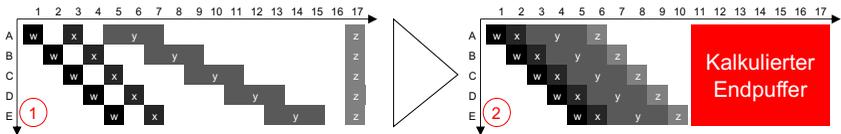


Abbildung 57: Einsatz des kalkulierten Endpuffers in einer Taktplanung

9.2.3 Einsatz des kalkulierten Endpuffers

Der kalkulierte Endpuffer stellt eine prozess- und ortsunabhängige Pufferart dar. Er wurde in dieser Arbeit als aktiv bezeichnet, da er flexibel für Verzögerungen genutzt werden kann. Er ermöglicht dem Baumanagement Handlungsspielraum und Fokus auf eine effiziente Auslastung von Arbeitskräften und Arbeitsgeräten. Daher sollte er von den Projektverantwortlichen nicht zu Beginn des Projektes entfernt werden, um die Durchlaufzeit des Projektes zu verkürzen. In drei der zehn Projekte wurden Teile des kalkulierten Endpuffers verbraucht. Beim Gebrauch des Endpuffers sollten alle Projektbeteiligten an der Entscheidung transparent beteiligt sein, da es sich um einen gemeinsamen Projektpuffer handelt. Er wird durch die Reduzierung der Pufferarten 0 bis 8 erzeugt (Kapitel 0). Da der Puffer aus allen anderen genannten Pufferarten gebildet werden kann, stellt sich neben der Quantität des Puffers auch die Frage der Qualität. Welche passiven Puffer sollen reduziert werden, um den kalkulierten Endpuffer zu erzeugen, und wie viel von den jeweiligen Pufferarten soll reduziert werden? Um diese Fragen zu beantworten, werden nachfolgend Parameter abgeleitet, die die Wirksamkeit der Reduzierung von passiven Puffern bewerten.

9.3 Wirksamkeitsparameter der Taktplanung

9.3.1 Vorbemerkung

Als Parameter bezeichnet man Größen in technischen Prozessen, die Aussagen über den Aufbau oder die Leistungsfähigkeit von etwas Bestimmtem treffen (vgl. Dudenredaktion 2014). Der Parameter kann auch als „Eigenschaft einer bestimmten Sache“ umschrieben werden. Ziel der hier beschriebenen Parameter ist es, Aussagen zu bestimmten Eigenschaften eines getakteten Bauablaufs zu ermöglichen, die allgemein gültig auf alle getakteten Bauabläufe übertragen werden können. Es handelt sich hierbei um eine Aussage zur Effizienz der Taktplanung, zur Stabilität der Taktplanung und zur Wertschöpfung der Taktplanung. Alle drei Parameter werden nachfolgend hergeleitet und beschrieben.

9.3.2 Effizienzparameter (EP)

Der Effizienzparameter (EP) beschreibt die Anzahl aller Taktbereiche im Verhältnis zu der Anzahl der Waggons eines Gewerkezugs. Damit wird in dem Gewerkezug eine sogenannte Kompaktheit erzeugt, mit deren Hilfe die Anzahl der Anlauf- und Abklingpuffer auf ein Minimum reduziert wird. Der Idealwert für dieses Minimum liegt bei 1 und damit bei einem gleichen Verhältnis von Taktbereichen zu Waggons in einem Gewerkezug.

$$EP = \frac{\#A_{train}}{\#W_a}$$

EP: Effizienzparameter
A_{train}: Anzahl Taktbereiche Gewerkezug
W_a: Anzahl Waggons Taktbereich a

Formel 9: Formel für den Effizienzparameter

Ziel des Effizienzparameters ist es, die schwer zu reduzierenden Anlauf- und Abklingpuffer eines Gewerkezugs auf ein Minimum zu reduzieren. Es handelt sich hierbei um eine benötigte Pufferart für den Ablauf des Zuges und diese

wird in Kapitel 0 als Anfangsrandpuffer und Endrandpuffer bezeichnet. Die Reduzierung ist aufgrund von physikalischen und kapazitiven Beschränkungen schwer zu erreichen. Hierfür wird der Effizienzparameter eingesetzt. In Bezug darauf wird Formel 5 in Formel 10 zur Berechnung der Durchlaufzeit weiterentwickelt:

$$L_{train} = (W_a + A_{train} - 1) \times TT_{train}$$

- L_{train} : Durchlaufzeit Gewerkezug
 W_a : Anzahl Waggon Taktbereich a
 A_{train} : Anzahl Taktbereiche Gewerkezug
 TT_{train} : Taktzeit Gewerkezug

Formel 10: Formel Durchlaufzeit eines Gewerkezuges

Die Kompaktheit und damit das Verhältnis von Taktbereichen zu Waggon kann mit der Variablen „x“ ermittelt werden. Es lässt sich aus Formel 9 die folgende Formel 11 und Formel 12 ableiten:

$$W_x = \frac{A_{trainx}}{x}$$

- x: Variable
 W_x : Anzahl Waggon Taktbereich x
 A_{train} : Anzahl Taktbereiche Gewerkezug x

Formel 11: Effizienzparameter umgestellt nach Waggon Taktbereich x

$$A_{trainx} = x \times W_x$$

- x: Variable
 W_x : Anzahl Waggon Taktbereich x
 A_{train} : Anzahl Taktbereiche Gewerkezug x

Formel 12: Effizienzparameter umgestellt nach Anzahl Taktbereiche Gewerkezug x

Formel 10 werden nun die Umstellungen von Formel 11 und Formel 12 eingesetzt, wodurch Formel 13 entsteht:

$$L_{train} = \left(\frac{A_{trainx}}{x} + x \times W_x - 1 \right) \times TT_{train}$$

- x: Variable
- L_{train} : Durchlaufzeit Gewerkezug
- W_x : Anzahl Waggons Taktbereich x
- A_{trainx} : Anzahl Taktbereiche Gewerkezug x
- TT_{train} : Taktzeit Gewerkezug

Formel 13: Formel Durchlaufzeit eines Gewerkezeuges mit der Variable x

Ein Minimum der Durchlaufzeit für L_{train} wird in Formel 14 durch Extremwertbestimmung von Formel 13 ermittelt:

$$x = \sqrt{\frac{A_{trainx}}{W_x}}$$

- x: Variable
- L_{train} : Durchlaufzeit Gewerkezug
- W_x : Anzahl Waggons Taktbereich x

Formel 14: Formel für das Minimum des Effizienzparameters

Für ein Minimum in Formel 14 gilt auch ein Minimum der Anfangsrandpuffer und Endrandpuffer. Der Effizienzparameter gibt Hinweis auf die Dimensionierung des Taktprozesses (Kapitel 2.6) und damit auf die richtige Anzahl von Waggons in einem Zug aus Perspektive des effizienten Zusammenspiels aus Puffer, reduzierter Losgröße und Steuerungsaktivitäten. Abbildung 58 zeigt die Idealdarstellung des Effizienzparameters, in dem die Anzahl der Waggons und der Taktbereiche exakt gleich groß ist. Dadurch werden die Pufferbereiche 1 und 2 auf ein Minimum im Verhältnis zu allen Takten im Taktplan reduziert.



Abbildung 58: Idealdarstellung des Effizienzparameters

Die Wirkung der Zeitreduzierung nimmt bei einer Losgrößenverkleinerung mit einem EP von über 3 und unter 0,3 deutlich ab, was an einer sich vergrößernden Puffermenge der Anfangsrand- und Endrandpuffer liegt.

Der Idealwert für einen effizient getakteten Gewerkezug liegt bei 1,0 für die Formel 14. Alle Werte, die weit entfernt von diesem Wert sind, erhöhen den Pufferanteil im Gewerkezug exponentiell bezogen auf die Abweichung.

9.3.3 Stabilitätsparameter (SP)

Ziel des Stabilitätsparameters ist es, eine Ausgewogenheit zwischen kurzer Projektlaufzeit und stabilen Baustellenabläufen zu erreichen. Hierfür bildet der Stabilitätsparameter (SP) eine Relation zwischen dem *kalkulierten Endpuffer* am Ende der Bauphase und den Puffertakten, welche die zeitlichen Puffer innerhalb des Gewerkezugs repräsentieren. Der *kalkulierte Endpuffer* umfasst alle zeitlichen Ersparnisse, die durch die Einführung eines Taktes auf der Baustelle realisiert werden können, und entspricht der Anzahl aller Takte zwischen Durchlaufzeit des Zuges und Ende der vertraglichen Übergabe der Flächen.

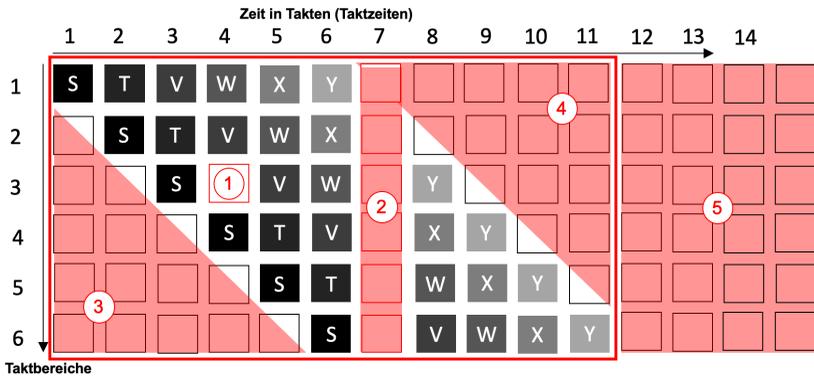
Ein großer Endpuffer bedeutet, dass viele Puffer aus dem Gewerkezug entnommen wurden. Die Stabilität wird verringert, da bei jeder Baustörung Puffer aus dem kalkulierten Endpuffer entnommen werden müssen. Dadurch ergibt sich eine Neuplanung, die die Kontinuität der Abläufe beeinflusst. Verzögerungen während der Bauausführung wirken sich in diesem Fall nicht auf den Vertragstermin des Projektes aus, sondern können durch den kalkulierten Endpuffer abgefangen werden, erzeugen aber eine höhere Instabilität.

$$SP = \frac{B_{train}}{B_{kE}}$$

- SP: Stabilitätsparameter
- B_{train} : Anzahl Puffertakte Gewerkezug
- B_{kE} : Anzahl Puffertakte des kalkulierten Endpuffers

Formel 15: Formel für den Stabilitätsparameter

Der Stabilitätsparameter ist vor allem durch die Dimension der Taktzeit zu beeinflussen. Durch die Verkleinerung der Taktzeit erhöhen sich die Puffer in dem kalkulierten Endpuffer, wodurch die Puffer innerhalb des Gewerkezugs reduziert werden. Abbildung 59 zeigt die Anwendung des Stabilitätsparameters in einem Taktplanbeispiel.



Summe Puffertakte in Gewerkezug/ Summe Puffertakte im kalkulierten Endpuffer
 $1+2+3+4$ (36 Puffertakte) / 5 (24 Puffertakte) = 1,5

Abbildung 59: Darstellung des Stabilitätsparameters

Die Ermittlung eines Idealwertes für den Stabilitätsparameter gestaltet sich schwieriger als beim Effizienzparameter. Da es sich um einen Relativwert handelt, ist der Wert immer vom Verhältnis abhängig. In der Praxis hat sich ein Wertebereich von 0,5 bis 2,0 als gut handhabbar herausgestellt. Es sei jedoch erwähnt, dass bei effizienteren und leistungsfähigeren Steuerungssystemen die Grenzen des Wertebereichs neu definiert werden sollten. Durch eine optimierte Steuerung können die Puffer weiter reduziert werden, damit muss aber auch der Wertebereich angepasst werden.

9.3.4 Wertschöpfungsparameter (WP)

Der Wertschöpfungsparameter (WP), wie in Formel 16 beschrieben, wird durch das Verhältnis der wertschöpfenden Takte zu den Puffertakten ermittelt. Ein möglichst hoher Wert beschreibt daher auch einen höchstmöglichen Anteil an Wertschöpfung in Abhängigkeit zu den Puffertakten.

$$WP = \frac{V_{train}}{B_{train}}$$

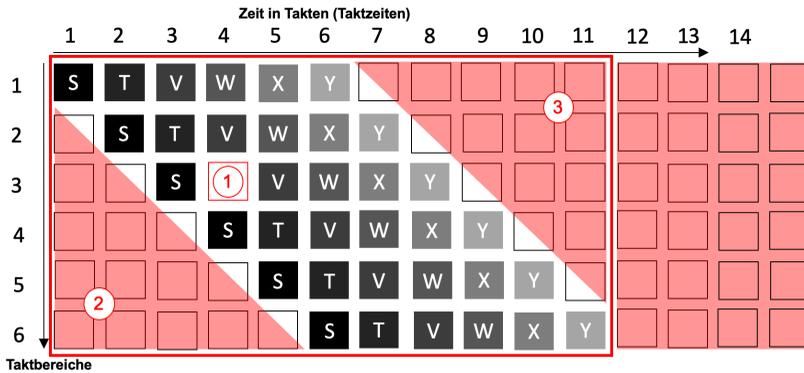
WP: Wertschöpfungsparameter
 V_{train} : Anzahl Werttakte Gewerkezug
 B_{train} : Anzahl Puffertakte Gewerkezug

Formel 16: Formel für den Wertschöpfungsparameter

Die Puffertakte des Gewerkezugs sind die Summe all derjenigen Puffer, die während der Projektdurchlaufzeit in diesem auftreten und nötig sind, um die Arbeiten der Gewerke untereinander und innerhalb eines Gewerks über unterschiedliche Taktbereiche hinweg zu synchronisieren. Dazu zählen vor allem die Anlauf- und die Abklingkurve, aber auch alle systematischen Puffer, Puffertakte, Pufferwaggons, Schnittstellenpuffer und Leertakte. Es sind alle Pufferarten aus Kapitel 0 – bis auf den kalkulierten Endpuffer – zu integrieren.

Ziel des Wertschöpfungsparameters ist die vereinfachte Verteilung von Puffertakten zu Werttakten. Er verdeutlicht den Anteil der Puffertakte, jedoch

nicht das Verhältnis der Pufferarten (Kapitel 0). In Kombination mit dem Stabilitätsparameter kann eine Entscheidung über den Verbleib oder die Reduzierung von Puffern im Projekt herbeigeführt werden. Die größten Pufferarten innerhalb der Puffertakte eines Gewerkezugs stellen die Anlauf- und Abklingpuffer (Anfangsrandpuffer und Endrandpuffer) dar, deren Mengenverhältnis von der Anzahl der Taktbereiche und der Anzahl der Waggons im Zug abhängt. Abbildung 60 visualisiert die Errechnung des Wertschöpfungsparameters in einem idealisierten Taktplan.



Summe Wertakte in Gewerkezug/ Summe Puffertakte in Gewerkezug
 $S+T+V+W+X+Y$ (35 Wertakte) / $1+2+3$ (31 Puffertakte) = **1,13**

Abbildung 60: Darstellung des Wertschöpfungsparameters

Für den Bauherrn und seine Zielerreichung im Hinblick auf die Termine ist eine hohe Wertschöpfungsdichte nur indirekt wichtig, da damit eine schnelle Werterstellung impliziert werden kann. Unter Berücksichtigung des Stabilitätsparameters können passende Aussagen über die Menge und die Verteilung von Puffern in der Taktplanung ermittelt werden. In der Praxis war ein Wertebereich von 0,5 bis 2,5 gängig. Es ist zu beobachten, dass der Stabilitätsparameter und der Wertschöpfungsparameter ein gewisses Gegenspielerpotential aufweisen.

9.3.5 Definition von Idealwerten der Wirksamkeitsparameter

Aus den tatsächlichen Zeitpotentialen lässt sich nicht automatisch die Darstellung eines idealen Parameters ableiten, da die Parameter, wie oben beschrieben, nicht für die Maximierung der Zeitersparnis, sondern für eine sinnvolle Dimensionierung und Verteilung von Puffern stehen. Als Idealwerte für die Wirksamkeitsparameter wurden folgende Wertebereiche ermittelt:

- Effizienzparameter: **0,3 – 3,0** (Idealwert 1)
- Stabilitätsparameter: **0,5 – 2,0** (Idealwert 1,25)
- Wertschöpfungsparameter: **0,5 – 2,5** (Idealwert 1,5)

Die Werte der Wirksamkeitsparameter wurden für alle Fallstudien ermittelt, in der nachfolgenden Tabelle 29 zusammengefasst und in Verbindung mit dem tatsächlichen Zeitpotential dargestellt.

Tabelle 29: Übersicht der Wirksamkeitsparameter der Projektstudien (P1 – P10)

Fallstudien	Wertschöpfungsparameter (WP)	Effizienzparameter (EP)	Stabilitätsparameter (SP)	Zeitpotential real (relativ)
P1	0,682	0,598	3,268	20 %
P2	1,130	1,867	2,092	20 %
P3	2,179	0,243	0,405	44 %
P4	1,083	1,625	0,505	33 %
P5	2,375	0,771	0,157	54 %
P6	3,344	0,440	0,455	21 %
P7	0,459	2,875	1,927	16 %
P8	0,414	2,560	2,262	17 %
P9	2,591	0,471	1,136	10 %
P10	0,574	1,608	2,304	24 %

Mittelwert	1,483	1,306	1,451
Std.abw.	0,996	0,889	1,004
Median	1,107	1,190	1,532

Die Auswertung der Fallstudien zeigt, dass die Werte der praktischen Anwendung im Mittel nahe an den festgelegten Wertebereichen liegen, auch wenn ausreißende Werte vorhanden sind. Die Werte der Fallstudien wurden nicht bewusst durch die Parameter optimiert. Sie zeigen aber schon eine Annäherung an die Wertebereiche. Durch den systematischen Einsatz der Wirksamkeitsparameter können Puffer in zukünftigen Projekten optimiert werden.

Die Parameter ändern sich in einem laufenden Projekt bei jeder Anpassung des Taktplanes. Es handelt sich also um dynamische Werte, die pro Taktzeit neu berechnet werden sollten. Die Bewertung der Parameter sollte immer mit aktuellen Berechnungen und mit allen drei Parametern gleichzeitig erfolgen.

9.3.6 Optimierung auf Grundlage der Wirksamkeitsparameter

Zum besseren Verständnis der Anwendungsmöglichkeiten der aktiven Mechanismen im Zusammenspiel mit den Wirksamkeitsparametern wird nachfolgend ein vereinfachtes Beispiel dargestellt. Die Anwendung der Taktplanung hat in einem Beispiel für einen Büroausbau einen Zug mit vier Waggons und 15 Taktbereichen ergeben. Die Ausgangssituation besteht wie in Abbildung 61 dargestellt: Durchlaufzeit 90 Tage; 4 Waggons und 15 Taktbereiche; Effizienzparameter 3,7, der Stabilitätsparameter konnte nicht bestimmt werden, da kein kalkulierter Endpuffer vorhanden ist. Der Wertschöpfungsparameter liegt bei 0,286. In vielen Bauvorhaben erzeugt die erste Taktplanung schon einen kalkulierten Endpuffer. In diesem Beispiel soll dieser erst durch die Optimierung des Taktplanes hervorgebracht werden.

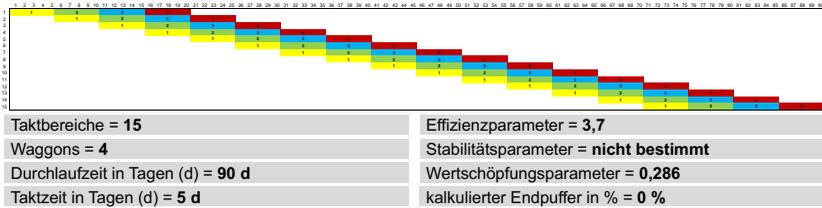


Abbildung 61: Ausgangssituation

Ziel der ersten Optimierung ist die Verbesserung des Effizienzparameters und damit der Kompaktheit des Gewerkezugs. Hierfür wird über die Taktzeithalberung und eine damit kombinierte Losgrößenverkleinerung eine erhöhte Parallelisierung erzeugt. Die Taktzeit wird auf 2,5 Tage reduziert. Die Möglichkeit des Leistungsausgleiches kann nun über eine Verdoppelung der Waggons oder eine Halbierung der Taktbereiche erzielt werden. Da der Effizienzparameter durch eine Flächenverkleinerung verschlechtert würde, wird die Anzahl der Waggons verdoppelt.

Als Ergebnis der ersten Optimierung ergibt sich ein kalkulierter Endpuffer von 38,89 %. Die Wertschöpfungsparameter zeigen sich, wie in Abbildung 62 dargestellt, deutlich verbessert in Bezug auf die festgelegten Sollbereiche (Kapitel 9.3.5). Der Stabilitätsfaktor unterschreitet leicht den Sollbereich.

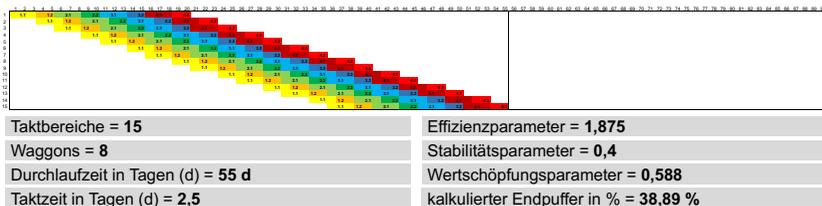


Abbildung 62: Optimierung der Kompaktheit

Bei weiterem Optimierungsbedarf und dem Wunsch nach einem erhöhten optimierten kalkulierten Endpuffer besteht die Möglichkeit, durch eine weitere Verbesserung des Effizienzparameters 2 % zeitliche Reduzierung der

Durchlaufzeit zu generieren. Hierfür werden die Taktbereiche von 15 auf 12 reduziert, um sich der Anzahl der Waggons zu nähern. Gleichzeitig müssen durch den größeren Leistungsaufwand dem vergrößerten Taktbereich zwei Waggons hinzugefügt werden. Die Durchlaufzeit der einzelnen Taktbereiche wird verlängert, aber die Optimierung der Pufferanteile, die der Effizienzparameter beschreibt, verkürzt die Gesamtdurchlaufzeit, wenn auch nur geringfügig. Abbildung 63 zeigt den erneut optimierten Gewerkezug mit seinen Daten. Durch die Aktion reduziert sich der Stabilitätsparameter, wodurch er sich immer weiter vom Sollbereich entfernt. Dies kann zu einem instabilen Bauablauf führen, der öfter angepasst werden muss. Der Wertschöpfungsparameter zeigt sich weiter verbessert und nähert sich seinem Idealwert von 1,5.

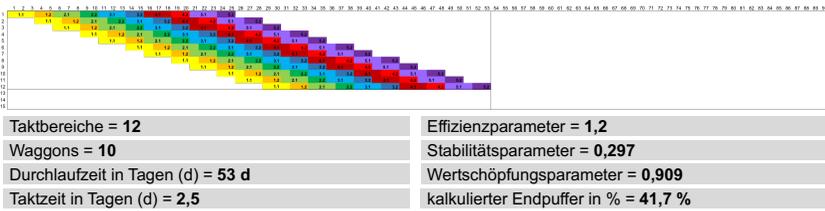


Abbildung 63: Optimierung des Effizienzparameters

9.3.7 Systemische Grenzen der Puffermanipulation in der Taktplanung

Der letzte Punkt der Handlungsempfehlungen beschreibt die Limitierungen einer Anwendung von Taktplanung allgemein sowie speziell im Bau von Produktionsimmobilien. Da die Taktplanung mit Produktionsabläufen aus der stationären Industrie verwandt ist, ist es einleuchtend, dass die Methode vorrangig Einsatz in der Realisierungsphase von Bauprojekten findet. Erste Versuche, auch Planungsinhalte zu takten, existieren, ein Einsatz auf diesem Gebiet ist aber aktuell weder stabil noch funktionierend. Dies gilt sowohl für Produktionsimmobilien wie für andere Gebäudearten. Eine Ausdehnung auf nachfolgende Einrichtungen und Inbetriebnahmen kann besonders im

Produktionsumfeld schon beim Anlagenaufbau von Produktionsanlagen nachgewiesen werden (vgl. Dlouhy u. a. 2017b, vgl. Oprach und Dlouhy 2017).

Eine Verbindung der Gewerke erhöht die Notwendigkeit einer präzisen und sequenzierten Logistik. Lagerflächen verkleinern sich synchron zu einer reduzierten Taktzeit oder einem reduzierten Taktbereich. Die Möglichkeit zur Lagerung wird auf die im Takt benötigten Materialien beschränkt, was eine Sortierung, Organisation und ggf. auch eine Vorkommissionierung erfordert. Mit kürzeren Taktzeiten und einhergehender Verkleinerung der Dimensionen und damit Vervielfachung der Takte kommen klassische Logistikkonzepte an ihre Grenzen. Neue Lösungen können hier mit Logistikdienstleistern erarbeitet werden.

Die Grenzen der Losgrößenverkleinerung stellen auch eine natürliche Grenze für zeitliche Optimierungen dar. Die gleichmäßige Teilbarkeit der Flächen der Werterstellung ist bis zu SRE (Standarddraumeinheit) gesichert. Damit limitiert die Größe der angelegten SRE die Optimierung der Projektdurchlaufzeit durch Losgrößenverkleinerung. Die Teilbarkeit der Dimension Taktlokation und damit der Taktbereiche ergibt ab bestimmten Größen physisch keinen Sinn mehr. Die kleinsten dem Autor aktuell bekannten Taktbereiche im Ausbau liegen bei 50 Quadratmetern bei einem Ein-Stunden-Takt (vgl. Dlouhy u. a. 2017a).

Auch die Teilung der Dimension Taktzeit stellt eine reale Grenze dar. Kaiser (2013, S. 149) beschreibt eine Taktzeit von zwei Tagen als untere Grenze der Taktplanung. Heinonen und Seppänen (2016, S. 26) nennen Taktzeiten von 25 Minuten im Ausbau von Kreuzfahrtschiffen. Bei der Sanierung von Supermärkten lassen sich schon Taktzeiten von bis zu einer Stunde finden (vgl. Binninger u. a. 2018). Für normale Projekte besteht aber mit der Zwei-Tages-Taktzeit eine erste Hürde. Bei Taktzeiten unterhalb dieses Wertes sollten die Anwender über praktische und theoretische Erfahrung verfügen.

Bei der Dimension des Taktprozesses sind vor allem Grenzen durch traditionelle Arbeitsweisen und starke Spezialisierungen von Gewerken gesetzt. Die traditionellen Arbeitspakete werden selten in Arbeitsschritten betrachtet und hinterfragt. Durch große und arbeitsintensive Arbeitspakete sind eine doppelte

Paketierung und Sequenzierung eingeschränkt oder nicht mehr möglich. Dadurch erhöht sich der Berechnungsaufwand.

9.4 Handlungsleitfaden für Bauherren

9.4.1 Vorbemerkung

Nachfolgend wird für den Einsatz der Taktplanung durch den Bauherrn ein Handlungsleitfaden erstellt. Die Inhalte beschreiben die Implementierung der Taktplanung in den Projekten der Projektstudie. Dies ermöglicht es Bauherren, eine Taktplanung selbständig in Projekten zu implementieren und Taktpläne nach ihren Zielkriterien zu bewerten. Die Forschungsergebnisse werden durch die Optimierung der Taktparameter und den Einsatz eines aktiven Puffermanagements in den Handlungsleitfaden eingeordnet.

9.4.2 Einsatzbereiche

Für den Einsatz der Taktplanung in Industriebauprojekten wurden keine Limitierungen festgestellt. In allen zehn Fallstudien war die Anwendung der Taktplanung möglich. Kleinstprojekte, wie die Fallstudie P3, wurden ebenso umgesetzt wie Großbauprojekte (P2). Innerhalb der gemessenen allgemeinen Projektattribute, der Taktattribute und der Implementierungsattribute konnten keine Werte ermittelt werden, die eine Taktplanung ausschließen würden.

Jedoch lassen sich bei unterschiedlichen Attributen von Projekten verschiedene Wirksamkeiten im Hinblick auf die Zeit ableiten. Die Auswertungen der Attribute und der zeitlichen Verbesserungen zeigten eine reduzierte Zeiteinsparung in großen, langen und komplexen Projekten (Kapitel 6.4.2). Das sollte besonders bei der Wahl von Pilotprojekten berücksichtigt werden.

Beispiele, wie Fallstudie P2 und andere wissenschaftliche Studien (vgl. Frandson und Tommelein 2016), (vgl. Horman u. a. 2003), zeigen, dass die Anwendung der Taktplanung nicht auf den Industriebau beschränkt ist,

sondern sogar in anderen Immobilienarten, wie beispielsweise dem Wohnungsbau, deutlich einfacher umzusetzen ist (Nezval 1960, S. 347). Auch Bestandsprojekte, bei denen es sich um eine Sanierung, Modernisierung oder einen Umbau handelt, stellen kein Ausschlusskriterium dar. Fünf der zehn Projekte, die in dieser Arbeit untersucht wurden, waren Umbauprojekte.

Die Taktplanung darf nicht als Methode zur Zeitreduzierung von Realisierungsphasen verstanden werden. Der Effekt der Zeitreduzierung kommt nicht durch schnelleres Arbeiten oder durch den erhöhten Einsatz von Arbeitskräften zustande. Er wird durch das Identifizieren und Visualisieren von Puffern und deren effektiver Nutzung erzeugt. Es bildet damit eine objektive Entscheidungsgrundlage für den Einsatz von Puffern. Die Entscheidung, ob das Bauprojekt zeitlich verkürzt werden soll oder der Puffer für stabile Abläufe genutzt wird, bleibt eine Entscheidung der Projektverantwortlichen.

9.4.3 Taktplanung in Verträgen

Für die Umsetzung der Taktplanung und Taktsteuerung auf der Baustelle sind die ausführenden Unternehmen mit dem Baumanagement verantwortlich. Je nach Vertragskonstellation müssen Leistungen der Taktplanung und Taktsteuerung in den Vertrag mit aufgenommen werden. In den Fallstudien in dieser Arbeit hatten vier von zehn vertraglich eine Integration der Taktplanung und Taktsteuerung (TPTS) vereinbart. Es hat sich gezeigt, dass der Vertrag allein nicht für ein gutes Ergebnis sorgt. Projekte ohne vertraglichen Passus waren in der Umsetzung der TPTS nicht benachteiligt. Jedoch waren ein höherer Überzeugungs- und Eigenaufwand notwendig. Durch eine Beschreibung im Vertrag mit definiertem Leistungsbild können Fragestellungen und Unsicherheiten in der Angebotskalkulation für die beteiligten Firmen reduziert werden.

Die vertragliche Definition entbindet den Bauherrn jedoch nicht von seinem eigenen Engagement, die Kundenziele in die Taktplanung und Taktsteuerung durchgängig zu integrieren. In allen Projektstudien waren der Projektleiter des Bauherrn sowie auch das gesamte Baumanagement aktiv an der TPTS beteiligt. Gerade durch den geringen Kenntnisstand vieler Bauunternehmen und

Projektmanager war die bauherrenseitige Verantwortung einer der Erfolgsfaktoren in den Projekten.

Leistungen, die sich an der getakteten Terminplanung orientieren, wie beispielsweise die Leistungsermittlung (Soll-/Ist-Abgleich) in Takten, die Abschlagszahlung in fertiggestellten Takten oder Mängelbeseitigung in übergebenen Takten, sollten in den Verträgen mit beschrieben sein.

9.4.4 Expertise des Bauherrn zur Taktplanung

Die in den Verträgen beschriebene Eigenverantwortung der Bauherren führt in Konsequenz zu einer eigenen Expertise der Bauherrenvertretung. Da die Methode der Taktplanung und Taktsteuerung nicht verbreitet ist, fehlt oftmals das Wissen zur Umsetzung bei Bauunternehmen Planern und Ingenieuren. Um trotzdem in Projekten die Vorteile nutzen zu können, wird empfohlen, eigenes Expertenwissen aufzubauen. So unterstützen Projektpartner bei der Implementierung und Umsetzung auf der Baustelle. Ohne ein inhaltliches Verständnis der technischen Mechanismen der Taktplanung ist ein wirksames Puffermanagement deutlich erschwert. Der Bauherr ist damit nicht in der Lage, die Kundenziele als Priorität für die Baustelle zu definieren. Eine effiziente Baustelle würde somit deutlich an Wirksamkeit für die Kundenziele verlieren, da keine Möglichkeit besteht, die Puffer in eine frühere Kundennutzung des Gebäudes zu übertragen.

Neben der technischen Expertise hat sich in den Projektstudien gezeigt, dass eine effiziente Zusammenarbeit von bauausführenden Unternehmen und dem Bauherrn und seinen Bauherrenvertretern ein entscheidender Faktor für die erfolgreiche Anwendung der Taktplanung war. Die teilweise als Kollaboration bezeichnete Zusammenarbeit begünstigte den Austausch und das Teilen von Wissen. Frühe Ansätze der Taktplanung, wie ab 1960 in der UdSSR (Kapitel 2.6.2) und 1970 in der BRD (Kapitel 2.6.3), waren rein technische Modelle, die die Art der Zusammenarbeit und Mitsprache der ausführenden Beteiligten nicht berücksichtigten. Die Komplexität moderner Projekte sowie die Beteiligung von verschiedenen Fachunternehmen machen einen solchen Ansatz in heutiger Zeit schwer umsetzbar. Durch Vereinfachung der technischen

Methode, wie von Kaiser (2013) oder Binninger u. a. (2017a) beschrieben, ist es möglich, alle Projektbeteiligten in die Taktplanung zu integrieren und zu informieren.

Die Expertise des Bauherrn umfasst somit nicht nur das technische Wissen rund um die Taktplanung, sondern auch die Fähigkeit der Kollaboration mit Projektbeteiligten durch einfache Darstellung und klare Zielvorgabe.

9.4.5 Training und Zieldefinition

Um eine gemeinsame Taktplanung aus Bauherrenvertretern, Planern und ausführenden Unternehmen in einem Projekt durchzuführen, wird empfohlen, die Planung und Implementierung im Beisein aller Projektbeteiligten zu beginnen. Da nicht davon ausgegangen werden kann, dass alle Projektbeteiligten den gleichen Wissensstand besitzen, wurde in allen Projektstudien ein gemeinsames Training, gefolgt von einer ersten Taktplanung des Projektes, durchgeführt. Insgesamt wurden in den zehn Fallstudien ca. 1.136 Stunden (Tabelle 19) zur Implementierung der Taktplanung geleistet. Hierbei sei jedoch erwähnt, dass viele Projektbeteiligte noch keinerlei Erfahrungen mit der Methode hatten.

Das Trainingskonzept (Dlouhy und Wagner 2018, S. 113 f.) sollte auf ein gemeinsames Verständnis zielen, das im weiteren Projektverlauf dann verfeinert werden kann. Hierfür haben sich Spielsimulationen als besonders effektiv erwiesen (vgl. Binninger u. a. 2017b). Der Umfang des ersten Trainings und der ersten gemeinsamen Taktplanung lag im Schnitt bei ein bis zwei Tagen, wobei es je nach Projektgröße starke Unterschiede gab. Das Ergebnis war ein von allen Projektbeteiligten gemeinsam erstellter Taktplan, der als Zieldefinition für das gesamte Projekt dienen kann. Dieser Taktplan wurde im Laufe der Projekte gemeinsam angepasst.

9.4.6 Berichtswesen in der Taktsteuerung

Die Taktplanung ermöglicht die Auswertung des Baustellenfortschrittes über die Taktsteuerung. Um auf Unvorhergesehenes und Störungen reagieren zu

9.4.7 Puffermanagement

Als letzte Rahmenbedingung wird das schon in Kapitel 9.2.2 erwähnte Puffermanagement genannt. Ein solches Puffermanagement ist besonders durch eine durchgängige Planung und Umsetzung wirksam. Die Anwendung von Taktplanung vereinfacht die Darstellung und Zuordnung von Puffern deutlich. Ähnlich wie bei der Berechnung der taktbezogenen Arbeitsinhalte in Kapitel 2.7.4 ermöglicht die Nutzung von TPTS einen einfachen und übersichtlichen Zugang zu Details durch vereinfachte Darstellung. Diese von den Projektleitern in Kapitel 8.3 als sehr positiv empfundene Transparenz unterstützt bei einem konsequenten Puffermanagement.

Die Wirksamkeit der Taktplanung im Hinblick auf die Zeit ergibt sich für den Bauherrn durch die Transparenz und die Handlungsfähigkeit von Puffern. Um die Puffer am Ende des Projektes (kalkulatorischer Endpuffer) wirksam für die Kundenziele einzusetzen, können die in Kapitel 7.2 beschriebenen aktiven und passiven Mechanismen angewendet werden. Der Fokus des Bauherrn sollte auf dem intelligenten und wirksamen Einsatz dieser Puffer im Projekt liegen. Die Frage der Gewichtung von unterschiedlichen Pufferarten sollte im einzelnen Anwendungsfall entschieden werden. Jedoch sind auch hierfür die Nutzung der in Kapitel 9.3 entwickelten Wirksamkeitsparameter und die Integration der Projektbeteiligten sinnvoll.

Die Reduzierung des kalkulatorischen Endpuffers sollte nicht zu Beginn des Projektes erfolgen. Auch innerhalb der Projektlaufzeit ist es sinnvoll, Kürzungen des Endpuffers nur durch die Analyse der Wirksamkeitsparameter und durch Entscheidung des gesamten Projektteams durchzuführen.

9.5 Zusammenfassung

Kapitel 9 überführt die Erkenntnisse bzgl. der Wirksamkeit der Taktplanung aus zeitlicher Perspektive in praktisch anwendbare Handlungsempfehlungen. Der Effizienzparameter, der Stabilitätsparameter und der Wertschöpfungsparameter sorgen durch klare Bewertung und klare Definition von Idealbereichen

für eine allgemeine Bewertbarkeit von terminlichen Optimierungsmöglichkeiten in einem Taktplan. Der Handlungsleitfaden beschreibt die wichtigsten Handlungsfelder für die Implementierung der Taktplanung durch einen Bauherrn. In diesen Leitfaden sind die Ergebnisse dieser Forschungsarbeit, die Optimierung des Taktplanes und das aktive Puffermanagement, mit eingeordnet. Abbildung 65 fasst die Handlungsfelder und die Einsatzgebiete der Forschungsergebnisse in einem schematischen Projektablauf als Handlungsleitfaden zusammen.

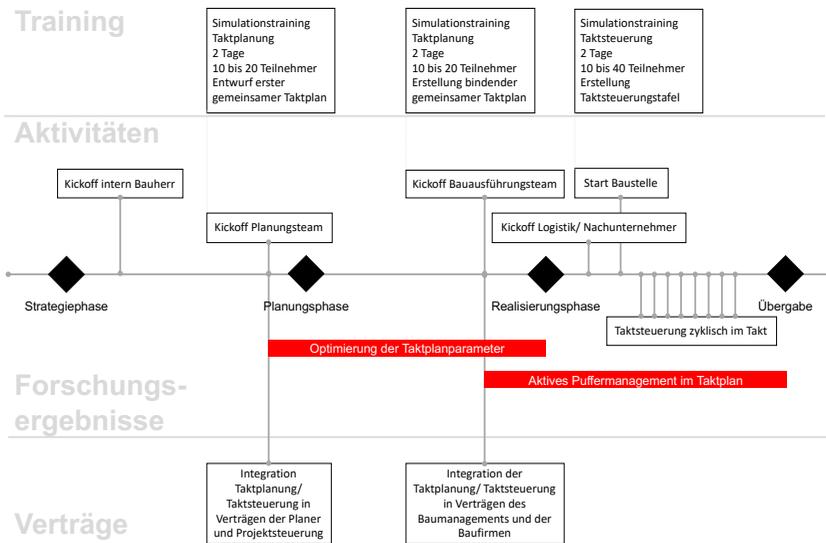


Abbildung 65: Handlungsleitfaden für Bauherren zur Implementierung der Taktplanung in einem Bauprojekt

10 Zusammenfassung der Forschungsergebnisse

10.1 Einleitung

Die Ergebnisse der Forschungsarbeit werden in diesem Kapitel zusammengefasst. Hierfür werden die einzelnen Ergebnisse zu den Teilforschungsfragen (FF1 – FF3) beschrieben. Ziel des Kapitels ist die Beantwortung der übergeordneten Forschungsfrage. Ein Ausblick auf zukünftige Forschungsfelder schließt die Arbeit ab. Die Forschungsschwerpunkte werden im folgenden Unterkapitel erneut beschrieben und die jeweiligen Ergebnisse aus der Forschungsarbeit zusammengefasst. Die Forschungsschwerpunkte führen dann zur Beantwortung der übergeordneten Forschungsfrage.

10.2 Beantwortung der Forschungsfragen

10.2.1 Teilforschungsfrage 1 (FF1)

Wie lässt sich die Wirkung der Taktplanung auf das Bauherrenziel Termine quantifizieren?

Zur Ermittlung der Wirksamkeit der Taktplanung wurde in Kapitel 4 ein theoretischer Takt-Ansatz aus der Literaturrecherche in zehn ausgewählten Projekten in einer Projektstudie definiert. Hierfür wurden als Datengrundlage die zeitlichen Ergebnisse der mit Taktplanung umgesetzten Projekte genutzt. In Kapitel 5 wurden aus den Projekten zeitliche Ergebnisse (Vertragszeitraum, Taktplanungszeitraum, Taktrealisierungszeitraum und Teilflächenübergabezeitraum) und Projektattribute ermittelt. Tabelle 30 zeigt die terminliche Reduzierung des Vertragszeitraumes von mehr als 24 % sowohl in der Planung als auch in der Durchführung der Taktplanung. Die Ergebnisse der Projektstudie zeigen eine Reduzierung der Übergabetermine durch die Taktplanung.

Daraus lässt sich folgern, dass durch den Einsatz der Taktplanung Bauzeiten verkürzt werden können. Es besteht also das Potential, diese Zeiteffekte für den Bauherren nutzbar zu machen.

Tabelle 30: Übersicht Ergebnisse der Projektstudie bezogen auf zeitliche Effekte

	Real Reduzierung in Prozent	Plan Reduzierung in Prozent
Durchschnitt in 10 Projekten	25,9%	24,8%

10.2.2 Teilforschungsfrage 2 (FF2)

Welche Faktoren beeinflussen die Wirksamkeit des Bauherrnzieles Termine beim Einsatz der Taktplanung?

Die in Kapitel 5 ermittelten Daten der Projektstudie wurden in Kapitel 6 ausgewertet. Die Korrelationen der Projektdaten wurden in Bezug auf die zeitlichen Mechanismen analysiert, wodurch fünf zeitlich relevante allgemeine Hauptaussagen abgeleitet wurden:

1. Projekte mit einer langen Vertragslaufzeit generieren relativ weniger Zeitreduzierung als Projekte mit kürzeren Vertragslaufzeiten.
2. Projekte mit einer langen Projektdauer steigern die Komplexität der Taktattribute und damit die Komplexität der Taktplanung.
3. Projekte mit komplexer Taktplanung belassen mehr zeitliche Puffer innerhalb der Gewerkezüge.
4. Komplexe Projekte hatten Projektleiter mit wenig Erfahrung in der Taktplanung.
5. Vorkenntnisse der Projektbeteiligten reduzieren in den Projekten nicht die Projektunterstützung.

Kapitel 7 beschrieb die Gründe für die zeitliche Reduzierung in der Projektstudie in sieben aktiven und fünf passiven Mechanismen. Daraus lassen sich folgende Regeln für die Zeitreduzierung ableiten:

1. Eine geringe Taktzeit erzeugt eine hohe Parallelisierung, wodurch die zeitlichen Puffer innerhalb von Gewerkezügen deutlich reduziert werden können.
2. Eine geringe Losgröße reduziert die Puffer zwischen den Takten und reduziert somit die Projektdurchlaufzeit.
3. Parallelisierte Arbeitspakete in Waggons reduzieren die Durchlaufzeit der Teilflächen.
4. Zeitpuffer am Ende des Projektes (kalkulierter Endpuffer nach dem Zug) erhöhen die terminliche Wirksamkeit der Taktplanung für Bauherren.
5. Die Umwandlung der Pufferarten 0 bis 8 zu kalkuliertem Endpuffer (Pufferart 9) erhöht die Verwertbarkeit nicht benötigter Zeitpuffer für nachfolgende Arbeiten und den Kunden. Diese Manipulation der Puffer kann jedoch Instabilitäten erzeugen.
6. Aktives Puffermonitoring und Puffermanagement durch den Bauherrn und die Projektbeteiligten ermöglichen signifikante Zeitreduzierungen in der Realisierungsphase eines Bauprojektes.

Die Projektleiterbefragung in Kapitel 8 unterstrich die zeitlichen Effekte und deren Wert für den Bauherrn. Durch die Ermittlung der Wirkungsweise der zeitlichen Mechanismen konnte Teilforschungsfrage 2 beantwortet werden.

10.2.3 Teilforschungsfrage 3 (FF3)

Welche Maßnahmen können von Bauherren ergriffen werden, um die zeitlichen Effekte der Taktplanung in Bauprojekten besser zu nutzen?

Kapitel 9 fasste die Handlungsempfehlungen für Bauherren zur sinnvollen Nutzung der zeitlichen Effekte der Taktplanung zusammen. Es wird ein übergeordnetes Puffermanagement empfohlen, das mit anpassbarem, kalkuliertem Endpuffer arbeitet. Es werden drei Parameter definiert, über die eine Taktplanung allgemein bewertet und dimensioniert werden kann:

- Effizienzparameter: **0,3 – 3,0** (theoretischer Idealwert 1)
- Stabilitätsparameter: **0,5 – 2,0** (praktischer Idealwert 1,25)
- Wertschöpfungsparameter: **0,5 – 2,5** (praktischer Idealwert 1,5)

Die Handlungsempfehlungen beschreiben den Einsatz der Taktplanung für Bauherren und eine beispielhafte Anwendung der Parameter für die Taktplanung. Hierbei werden als neue Elemente die Optimierung der Taktparameter in der Planungsphase und das aktive Puffermanagement während der Ausführungsphase durch diese Arbeit ermöglicht.

10.2.4 Übergeordnete Forschungsfrage

Die übergeordnete Forschungsfrage aus Kapitel 1.3, „Wie wirkt sich der Einsatz der Methode der Taktplanung auf die Erreichung der Terminziele von Industriebauherren aus?“, wurde in dieser Forschungsarbeit beantwortet. Die terminlichen Effekte zeigen sich an Zeitreduzierungen in der Projektstudie. Die Mechanismen dieser zeitlichen Effekte sind technisch nachvollziehbar und reproduzierbar. Beim Einsatz der Taktplanung bieten sie dem Bauherrn die Möglichkeit, die zeitlichen Effekte mittels in dieser Arbeit entwickelter Taktparameter und des aktiven Puffermanagements zu bewerten und zu nutzen. Ohne den Einsatz der Taktplanung ist ein aktives Puffermanagement nach Ansicht des Autors nur mit enormem Arbeitsaufwand durchführbar. Die zeitlichen Optimierungen werden nicht durch Mehraufwendungen (z. B. Mitarbeitererhöhung) getragen, sondern durch eine minimierte Verschwendung von Puffern. Trotz dieser „Verknappung“ von Puffern ist durch den kalkulierten Endpuffer weiterhin gewährleistet, dass benötigte Puffer auch genutzt werden können. Der Autor konnte durch Anwendung der Taktparameter und des aktiven Puffermanagements beobachten, dass Transparenz von Puffern die Kultur innerhalb eines Projektteams positiv beeinflussen kann. Das bestätigt die Befragung der Projektleiter, die Transparenz als einen der wichtigsten Werte der Taktplanung nennen. Ziel der in dieser Forschungsarbeit beschriebenen Vorgehensweise war nicht die Maximierung der zeitlichen Effekte und somit eine maximale Reduzierung der Durchlaufzeit von Realisierungsphasen von Bauprojekten, sondern ein wertschöpfender und effizienter Umgang mit der Ressource „Puffer“ innerhalb der Taktplanung. Wie in der Projektleiterumfrage beschrieben, werden durch den Einsatz der Taktplanung auch andere

Bauherrenziele, wie Qualität und Arbeitssicherheit, verbessert. Diese Effekte sollten in weiteren Forschungen berücksichtigt werden.

10.3 Ausblick

10.3.1 Allgemeines

Die derzeitigen Forschungen im Bereich der Taktplanung im Bauwesen sind nach heutigem Kenntnisstand des Autors lückenhaft und wenig stringent. Es kann der Eindruck entstehen, dass eine Taktplanung oft nur an ein bestimmtes Bauprodukt (Ausbau von Bürofläche oder Hallenstahlbau) gekoppelt wurde. Durch die Taktplanung von Prozessen und deren modellhafte Beschreibung (doppelte Paketierung und doppelte Sequenzierung; Abbildung 8) ist eine produktunabhängige Forschung bzgl. der Taktplanung möglich. Hierbei werden aktuell leider erst wenige Forschungen spezialisiert oder Themenfelder erforscht.

Der Autor ist der Auffassung, dass eine Intensivierung der Forschungsaktivitäten im Bereich der Taktplanung und auch der Taktsteuerung die in Kapitel 1 beschriebenen Produktivitätsprobleme der Baubranche nachhaltig beheben kann. Man kann hier von einem *Missing Link (einer fehlenden Verbindung)* für die Weiterentwicklung der wertschöpfenden Prozesse auf einer Baustelle sprechen. Ohne die Taktplanung erzeugen viele Innovationen, die in anderen Industrien Wirksamkeit entfaltet haben, in der Bauindustrie wenig Wirkung. Als Grundlage für eine Produktionsexpertise auf Baustellen ist eine weitere Erforschung der Taktplanung und der Taktsteuerung von großer Bedeutung. Nachfolgend werden einige wesentliche potenzielle Forschungsfelder skizziert.

10.3.2 Taktsteuerung

Die aktive Taktsteuerung stellt eine der wichtigsten Stellgrößen für die Produktivität auf der Baustelle dar. Neben Standardabläufen und Leerlaufzeiten

aus den Einzelarbeitsprozessen ermöglicht sie über die Aufnahme von Kennzahlen und Metadaten eine völlig neue Perspektive auf die dynamischen Abläufe einer Baustelle.

In allen bis heute beschriebenen Taktansätzen, die dem Autor bekannt sind, nimmt die Taktsteuerung eine sehr kleine bis gar keine Rolle ein. Dieses fehlende Wissen macht bestehende Erkenntnisse aus nicht getakteten Arbeitsabläufen, wie z. B. die Erfahrung vieler Bauleiter, für getaktete Bauprojekte schwierig verwertbar.

Gerade in großen Projekten oder Projekten mit kurzen Taktzeiten werden die Taktsteuerungsbesprechungen und damit Steuerungen zwischen den Takten immer komplexer und kurzzyklischer. Tritt hier keine Professionalisierung auf der Baustelle ein, ergibt sich eine Hürde für weitere Produktivitätssteigerungen.

10.3.3 Logistik

Die Anforderungen an die Logistik werden in einem Taktsystem deutlicher definiert. Gleichzeitig bietet die klare Trennung von wertschöpfender Tätigkeit und logistischer Tätigkeit die Möglichkeit einer Spezialisierung und somit einer Produktivitätssteigerung. Es besteht aber auch die Gefahr der fehlenden Flexibilität, wenn logistische Abläufe zu detailliert auf eine bestehende Taktplanung angepasst sind und nicht mehr verändert werden können. Das Potential einer getakteten Logistik im Baustellentakt ist aus Sicht des Autors außerordentlich hoch und noch wenig erforscht. Neben den ausführenden Unternehmen sollten hier Baustoffhändler die Forschung aus Eigeninteresse unterstützen.

10.3.4 Integration weiterer Bauphasen

Die Realisierungsphase stellt nur eine von mehreren Bauphasen dar. Die Übertragung der Taktprinzipien auf die anderen Phasen scheint auf den ersten Blick wenig erfolgversprechend, da eine direkte Übertragung kaum realisierbar ist. Zu unterschiedlich sind die Anforderungen von beispielsweise der

Planungsphase und der Realisierungsphase. Jedoch zeigt sich in den ersten Versuchen einiger Pilotprojekte, dass die Nutzung des Taktansatzes durch Modifikation erfolgreich übertragen werden kann. Der Transfer auf den nach der Bauphase folgenden Anlagenaufbau ist hierbei schon in Beispielen dokumentiert (vgl. Oprach und Dlouhy 2017); (vgl. Dlouhy u. a. 2017b). Aber auch in den Planungsphasen können Taktelemente sinnvoll sein, vor allem wenn hier ein phasenübergreifendes Taktsystem genutzt wird. Die Entwicklung eines solchen Systems könnte die Ziele von Bauherren phasenübergreifend verbessern und auch die Taktsysteme der Realisierungsphase begünstigen.

10.3.5 Analyse von komplexen Projekten

Es hat sich in der Analyse der linearen Korrelationen gezeigt, dass komplexe Projekte nicht dieselben relativen zeitlichen Effekte erzielen wie einfachere Projekte. Der Autor ist davon überzeugt, dass aktuelle Ansätze und Methoden für den Einsatz in Großprojekten noch nicht ausreichend entwickelt oder erprobt sind. Hierbei verhalten sich die Projekte in ihrer Komplexität nicht linear. Diese fehlenden Kenntnisse über Skalierungsmechanismen könnten ein Schlüssel zur Produktivitätssteigerung von komplexen Bauprojekten sein.

10.3.6 Prozessstandards

Die Taktplanung bildet mit ihren Gewerkesequenzen und Arbeitspaketen eine Grundlage für den Aufbau von Standards von Prozessen. Arbeitsabläufe von Bauprojekten werden immer wieder aufs Neue entwickelt. Durch die Projekte der Projektstudie konnten über 30 Gewerkesequenzen erstellt werden. Diese Sequenzen konnten teilweise wieder in nachfolgenden Projekten genutzt werden. Hierbei hat der Autor die Erfahrung gemacht, dass ca. 85 % der Sequenzen direkt nutzbar sind und ca. 15 % verändert werden müssen. Sequenzen sollten in Zukunft nicht mehr nur in Projekten entwickelt werden, sondern projektübergreifend entwickelt und dann den Bauprojekten zur Verfügung gestellt werden. Die Detaillierung und Qualität in den Sequenzen würden sich massiv erhöhen und zu einer Optimierungsschleife führen.

10.3.7 Einsatz von neuronalen Netzen und Deep Learning

Die Taktplanung und Taktsteuerung bietet die Möglichkeit, Bauprojekte durch die aufkommenden Technologien der künstlichen Intelligenz in Form von *neuronalen Netzen* wie auch durch *Data Analytics* zu verbessern. Durch die klare Dokumentation von Rahmenparametern und Daten in einer Taktplanung, wie den Ist-Ergebnissen aus der Taktsteuerung, könnten Algorithmen durch Kombination mathematischer Möglichkeiten Veränderungsszenarien und Hochrechnungen auf Grundlage aller bis dato erstellten Taktprojekte erstellen. Diese Infrastruktur scheint aktuell noch weit entfernt, jedoch ändert die mathematische Detaillierung des Bauprozesses die Nutzung von Computern im Zusammenhang mit Bauprojektmanagement. Dem Autor sind bereits erste Versuche in diesem Kontext bekannt.

Literaturverzeichnis

Albers, Sönke; Klapper, Daniel; Konradt, Udo; Walter, Achim; Wolf, Joachim (Hrsg.) (2009), *Methodik der empirischen Forschung*. Springer-Verlag. — ISBN: 978-3-8349-1703-4

Alves, Thais da C. L.; Tommelein, Iris D. (2004), „Simulation of Buffering and Batching Practices in the Interface Detailing-Fabrication-Installation of HVAC Ductwork“. In: *Proceedings of the 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Helsingør, Denmark.

Berner, Fritz; Kochendörfer, Bernd; Schach, Rainer (2013), *Grundlagen der Baubetriebslehre 2: Baubetriebsplanung / von Fritz Berner, Bernd Kochendörfer, Rainer Schach*. Springer-Verlag. — ISBN 978-3-658-03226-5

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; Haghsheno, Shervin (2016a), „Bauustellensteuerung 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; Haghsheno, Shervin (2018), „Short Takt Time in Construction – a Practical Study“. In: *26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Chennai, India, S. 1133–1143, DOI: 10.24928/2018/0472.

Binninger, Marco; Dlouhy, Janosch; Oprach, Svenja; Haghsheno, Shervin (2017b), „Learning Simulation Game for Takt Planning and Takt Control“. In:

25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Heraklion, Greece, S. 227–233.

Binninger, Marco; Dlouhy, Janosch; Oprach, Svenja; Haghsheno, Shervin (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; Steuer, Dominik; Haghsheno, Shervin (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 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, M. , Dlouhy, J. , Müller, M. , Schattmann, M. & Haghsheno, S. (2018c), '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

Blasberg, Gerwin (2005), *Verkürzung der Projektdurchlaufzeit im Bauwesen*. vdf Hochschulverlag AG. — ISBN: 978-3-7281-3010-5

Bølviken, Trond; Aslesen, Sigmund; Koskela, Lauri (2015), „What Is a Good Plan?“. In: , S. 93–102.

Budnikow, M. S.; Nedawni, P. I.; Ribalski, B. I. (1962), *Grundlagen der Fließfertigung*. deutsche Übersetzung aus dem Russischen. Deutsche Bauinformation.

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.

Cohn, Mike (2005), *Agile Estimating and Planning*. 1 edition. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. — ISBN: 978-0-13-147941-8

Deutsches Institut für Normung (2014), *DIN EN ISO 9000 Qualitätsmanagementsysteme - Grundlagen und Begriffe (ISO/DIS 9000:2014)*. Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 9000:2014. o.V.

DIN (2012), *VOB: Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen / im Auftrag des Deutschen Vergabe- und Vertragsausschusses für Bauleistungen* hrsg. vom DIN Deutsches Institut für Normung e. V. o.V. — ISBN: 978-3-410-61290-2

DIW Berlin (2017), „Bauvolumen in Deutschland bis 2017 | Statistik“. *Statista*. Abgerufen am 04.03.2018 von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/167953/umfrage/bauvolumen-in-deutschland-seit-2008/>.

Dlouhy, Janosch; Binnering, Marco; Müller, Matthias; Haghsheno, Shervin (2017a), „Zeitreduzierung in der Taktplanung am Beispiel einer Supermarkt-sanierung“. In: *Tagungsband zum 28. BBB-Assistententreffen vom 27. bis 29. Juni 2017 in Kaiserlautern*. Kaiserlautern, Deutschland.

Dlouhy, Janosch; Binnering, Marco; Oprach, Svenja; Haghsheno, Shervin (2016), „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.

Dlouhy, Janosch; Grobler, Willem; Binnering, Marco; Haghsheno, Shervin (2017b), „Lean Equipment Installation – Potentials of Using Takt Planning“. In: *25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Heraklion, Greece, S. 721–728.

Dlouhy, Janosch; Wagner, Jochen (2018), „Lean Construction in

Bauherrenorganisationen“. In: *Lean Construction – Das Managementhandbuch*. Springer Gabler, Berlin, Heidelberg, S. 105–117, DOI: 10.1007/978-3-662-55337-4_7. — ISBN: 978-3-662-55336-7

Doll, Nikolaus (2013), „So viel verdienen die Autohersteller pro Fahrzeug“. *welt.de*. Abgerufen am 19.06.2017 von <https://www.welt.de/wirtschaft/article118779825/So-viel-verdienen-die-Autohersteller-pro-Fahrzeug.html>.

Drucker, Peter F. (1963), „Managing for Business Effectiveness“. *Harvard Business Review*. Abgerufen am 02.09.2017 von <https://hbr.org/1963/05/managing-for-business-effectiveness>.

Dudenredaktion (2014), *Duden - Die deutsche Rechtschreibung: Das umfassende Standardwerk auf der Grundlage der aktuellen amtlichen Regeln*. 26. Auflage. Mannheim: Bibliographisches Institut. — ISBN: 978-3-411-04650-8

Faloughi, Mazen; Linnik, Meeli; Murphy, Dan; Frandson, Adam (2015), „WIP Design in a Construction Project Using Takt Time Planning“. In: *Proceedings of the 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, S. 163–172.

Frandson, 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.

Frandson, 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, S. 3–12.

Frandson, Adam G.; Tommelein, Iris D. (2016), „Takt Time Planning of Interiors on a Pre-Cast Hospital Project“. In:

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

Gabler Wirtschaftslexikon; Springer Gabler Verlag (Hrsg.) (2017), „Stichwort: Time Based Management“.

Galton, Francis (1888), „Co-relations and their measurement, chiefly from anthropometric data.“. In: *Proceedings of the Royal Society.*, S. 135–145.

Girmscheid, Gerhard (2010a), *Projektentwicklung in der Bauwirtschaft: Wege zur Win-Win-Situation für Auftraggeber und Auftragnehmer*. 3., bearb. u. erw. Aufl. Heidelberg: Springer [u.a.] (VDI). — ISBN: 978-3-642-14384-7

Girmscheid, Gerhard (2015), *Projektentwicklung in der Bauwirtschaft-prozessorientiert: Wege zur Win-Win-Situation für Auftraggeber und Auftragnehmer*. 4. Aufl. Berlin: Springer Vieweg. — ISBN: 978-3-662-44249-4

Girmscheid, Gerhard (2010b), *Strategisches Bauunternehmensmanagement: prozessorientiertes integriertes Management für Unternehmen in der Bauwirtschaft*. 2., bearb. und erw. Aufl. Berlin: Springer (VDI). — ISBN: 978-3-642-14194-2

Glatte, Thomas (2014), *Entwicklung betrieblicher Immobilien: Beschaffung und Verwertung von Immobilien im Corporate Real Estate Management*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH (Leitfaden des Baubetriebs und der Bauwirtschaft). — ISBN: 978-3-658-05686-5

Haghsheno, Shervin (2004), *Analyse der Chancen und Risiken des GMP-Vertrags bei der Abwicklung von Bauprojekten*. 1. Aufl. Berlin: Mensch & Buch. — ISBN: 978-3-89820-804-8

Haghsheno, Shervin; Binnering, Marco; Dlouhy, Janosch; Sterlike, Simon (2016), „History and Theoretical Foundations of Takt Planning and Takt Control“. In: *24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Boston, USA.

Harden, Heinrich; Kahlen, Hans (Hrsg.) (1993), *Planen, Bauen, Nutzen und*

Instandhalten von Bauten. Stuttgart: Kohlhammer (Facility Management).
— ISBN: 978-3-17-010763-2

Heinonen, Aleks; Seppänen, Olli (2016), „Takt Time Planning: Lessons for Construction Industry from a Cruise Ship Cabin Refurbishment Case Study“. In.:

Höhne, Steffen (2014), „Fließbandarbeit in Leipzig - Im 76-Sekunden-Takt zum neuen BMW“. *Mitteldeutsche Zeitung*.

Horman, Michael J. (2001), „Modeling the Effects of Lean Capacity Strategies on Project Performance“. In: *Proceedings of the 9th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Singapore, Singapore.

Horman, Michael J.; Messner, John I.; Riley, David R.; Pulaski, Michael H. (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.

Horman, Michael; Kenley, Russell (1998), „Process Dynamics: Identifying a Strategy for the Deployment of Buffers in Building Projects“. In: *International Journal of Logistics Research and Applications*. 1 (3), S. 221–237, DOI: 10.1080/13675569808962049.

Horman, Michael; Kenley, Russell; Jennings, Victor (1997), „A Lean Approach to Construction: an Historical Case Study“. In: *Proceedings of the 5th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Gold Coast, Australia, S. 63–76.

Howell, Greg; Ballard, Glenn (1998), „Implementing Lean Construction: Understanding and Action“. In: *Proceedings of the 6th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC 6)*, Guaruja, SP. Guaruja, Brasil.

Imgrund, Christian (2014), „Ganzheitliche Ansätze und Methoden zur nachhaltigen Neuplanung einer energieeffizienten Fabrik mit besonderem

Schwerpunkt auf die Automobilmontage“. Technische Universität Chemnitz.

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

Kaiser, Jörg; Zikas, Theodoros (2009), „Lean Management im Straßen- und Tiefbau“. In: *Bauportal*. 121 (5), S. 290–293.

Kaiser, Robert (2014), *Qualitative Experteninterviews: Konzeptionelle Grundlagen und praktische Durchführung*. 1. Aufl. Springer Fachmedien Wiesbaden.

Kalusche, Wolfdietrich (2012), *Projektmanagement für Bauherren und Planer*. 3. Aufl. München: De Gruyter Oldenbourg. — ISBN: 978-3-486-70556-0

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

Körtgen, Manfred (2010), *Optimierungsansätze zur prozessorientierten Abwicklung komplexer Baumaßnahmen unter Einsatz neuer Informations- und Kommunikationssysteme*. Kassel: Kassel Univ. Press (Schriftenreihe Bauwirtschaft 1, Forschung). — ISBN: 978-3-89958-929-0

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*.

Maywald, Anke (2009), *Professionalisierung Sozialer Arbeit durch Qualitätsmanagement?: Eine Studie zur Effektivität und Effizienz von QM-Systemen für den Sozialen Bereich*. Diplomica Verlag. — ISBN: 978-3-8366-7316-7

McGrigor, Alistair (2010), „What are sectional completion and partial possession?“. *isurv Building value from knowledge*. Abgerufen am 21.08.2017 von

http://www.isurv.com/site/scripts/documents_info.aspx?documentID=3411&categoryID=322.

Mendez, Jr; Heineck, Luis Fernando M. (1998), „Preplanning Method for Multi-Story Building Construction Using Line of Balance“. In.:

Moura, Rafael de Sousa Leal Martins; Monteiro, José Márcio Feitosa; Heineck, Luiz Fernando Mählmann (2014), „Line of Balance – Is It a Synthesis of Lean Production Principles as Applied to Site Programming of Works?“. In: *Proceedings of the 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction.*, S. 703–714.

Nezval, Jiri (1960), *Grundlagen der Fließfertigung in der Bauproduktion*. 1. Auflage. Verlag für Bauwesen Berlin.

Nielsen, Anni Schmidt; Thomassen, Mikkel Andreas (2004), „How to Reduce Batch Size“. In: *Proc., 12th Annual Conf. of the Int. Group for Lean Construction (IGLC-12)*.

O. A. (2017), „The construction industry’s productivity problem“. *The Economist*. Leaders section.

Oberndorfer, Wolfgang; Haring, Roland (2015), *Organisation und Kostencontrolling von Bauprojekten: Bauherrenaufgaben, Kostenplanung und Kostenverfolgung und Risikomanagement*. 2. Aufl. MANZ Verlag Wien. — ISBN: 978-3-214-13092-3

Oprach, Svenja; Dlouhy, Janosch (2017), „Einsatz von Lean im Anlagenbau“. In: *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*. (112(12)), S. 835–838.

Peters, Remco (2009), *Shopfloor Management: Führen am Ort der Wertschöpfung*. Stuttgart: LOG_X. — ISBN: 978-3-932298-39-4

Pfarr, Karlheinz (1984), *Grundlagen der Bauwirtschaft*. Essen: Dt. Consulting Verl. — ISBN: 978-3-922598-58-9

Poshdar, M.; González, V. A.; Belayutham, Sheila (2015), „An Inclusive

Probabilistic Buffer Allocation Method“. In: *Proceedings of the 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Perth, Australia, S. 183–192.

Prem, Friedrich (2013), *Starke Bauherren: komplexe Bauprojekte effizient und erfolgreich managen*. Frankfurt, M: Frankfurter Allg. Buch. — ISBN: 978-3-89981-291-6

PwC (2014), „Entwicklung von Erwerbstätigkeit, Bruttowertschöpfung und Produktivität in Deutschland nach Industriesektor 2011 | Statistik“. *Statista*. Abgerufen am 04.03.2018 von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/419945/umfrage/erwerbstaetigkeit-bruttowertschoepfung-und-produktivitaet-in-deutschland-nach-industriesektor/>.

Reinertsen, Donald G. (2009), *The Principles of Product Development Flow: Second Generation Lean Product Development*. 1. Aufl. Redondo Beach, Calif: Celeritas Publishing. — ISBN: 978-1-935401-00-1

Sakamoto, Masanobu; Horman, Michael J.; Thomas, H. Randolph (2002), „A Study of the Relationship between Buffers and Performance in Construction“. In: *Proceeding of the Tenth Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Gramado, Brazil.

Schäfer, Thomas (2008), „Methodenlehre II - Nichtlineare Zusammenhänge & Partialkorrelationen“. Chemnitz Sommersemester.2008.

Schlittgen, Rainer (2008), *Einführung in die Statistik: Analyse und Modellierung von Daten*. 11. Aufl. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH. — ISBN: 3-486-71059-1

Schmidt, Katrin; Voigt, Kai-Ingo (2018), „Definition: Industrie“. *Gabler Wirtschaftslexikon*. Abgerufen am 21.05.2018 von <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/industrie-39688/version-263090>.

Schönbeck, Dewi (2009), „Branding im Industriebau am Beispiel der Automobilfertigung: eine gebäudetypologische Betrachtung“. In:, DOI: <http://dx.doi.org/10.18419/opus-301>.

Schub, Adolf (1970), *Probleme der Taktplanung in der Bauproduktion*. Wiesbaden und Berlin: Bauverlag GmbH (Schriftenreihe des Bayerischen Bauindustrieverbandes).

Shapiro, S. S.; Wilk, M. B. (1965), „An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples)“. In: *Biometrika*. 52 (3/4), S. 591–611, DOI: 10.2307/2333709.

Shim, Euysup (2011), „Impacts of matched batch sizes on time reduction in construction projects“. In: *Proceedings of the 28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction.*, S. 929–934.

Statistisches Bundesamt (2020), "Entwicklung der Bauinvestitionen in Deutschland seit 1991". zitiert nach de.statista.com, URL de.statista.com/statistik/daten/studie/192151/umfrage/entwicklung-der-bauinvestitionen-in-deutschland-seit-1991/ Abruf am 18.01.2021, 14.26 Uhr

Steinbuch, Pitter A. (2000), *Projektorganisation und Projektmanagement*. 2., Aufl. Ludwigshafen (Rhein): Neue Wirtschafts-Briefe. — ISBN: 978-3-470-48592-8

Takeda, Hitoshi (1996), *Das System der Mixed Production: Personal-Order-Prinzip für kundenorientierte Produktion*. MI Wirtschaftsbuch. — ISBN: 978-3-86416-080-6

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.

Tommelein Iris D. (1998), „Pull-Driven Scheduling for Pipe-Spool Installation: Simulation of Lean Construction Technique“. In: *Journal of Construction Engineering and Management*. 124 (4), S. 279–288, DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9364(1998)124:4(279).

Tommelein, Iris D.; Weissenberger, Markus (1999), „More Just-in-Time: Location of Buffers in Structural Steel Supply and Construction Processes“. In: *Proceedings of the 7th Annual Conference of the International Group for Lean*

Construction., S. 109–120.

Tommelein, Iris; Riley, David; Howell, Greg (1999), „Parade Game: Impact of Work Flow Variability on Trade Performance“. In: *Journal of Construction Engineering and Management*. 125 (5), S. 304–310, DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9364(1999)125:5(304).

Valente, Caroline P.; Montenegro, Germano A.; Brito, Felipe L.; Biotto, Clarissa N.; Mota, Bruno P.; Schramm Fabio K. (2013), „Benefits of Batch Size Reduction: A Case Study in a Residential Project“. In: *Proceedings of the 21th Annual Conference of the International Group for Lean Construction.*, S. 1029–1038.

VDI 2553 (2017), „VDI-Richtlinie Lean Construction“. *VDI*. Abgerufen am 13.09.2020 von https://www.vdi.de/richtlinien?tx_vdiguidelines_guideline-list%5Bfilter%5D%5Bse-archTerm%5D=2553&cHash=9d2388217fe763563d80b6505498c9b9.

Verband für Arbeitsstudien (Hrsg.) (1985), *Kostenrechnung, Arbeitsgestaltung*. 7. Aufl., 202.-271. Tsd. München: Hanser (Methodenlehre des Arbeitsstudiums). — ISBN: 978-3-446-14236-7

Volkman, Walter (2016), „Terminsteuerung des Projektmanagers von der Projektvorbereitung bis zur Inbetriebnahme“. In: *DVP Projektmanagement Herbsttagung Tagungsband*. Berlin.

Wahrig (2009), *Herkunftswörterbuch* 5. Auflage. wissenmedia GmbH, Geschäftsbereich Verlag, Gütersloh/München, ISBN 978-3-577-07585-5 ,

Ward, Steven A.; McElwee, Ward (2007), „Application of the Principle of Batch Size Reduction in Construction“. In: *15th Annual Conference of the International Group for Lean Construction.*, S. 539–548.

Wiendahl, Hans-Peter; Gerst, Detlef; Keunecke, Lars (2013), *Variantenbeherrschung in der Montage: Konzept und Praxis der flexiblen Produktionsendstufe*. Springer-Verlag. — ISBN: 978-3-642-18947-0

Wollensak, Julia (2013), „Entscheidungsprozesse und Aufgaben eines Bauherrn“. Stuttgart: Univ. Stuttgart, Inst. für Baubetriebslehre.

Yin, Robert (2009), „Case study research. Design and methods“. In: *Applied social research methods series, Volume 5*. Second Edition. Thousand Oaks London New Dehli: SAGE Publications - International Educational and Professional Publisher.

Anhang

Anhang Nr. 1

Beispiel Vorgehensweise Rangkorrelation nach Spearman

Im folgenden kleinen Beispiel soll die in dieser Arbeit angewendete Vorgehensweise anschaulich erläutert werden. Angenommen die Grundgesamtheit besteht aus drei Projekten, für die die Eigenschaften Fläche, Kostenvolumen und Taktzeit erhoben werden. Mit einem Stichprobenumfang von drei ist dieser auf jeden Fall zu klein, um mit Hilfe des zentralen Grenzwertsatzes auf die Normalverteilung der Daten zu schließen. Ohne die Verteilung vorher zu kennen, kann der Bravais-Pearson-Korrelationskoeffizient nicht angewendet werden und es muss stattdessen zunächst die Verteilung der Daten bestimmt werden. In diesem Beispiel wird ohne vorherige Überprüfung der Verteilung auf den Spearman-Korrelationskoeffizienten ausgewichen.

Tabelle 31: Beispieltabelle für Spearman-Rangkorrelationskoeffizient mit intervallskalierten Merkmalsausprägungen

Projekt	Fläche [m²]	Kostenvolumen [Mio. €]	Taktzeit [Tage]
P1	3250	2,1	1
P2	4100	2,1	5
P3	10000	5,4	2,5

Die Projekte unterscheiden sich in allen Merkmalen jeweils von den zwei anderen. Lediglich das Kostenvolumen der Projekte P1 und P2 stimmt (zumindest in der Rundung auf 100.000 €) überein. Für die Anwendung des Spearman-Rangkorrelationskoeffizienten wird nun jedem Projekt der entsprechende Rang für ein bestimmtes Merkmal zugeordnet. Betrachtet man das Merkmal „Fläche“, so bekommt Projekt P1 den Rang 1, Projekt P2 den

Rang 2 und Projekt P3 den Rang 3. Beim Kostenvolumen ergibt sich der Fall, dass der Rang 1 zwei Mal vergeben werden müsste (für die Projekte P1 und P2). Dies ist allerdings für den Spearman-Korrelationskoeffizienten nicht vorgesehen. Stattdessen wird der Mittelwert über alle Ränge gebildet, die die Projekte hätten, wenn sie sich infinitesimal unterscheiden würden. Man nimmt also an, die Kosten für Projekt P1 lägen leicht unter 2,1 Mio. € und die von Projekt P2 leicht über 2,1 Mio. €. Unter diesen Annahmen werden den Projekten die Ränge 1 und 2 zugeordnet, woraus sich ein Mittelwert von 1,5 als durchschnittlicher Rang für die beiden Projekte ergibt. Tabelle 32 nimmt nach dem Ersetzen der Ausprägungen durch deren Ränge also folgende Form an.

Tabelle 32: Beispieltabelle für Spearman-Rangkorrelationskoeffizient mit ordinalskalierten Rängen

Projekt	Fläche	Kostenvolumen	Taktzeit
P1	1	1,5	1
P2	2	1,5	3
P3	3	3	2

Mit Hilfe von Tabelle 33 kann nun der Bravais-Pearson-Korrelationskoeffizient für die einzelnen Merkmale berechnet und in einer Korrelationsmatrix ausgegeben werden. Diese ist symmetrisch an ihrer Diagonalen und hat die folgende Form:

Tabelle 33: Korrelationsmatrix mit Spearman-Rangkorrelationskoeffizient

	Fläche	Kostenvolumen	Taktzeit
Fläche	1	0,87	0,5
Kostenvolumen	0,87	1	0
Taktzeit	0,5	0	1

In einem nächsten Schritt müssen nun noch die Korrelationskoeffizienten auf die Signifikanz ihrer Aussagekraft überprüft werden. Hierfür kann mit einem T-Test für jeden Korrelationskoeffizienten in der Matrix ein sog. p-Wert berechnet werden. Das p steht hierbei für *probability*, das englische Wort für Wahrscheinlichkeit. Der Wert enthält eine Aussage darüber, ob ein Zusammenhang zwischen zwei Projekteigenschaften überzufällig ist, und damit darüber, ob die Korrelation eine belastbare Aussage beinhaltet. Berechnet man die p-Werte für Tabelle 33, so stellt man fest, dass im durchgeführten Beispiel keine der Korrelationen eine signifikante Aussage (zum Signifikanzniveau von 5 %) enthält. Je größer der Stichprobenumfang ist, desto kleiner kann der Korrelationskoeffizient werden und dabei immer noch p-Werte unterhalb des Signifikanzniveaus 5 %, also signifikante Aussagen, beinhalten.

Bei der Interpretation der berechneten Korrelationsmatrix ist es außerdem wichtig zu beachten, dass der Korrelationskoeffizient jeweils nur eine Aussage über den linearen Zusammenhang der betrachteten Variablen zulässt. Es ist also möglich, dass der Korrelationskoeffizient zwischen zwei Variablen sehr gering oder sogar gleich null ist, obwohl eindeutig ein Zusammenhang erkennbar ist. Nimmt man beispielsweise den Graphen der Gleichung $x^2 + y^2 = 1$, so lässt sich auf den ersten Blick ein Zusammenhang zwischen den Variablen x und y erkennen und dieser durch die o. g. Formel sogar eindeutig ausdrücken. Berechnet man allerdings den Korrelationskoeffizienten für alle Punkte, welche die obige Gleichung erfüllen, so ergibt sich ein Ergebnis von $r = 0$. Der Korrelationskoeffizient bestätigt damit, was man bei der Betrachtung des Graphen obiger Gleichung vermuten kann: Der Zusammenhang ist nicht linear.

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 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
- Heft 76 **JANOSCH DLOUHY**
Wirksamkeit der Taktplanung aus Perspektive des
Bauherrn am Beispiel von Produktionsimmobilien
in der Automobilindustrie

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

**INSTITUT FÜR TECHNOLOGIE
UND MANAGEMENT IM BAUBETRIEB**

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Kfm. Shervin Haghsheno

Prof. Dr.-Ing. Sascha Gentes

Diese Arbeit analysiert den terminlichen Effekt, der durch den Einsatz der Taktplanung im Bauablauf aus Perspektive des Bauherrn auftritt. Durch den Einsatz der Taktplanung in zehn Projektstudien werden sowohl die zeitliche Wirksamkeit dieser sowie die Gründe für den zeitlichen Effekt ermittelt. Zusätzlich stützt sich die Analyse auf die Auswertung von linearen Korrelationen der Projektdaten und einer Umfrage. Es werden Mechanismen zur Manipulation der Projektdurchlaufzeit erarbeitet und weiterführende Wirkungen beschrieben. Für einen sinnvollen Umgang mit den zeitreduzierenden Effekten werden abschließend drei Parameter abgeleitet. Der Stabilitätsparameter, der Effizienzparameter und der Wertschöpfungsparameter ermöglichen eine Bewertung der Zeitreduzierung. Die Erkenntnisse der Arbeit werden in einer Handlungsempfehlung für Bauherren zum Einsatz der Taktplanung zusammengefasst.



ISSN 2363-8222 | ISBN 978-3-7315-1155-7

Gedruckt auf FSC-zertifiziertem Papier