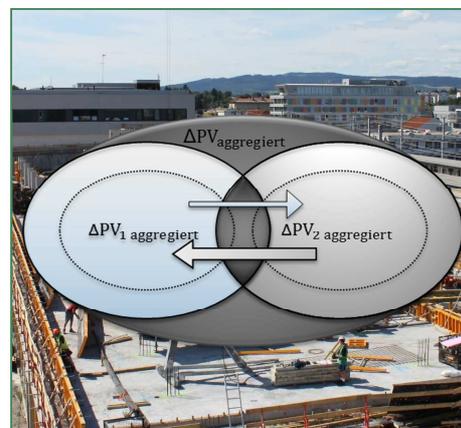
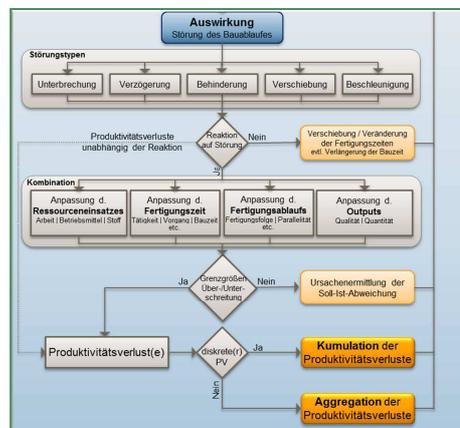


MASTERARBEIT



KUMULATION UND AGGREGATION EINER SOLL-IST-ABWEICHUNG ÜBER DIE WECHSELWIRKUNG DER PRODUKTIONSFAKTOREN UND DAS VERHALTEN VON PRODUKTIVITÄTSVERLUSTEN

Christian Dold

Vorgelegt am
 Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft

Betreuer
 Assoc. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Christian Hofstadler

Mitbetreuender Projektassistent
 Dipl.-Ing. Markus Kummer

Graz am 15. Mai 2015

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am
.....
(Unterschrift)

STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz,
date
(signature)

Anmerkung

In der vorliegenden Masterarbeit wird auf eine Aufzählung beider Geschlechter oder die Verbindung beider Geschlechter in einem Wort zugunsten einer leichteren Lesbarkeit des Textes verzichtet. Es soll an dieser Stelle jedoch ausdrücklich festgehalten werden, dass allgemeine Personenbezeichnungen für beide Geschlechter gleichermaßen zu verstehen sind.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen danken, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit unterstützt haben. All jene, die hier ungenannt bleiben, ersuche ich um Verständnis und möchte ihnen hiermit ausdrücklich meinen Dank aussprechen.

Für die Betreuung von universitärer Seite bedanke ich mich bei Herrn Assoc. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Christian Hofstadler und bei Herrn Dipl.-Ing. Markus Kummer für Ihre anregenden, motivierenden und auch kritischen Diskussionen. Erst durch ihre Unterstützung wurde es mir ermöglicht dieses selbstgewählte Thema zu verwirklichen.

Besonderer Dank gebührt meiner Familie, die mich die gesamte Ausbildungszeit hindurch unterstützte. An dieser Stelle möchte ich ganz besonders meiner Mutter danken. Nicht nur für das unermüdliche Korrekturlesen sondern auch dafür, dass sie stets für uns da ist, wenn wir sie brauchen. Danke.

Christoph danke ich für die motivierenden und interessanten Gespräche während dieser Arbeit.

Zu guter Letzt möchte ich mich noch bei meiner Freundin Sophie für ihre Unterstützung, ihre Geduld, ihr Verständnis und speziell für ihre aufmunternden Worte über die gesamte Zeit bedanken.

Kurzfassung

Bei der Erstellung eines Bauwerkes sind Soll-Ist-Abweichungen während des Bauablaufes keine Seltenheit. Diese Soll-Ist-Abweichungen stellen eine Einwirkung auf den Bauablauf dar, welche vermehrt in Produktivitätsverlusten resultieren. Die Sphärenzuweisung dieser Produktivitätsverluste stellt häufig einen Konfliktpunkt dar.

Diesbezüglich wird zu Beginn der Arbeit auf die allgemein gängige Definition der Produktivität (Output zu Input), die Produktionsfaktoren und die Bedeutung einer normalen Bauzeit eingegangen sowie der wesentliche Unterschied zwischen der instationären und der stationären Fertigung dargelegt. Dies stellt die Grundlagen dar, auf welchem das sphärenunabhängige Prinzip der Produktivität beruht und aufbaut.

Der Fokus dieser Arbeit liegt zum einen auf den Eigenschaften der Kumulation und der Aggregation von Produktivitätsverlusten, welche aus dem Verhalten der Produktivitätsverluste resultieren und zum anderen auf dem entwickelten vorgangsbezogenen Ablaufschema einer Einwirkung.

Dahingehend ist das Ziel dieser Arbeit, das kumulative sowie das aggregative Verhalten von Produktivitätsverlusten zu begründen sowie das vorgangsbezogene Ablaufschema einzuführen. Darüber hinaus wird eine Gleichung zur Beschreibung und Ermittlung der kumulierten Summe bzw. der aggregierten Gesamtheit infolge der gegenseitigen Beeinflussung von Produktivitätsverlusten erarbeitet.

Weiters wird eine Unterscheidung zwischen dem Verhalten der Einwirkung und dem Verhalten der Auswirkung bzw. der Produktivitätsverluste vorgenommen und auf die Notwendigkeit einer solchen Unterscheidung aufmerksam gemacht.

Abschließend werden die aufgrund der Folgewirkungen bzw. des Welleneffektes zum Teil weitreichenden Auswirkungen einer Einwirkung auf den Bauablauf dargelegt und eine Sensibilisierung in dieser Hinsicht bewirkt.

Abstract

Impacts during the erection of a building are common occurrences and therefore happen frequently during the construction process, within which disruptions quite often lead to productivity losses.

In the beginning of this thesis general definitions regarding productivity (output / input), factors of production and the meaning of a normal construction period are given. Furthermore the differences between a stationary and a non-stationary production are determined.

Impacts are a subject to productivity, regardless of who caused them (contractor or owner), which is explained in the first chapters.

This thesis focusses on the characteristics of cumulative and aggregative productivity losses. On one hand the manner of productivity losses are distinctly outlined, and on the other hand the results of an impact are shown on a flow diagram, which was developed within this thesis.

The main aim is to clearly define cumulative as well as aggregative manners of productivity losses and to introduce the developed flow diagram. Moreover an equation was evolved to describe and determine interactive influences of productivity losses, which lead to the cumulative sum respectively the aggregative entirety.

Furthermore the necessary distinction between the manners of an impact and productivity losses is drawn.

In addition the scope of the impact based on the ripple effect is stated to achieve a potential awareness on the effects of productivity losses.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Situationsanalyse	1
1.2	Zielsetzung	2
1.3	Methodik.....	2
1.4	Gliederung.....	3
2	Produktivität	6
2.1	Einführung zum Begriff der Produktivität.....	6
2.1.1	Ursprung und Bedeutung des Wortes Produktivität.....	6
2.1.2	Bedeutung und Verwendung des Terminus Produktivität	7
2.2	Produktivität in der Baubetriebs- & Bauwirtschaftslehre	12
2.2.1	Definition	12
2.2.2	Detaillierungsgrad und Dokumentationsaufwand	14
2.2.3	Charakter der Einzelstückfertigung	15
2.3	Produktionsfaktoren.....	16
2.3.1	Elementare und dispositive Produktionsfaktoren.....	16
2.3.2	Arbeit.....	19
2.3.3	Betriebsmittel.....	21
2.3.4	Stoff.....	22
2.3.5	Dispositive Faktoren	23
2.3.6	Zusammenfassung	24
2.4	Aufwandswert und Leistungswert.....	26
2.4.1	Leistungswert	27
2.4.2	Aufwandswert	28
2.5	Einfluss der Bauzeit	31
2.5.1	Einleitendes zur Bauzeit	32
2.5.2	Unterschiede in der Bauzeitermittlung	33
2.5.3	Einfluss der vorgegebenen Bauzeit auf die Auswahl der Verfahren ..	36
2.5.4	Einfluss der vorgegebenen Bauzeit auf die Produktivität.....	40
2.5.5	Gründe für eine verkürzte Bauzeit.....	48
2.5.6	Steigender Rationalisierungsgrad	48
2.5.7	Folgen einer verkürzten Bauzeit	49
2.6	Sinnähnliche Begriffe zu Produktivität.....	49
2.6.1	Effizienz.....	49
2.6.2	Effektivität.....	50
2.6.3	Wirtschaftlichkeit.....	51
2.6.4	Rentabilität	51
2.6.5	Gegenüberstellung, Produktivität, Wirtschaftlichkeit, Rentabilität	52
2.6.6	Arbeit, Leistung, Leistungsfähigkeit.....	52
3	Produktivitätsabweichungen im Bauwesen	54
3.1	Bedeutung der Produktivitätsabweichung	54
3.2	Abweichende Grundvoraussetzung des Bauwesens.....	60
3.2.1	Ursachen für eine Soll-Ist-Abweichung im Bauablauf.....	62
3.2.2	Das erhöhte Risiko infolge von Produktivitätsabweichungen.....	65
3.2.3	Vergleichbarkeit und Bezugsmaßstab.....	66
4	Kumulation und Aggregation von Produktivitätsverlusten	68
4.1	Bedeutung von Grenzgrößen.....	68
4.2	Grenzgrößen und Ursachen für Produktivitätsverluste	71

4.2.1	Witterung	73
4.2.2	Arbeitskraft pro Kran.....	74
4.2.3	Nicht optimale Arbeitsgruppengröße/Kolonnenbesetzung	76
4.2.4	Mindestarbeitsraum	78
4.2.5	Änderung der Abschnittsgröße	79
4.2.6	Einarbeitungseffekt.....	80
4.2.7	Wechsel/Umsetzen des Einsatzortes.....	83
4.2.8	Nicht kontinuierlicher Arbeitsablauf.....	84
4.2.9	Tägliche Arbeitszeit, Überstunden und Schichtarbeit	85
4.2.10	Fachfremder Personaleinsatz	87
4.2.11	Planinhalt, Planvorlauf und Planungsqualität	88
4.2.12	Nachtragsleistungen	89
4.3	Diskrete Produktivitätsverluste.....	91
4.3.1	Begriffsdefinition	91
4.3.2	Baubetriebliche Bedeutung.....	93
4.4	Die Störung des Bauablaufes	93
4.4.1	Die Begriffe Störung und Soll-Ist-Abweichung.....	95
4.4.2	Störungstypen	96
4.4.3	Ausmaß einer Störung.....	97
4.4.4	Störungsintensität und Störungsanfälligkeit	98
4.5	Reaktion auf die Störung des Bauablaufes	99
4.5.1	Anpassung des Ressourceneinsatzes (Input)	101
4.5.2	Anpassung der Fertigungszeit	107
4.5.3	Anpassung des Produktionsergebnisses (Output).....	108
4.5.4	Anpassung des Fertigungsablaufes	109
4.6	Ablaufschema einer Einwirkung auf den Bauablauf	110
4.7	Die Eigenschaft der Kumulation und Aggregation von Produktivitätsverlusten.....	117
4.7.1	Begriffsdefinition zu Kumulation und Aggregation	117
4.7.2	Verwendung der Begriffe	131
4.7.3	Das Prinzip der Kumulation von Produktivitätsverlusten.....	132
4.7.4	Das Prinzip der Aggregation von Produktivitätsverlusten	132
4.8	Anwendungsbeispiel.....	137
4.8.1	Arbeitskräfte pro Kran.....	137
4.8.2	Mindestarbeitsraum	138
4.8.3	Deterministische Ermittlung der aggregierten Produktivitätsverluste	139
4.9	Die indirekte Einwirkung	148
4.9.1	Einfluss der Störungsintensität und Störungsanfälligkeit	148
4.9.2	Der Welleneffekt – the rippel effect	149
4.9.3	Beziehungen und Abhängigkeiten der Tätigkeiten	150
5	Kumulation und Aggregation von Einwirkungen	153
5.1	„Cumulative Impacts“ – „Kumulierte Einwirkung“.....	153
5.2	Singuläre und multiple Einwirkungen	156
5.2.1	Kumulation von Einwirkungen.....	156
5.2.2	Aggregation von Einwirkungen	157
6	Zusammenfassung und Ausblick	159
7	Literaturverzeichnis	163

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Kombination der Methoden – hermeneutischer Zirkel und Systems Engineering.....	3
Abbildung 2-1: Vereinfachte Darstellung der Zusammensetzung und Beeinflussung der Produktivität in Anlehnung an <i>Hofstadler</i>	13
Abbildung 2-2: Produktionsfaktoren in Anlehnung an <i>Gutenberg</i>	17
Abbildung 2-3: Mehrdimensionaler Zusammenhang der Produktionsfaktoren.....	18
Abbildung 2-4: Faktorensystem – Gesamtproduktivität, dispositive und elementare Produktivität in Anlehnung an <i>Hofstadler</i>	25
Abbildung 2-5: Prinzip der Taktfertigung.....	38
Abbildung 2-6: Prinzip der Fließfertigung.....	39
Abbildung 2-7: Entwicklung der Kosten eines Bauprojektes abhängig von der Bauzeit	42
Abbildung 2-8: Zusammenhang Bauzeit und Kosten nach Drees/Spranz	43
Abbildung 2-9: Einfluss der Beschleunigungs- und der Verzögerungsmaßnahmen in Abhängigkeit der Bauzeit auf die Herstellkosten nach <i>Girmscheid</i>	44
Abbildung 2-10: Gegenüberstellung des Einflusses der Beschleunigungs- und Verzögerungsmaßnahmen nach <i>Girmscheid</i> bei Variation der Parameter	45
Abbildung 2-11: Produktivität und Herstellkosten in Abhängigkeit der Bauzeit.....	46
Abbildung 2-12: Unterteilung der Bauzeit abhängig vom Ressourceneinsatz.....	47
Abbildung 3-1: Qualitative Darstellung der Produktivitätsabweichung bezogen auf die Soll-, Ist-, und optimale Produktivität.....	57
Abbildung 4-1: Qualitativer Zusammenhang zwischen Produktivität und der Anzahl der Arbeitskräfte je Kran nach <i>Hofstadler</i>	75
Abbildung 4-2: Verhalten der Produktivität in Abhängigkeit der Arbeitsgruppengröße	77
Abbildung 4-3: Reduktion des Aufwandes in Zusammenhang mit der Anzahl der Wiederholungen	81
Abbildung 4-4: Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit der täglichen Arbeitszeit nach <i>Lehmann</i>	85
Abbildung 4-5: Singuläre und multiple Ein- und Auswirkungen.....	93
Abbildung 4-6: Ablaufschema einer Einwirkung nach dem Prinzip der Produktivität	111
Abbildung 4-7: Schematische Darstellung der einzelnen Produktivitätsverluste ΔPV_i und des gesamten Produktivitätsverlustes $\Delta PV_{\text{aggregiert}}$	124
Abbildung 4-8: Prinzip der Kumulation.....	132
Abbildung 4-9: Prinzip der Aggregation	133
Abbildung 4-10: Verlauf der Aufwandswerterhöhung – Verringerte Krankkapazität – Stahlbetonarbeiten	138
Abbildung 4-11: Verlauf der Aufwandswerterhöhungen – Unterschreitung der Mindestarbeitsfläche – Stahlbetonarbeiten – flächige Bauteile	139

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1: Überblick über das Ergebnis der Verwendung des Begriffes der Kumulation in der Literatur	126
Tabelle 4-2: Überblick über das Ergebnis der Verwendung des Begriffes der Aggregation in der Literatur.....	130
Tabelle 4-3: Erster und zweiter Berechnungsschritt zur Ermittlung der aggregierten Produktivitätsverluste unter Berücksichtigung von KK_{RED}	140
Tabelle 4-4: Dritter und vierter Berechnungsschritt zur Ermittlung der aggregierten Produktivitätsverluste unter Berücksichtigung der Unterschreitung der AF_{MIN}	143
Tabelle 4-5: Fünfter und sechster Berechnungsschritt zur Ermittlung der aggregierten Produktivitätsverluste unter Berücksichtigung der gegenseitigen Beeinflussung	144

Abkürzungsverzeichnis

AF_{MIN}	Mindestarbeitsfläche [m^2/AK]
AF_{RED}	Arbeitsflächenreduktion [%]
AF_{VOR}	Vorhandene Arbeitsfläche [m^2]
AG	Auftraggeber
AK	Arbeitskraft/Arbeitskräfte
AK_{MW}	Mittlere Arbeitskräfteanzahl [-]
AN	Auftragnehmer
$ANZ_{K,OPT}$	Optimale Anzahl an Kranen [Krane]
$ANZ_{K,VOR}$	Vorhandene Anzahl an Kranen [Krane]
AW	Aufwandswert(e) [Std/MEH]
AW_{STB}	Gesamt-Aufwandswert Stahlbetonarbeiten [Std/ m^3]
ΔAW	Aufwandswerterhöhung [%]
AWG	Auswirkung
AZ	Tägliche Arbeitszeit [h/d]
BT_M	Betoniermenge [m^3]
d	Arbeitstag(e) [d]
EWG	Einwirkung
Gl.	Gleichung
h	Zeitstunde(n) [h]
KK_{RED}	Kran-Kapazitätsreduktion [%]
MEH	Mengeneinheit
μ_{kl}	Beeinflussungsfaktor der Einwirkung(en) [-]
P	Produktivität [Output/Input]
ΔP	Produktivitätsabweichung(en) [%]
ΔPV	Produktivitätsverlust(e) [%]
φ_{ij}	Beeinflussungsfaktor der Produktivitätsverluste [-]
Std	Lohnstunde(n) [Std]
ZEH	Zeiteinheit

1 Einleitung

Im Folgenden wird ein Überblick über das in dieser Arbeit behandelte Thema gegeben. Dahingehend werden neben der Situationsanalyse und der Zielsetzung dieser Arbeit auch die angewendete Forschungsmethodik sowie die Gliederung der folgenden Kapitel beschrieben.

1.1 Situationsanalyse

Bei der Verwirklichung eines Projektes im Bauwesen gehören Soll-Ist-Abweichungen durchaus zum Alltag. Nichtsdestotrotz ist die Uneinigkeit über die Auswirkungen von Soll-Ist-Abweichungen ein häufiger Konfliktpunkt zwischen Auftraggebern und Auftragnehmern. Soll-Ist-Abweichungen stellen eine Einwirkung auf den Bauablauf dar, welche oft in Produktivitätsverlusten resultiert.

Die Produktivität ist ein Verhältniswert, der in der Volks- und Betriebswirtschaft sowie in der Baubetriebs- und Bauwirtschaftslehre als Teil der Betriebswirtschaftslehre das Verhältnis vom produzierten Ergebnis zum eingesetzten Mittel darstellt. Die Produktivität wird somit aus dem Quotienten von Output zu Input ermittelt und wird unter anderem zur Beschreibung, zum Vergleich, zur Einschätzung, Charakterisierung oder Bewertung von verschiedenen Abläufen, Tätigkeiten, Prozessen etc. verwendet.

Im Vorfeld der Leistungserbringung werden von Seiten des Auftraggebers das Produktionsergebnis sowie die Rahmenbedingungen (Mengen, Qualität, Bauzeit etc.) festgelegt. Der Auftragnehmer ermittelt im Zuge der Auftragskalkulation seinen erforderlichen Ressourceneinsatz.

Kommt es im Zuge der Ausführung zu Einwirkungen, welche eine Anpassung des Ressourceneinsatzes zur Folge haben, können aufgrund von Grenzgrößenüberschreitungen Produktivitätsverluste generiert werden.

Diese Produktivitätsverluste weisen im Wesentlichen zwei unterschiedliche Verhaltenstypen auf. Entweder sie verhalten sich diskret und beeinträchtigen keine anderen Produktivitätsverluste oder die Produktivitätsverluste beeinflussen sich gegenseitig und weisen dadurch ein nicht diskretes Verhalten auf.

Infolge des diskreten Verhaltens entsteht eine kumulierte Summe der Produktivitätsverluste. Hingegen bildet sich infolge einer gegenseitigen Beeinflussung der Produktivitätsverluste – dieser Effekt ist als Aufschaukelung zu betrachten – eine aggregierte Gesamtheit an Produktivitätsverlusten.

Das kumulative bzw. aggregative Verhalten von Produktivitätsverlusten sowie die genannten und andere Begrifflichkeiten werden in dieser Arbeit definiert und detailliert erläutert.

1.2 Zielsetzung

In dieser Arbeit werden die Produktionsfaktoren und in weiterer Folge die Produktivität – ohne jegliche Sphärenzuordnung – dargelegt. Das Grundprinzip der Produktionsfaktoren sowie der Produktivität stellen die Grundlage des sphärenunabhängigen Verhaltens von Produktivitätsverlusten dar.

Der Anspruch dieser Arbeit liegt darin, das kumulative sowie das aggregative Verhalten von Produktivitätsverlusten zu begründen. Dahingehend wird eine Gleichung zur Beschreibung der gegenseitigen Beeinflussung eingeführt. Weiters soll der zum Teil – abhängig von projektspezifischen Charakteristika – weit reichende Einflussbereich von Einwirkungen aufgezeigt werden und dahingehend eine Sensibilisierung bewirkt werden.

Des Weiteren wird der Unterschied zwischen dem Verhalten der Einwirkung und jenem der Auswirkung bzw. der Produktivitätsverluste verdeutlicht und diesbezüglich ein vorgangsbezogenes Ablaufschema vorgestellt.

1.3 Methodik

Bei der vorliegenden Arbeit wurde zur Erreichung des erforderlichen Wissensstandes die Verständniserweiterung durch den hermeneutischen Zirkel in Kombination mit Systems Engineering angewendet.

Dabei wurde von einem Vorwissen ausgegangen, wodurch über eine zirkelförmige Bewegung ein Erkenntniszuwachs erlangt wird. Dieser Erkenntniszuwachs führt über erneute Interpretation wiederum zu einem erweiterten Vorwissen.¹

Diese spiralförmige Bewegung wurde nach der Methode des Systems Engineering vom Groben ins Detail wiederholt. Dabei ist die Reihenfolge

- Situationsanalyse,
- Zielformulierung,
- Synthese und Analyse von Lösungen,
- Bewertung und Entscheidung

¹ Vgl. KOMETOVA, S.: Controlling langfristiger Projekte im kommunalen Immobilienmanagement. Dissertation. S. 4f

während jedem Schritt angewendet worden.² Die Kombination der beiden Methoden hermeneutischen Zirkel (oben) und System Engineering (vom Groben ins Detail – unten) ist in Abbildung 1-1 dargestellt.

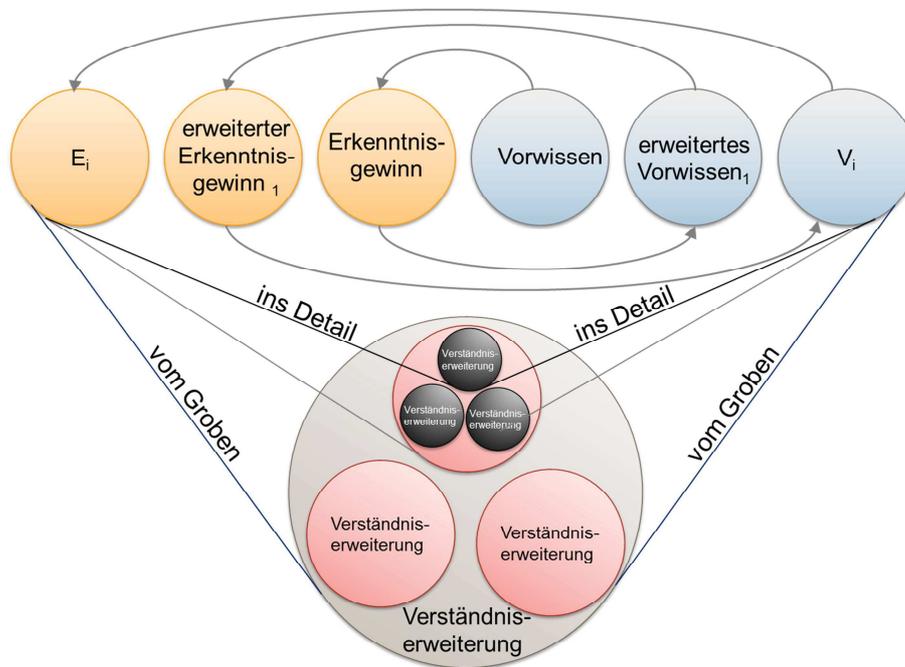


Abbildung 1-1: Kombination der Methoden – hermeneutischer Zirkel und Systems Engineering

1.4 Gliederung

Nachfolgend werden im zweiten Kapitel die Grundlagen der Produktivität erläutert. Diesbezüglich wird auf den Begriff und die allgemein gängige Definition der Produktivität (Output zu Input) sowie die Produktionsfaktoren eingegangen. Darüber hinaus werden der Einfluss der Bauzeit und speziell die Auswirkungen einer normalen gegenüber einer zu kurzen Bauzeit auf die Produktivität beschrieben. Um eine eindeutige Verwendung der Begrifflichkeiten zu gewährleisten, werden am Ende des zweiten Kapitels sinnähnliche Begriffe wie Effizienz, Effektivität, Wirtschaftlichkeit etc. erläutert und Abgrenzungen vorgenommen.

Das dritte Kapitel beschäftigt sich mit den wesentlichen Unterschieden zwischen der instationären Fertigung (Baustellenfertigung) und der stationären Fertigung (Automobil-, Textil-, Elektroindustrie etc.). Dahingehend wird allgemein auf die Bedeutung von Produktionsabweichungen sowie die in der Literatur vorherrschenden unterschiedlichen Begriffe zu

² HOFSTADLER, C.: Skriptum zur Vorlesung Baubetrieb Forschungsseminar. Skriptum. S. 64ff.

Produktivitätsabweichungen eingegangen und die abweichenden Grundvoraussetzungen der Bauindustrie erläutert.

Das zweite und dritte Kapitel stellen die Grundlagen dar, welche das sphärenunabhängige Prinzip der Produktivität erläutern. Aufbauend auf diese Grundlagen wird im vierten Kapitel die Kumulation und Aggregation von Produktivitätsverlusten begründet.

Dahingehend liegt der Fokus dieser Arbeit auf dem entwickelten vorgangsbezogenen Ablaufschema einer Soll-Ist-Abweichung sowie der aus dem Verhalten der Produktivitätsverluste resultierenden Eigenschaft der Kumulation und der Aggregation von Produktivitätsverlusten.

Diesbezüglich werden zu Beginn des vierten Kapitels Grenzgrößen (Mindestarbeitsraum, Arbeitskräfte pro Kran, Einarbeitungseffekt etc.) sowie die Ursachen einer Über- bzw. Unterschreitung dieser qualitativ erläutert. Anschließend wird der Begriff der diskreten Produktivitätsverluste beschrieben und definiert.

Bei der Erläuterung der Störung des Bauablaufes wird zu Beginn eine klare Abgrenzung zu der Definition der Störung vorgenommen (Störung entspricht in dieser Arbeit einer sphärenunabhängigen Soll-Ist-Abweichung). Weiters wird auf die Störungstypen und das Ausmaß einer Störung des Bauablaufes sowie die Störungsintensität und die Störunganfälligkeit von Projekten eingegangen.

Treten Soll-Ist-Abweichungen auf, können mit Hilfe des vorgangsbezogenen Ablaufschemas die Auswirkungen der einzelnen Einwirkungen (Soll-Ist-Abweichungen) ermittelt werden. Allerdings sind die Auswirkungen wesentlich von den getroffenen bzw. den zu treffenden Anpassungsmaßnahmen abhängig. Dahingehend werden die vier Anpassungsvarianten

- Anpassung des Ressourceneinsatzes,
- Anpassung der Fertigungszeit,
- Anpassung des Fertigungsablaufs und
- Anpassung des Outputs detailliert

beschrieben und deren Auswirkungen auf die Produktivität dargelegt. Je nach Anpassungsvariante haben diese Grenzgrößenüber- bzw. -unterschreitungen und daraus resultierende Produktivitätsverluste zur Folge.

Dabei ist die Reichweite der Soll-Ist-Abweichung wesentlich von der über- oder unterschrittenen Grenzgröße sowie vom Verhalten des resultierenden Produktivitätsverlustes abhängig. Diese verhalten sich entweder diskret und beeinflussen keine anderen Produktivitätsverluste oder die Produktivitätsverluste weisen ein nicht diskretes Verhalten auf, wodurch sich diese infolge der Beeinflussung gegenseitig aufschaukeln.

Dahingehend wird im entwickelten vorgangsbezogenen Ablaufschema zwischen der Kumulation bzw. der kumulierten Summe von Produktivitätsverlusten und der Aggregation bzw. der aggregierten Gesamtheit von Produktivitätsverlusten unterschieden.

Bevor das Prinzip der Kumulation und der Aggregation begründet wird, wird eine Begriffsdefinition, welche die Notwendigkeit einer solchen Unterscheidung verdeutlicht, durchgeführt.

Außerdem wird ein quantitatives Anwendungsbeispiel, welches sowohl die Auswirkungen der Bauzeit als auch das Verhalten der Kumulation und der Aggregation von Produktivitätsverlusten verdeutlicht, zur Ermittlung der aggregierten Gesamtheit zweier Produktivitätsverluste durchgeführt. Dahingehend wird über das schrittweise Vorgehen der Ermittlung sowohl das additive und das kumulative Verhalten bestimmt als auch die Gesamtheit der Aggregation in Form der Aufwandswerterhöhung und des Produktivitätsverlustes dargestellt.

Am Ende des vierten Kapitels wird auf die indirekten Einwirkungen eingegangen. Diese tragen – abhängig von der Störungsintensität und der Störungsanfälligkeit – ebenfalls wesentlich zur Reichweite einer Einwirkung bei. Die Auswirkungen der in erster Ebene stattfindenden Soll-Ist-Abweichung stellen die Einwirkung für die in weiterer Folge beeinträchtigten Tätigkeiten dar. Diese Folgewirkung von nicht direkt betroffenen Tätigkeiten und Vorgängen wird als indirekte Einwirkung bezeichnet.

Im fünften Kapitel wird trotz des Fokus auf die Produktivitätsverluste kurz auf die Kumulation und Aggregation von Einwirkungen eingegangen. Dieses Kapitel wird dazu genutzt, um nochmals die Unterscheidung zwischen der Kumulation und Aggregation von Einwirkungen und der Kumulation und Aggregation von Auswirkungen zu verdeutlichen, und stellt gleichzeitig einen Ausblick auf das weitreichende Thema der Kumulation und Aggregation von Einwirkungen dar.

2 Produktivität

Zu Beginn der Arbeit werden gewisse Grundkenntnisse der Produktivität beschrieben. Diesbezüglich wird die Bedeutung und Zusammensetzung der Produktivität im Allgemeinen sowie deren Ein- und Auswirkung in der Baubetriebs- und der Bauwirtschaftslehre im Speziellen erläutert.

Infolgedessen wird in der Einführung neben der Herkunft auch die Verwendung in den übergeordneten Bereichen der Wirtschaft dargelegt. Im weiteren Verlauf wird insbesondere auf die Produktivität im Baubetrieb und der Bauwirtschaft eingegangen. Diesbezüglich werden die Produktionsfaktoren sowie die Aufwands- und Leistungswerte einer spezielleren Betrachtung unterzogen.

Der Einfluss sowie die Auswirkungen der Bauzeit auf die Produktivität werden ebenfalls in diesem Kapitel aufgezeigt und anhand einfacher Beispiele demonstriert. Die Bauzeit erweist sich, in Kombination mit Produktionsfaktoren, als wesentlicher Faktor, weshalb diesbezüglich detailliertere Erläuterungen vorgenommen werden.

Zusätzlich werden einige Synonyme, welche oft in Verbindung mit Produktivität gebracht werden, beschrieben und erforderlichenfalls Abgrenzungen vorgenommen.

2.1 Einführung zum Begriff der Produktivität

Einleitend wird die Herkunft bzw. die Übersetzung aus dem Lateinischen in das Französische beschrieben und eine mögliche Verbindung zur industriellen Revolution hervorgehoben.

Im Anschluss wird die Verwendung des Begriffes sowohl im allgemeinen Sinn als auch in der Volks- und Betriebswirtschaftslehre erläutert. Darauf aufbauend wird speziell auf die Bauwirtschaftslehre, als Teil der Betriebswirtschaftslehre, eingegangen.

2.1.1 Ursprung und Bedeutung des Wortes Produktivität

Die Reihenfolge der geschichtlichen Übersetzung ist in *Duden*³ beschrieben. Im 16. Jahrhundert wurden die Wörter *Produkt* und *Produzent* vom Lateinischen in das Französische übersetzt. In diesem Kontext bedeutet *Produkt* ein *Erzeugnis* oder ein *Betrag* und *Produzent* bedeutet der *Hersteller*. Daraufhin folgte im 17. Jahrhundert die Übersetzung vom Lateinischen *pro-ducere* – *vorwärts führen, hervorbringen* – in *produzie-*

³ Vgl. DUDEN: Duden - Das Herkunftswörterbuch. S. 631.

ren. Die Übersetzung vom Lateinischen *productio* – das Hervorführen – in das französische *production* – Herstellen, Erzeugen – was wiederum *Produktion* bedeutet, erfolgte im 18. Jahrhundert. Mit Ende des 18. Jahrhunderts wurde *produktiv* – viel hervorbringen – aus dem Lateinischen *productivus* übersetzt.

Das Substantiv *Produktivität* stammt ebenfalls aus dem lat. *productivus* und bedeutet Ergiebigkeit und Leistungsfähigkeit.⁴

An dieser Stelle wird angemerkt, dass Mitte des 18. Jahrhunderts in Europa – und wenig später in Nordamerika – die industrielle Revolution begann. Erfindungen wie der „Schnellschützen“ 1733 und die „Mule-Spinnmaschine“ 1778 steigerten die Produktivität in der Textilindustrie erheblich. Aber auch Erfindungen wie das Koksverfahren 1735 und die Dampfmaschine von Watt 1769 revolutionierten die Stahlindustrie, den Bergbau und später auch die Bauindustrie.⁵

Der Ursprung des Adjektivs *produktiv* bzw. des Begriffs *Produktivität* ist in der Zeit nach Beginn der industriellen Revolution zu suchen. Inwiefern diese beiden Ereignisse zusammen hängen, soll allerdings in dieser Arbeit nicht weiter ausgeführt werden. Es wird lediglich als ein interessanter Aspekt erachtet. Für weitere Informationen bezüglich der industriellen Revolution und dem möglichen Zusammenhang mit dem Begriff der Produktivität wird und auf *Rübberdt*⁶ verwiesen.

2.1.2 Bedeutung und Verwendung des Terminus Produktivität

Produktivität ist ein weit verbreiteter Begriff. Er findet in vielen Bereichen der Wirtschaft Anwendung und wird oft in Verbindung mit Leistung und Effizienz gebracht.

In dieser Arbeit werden vorwiegend baubetriebliche und bauwirtschaftliche Aspekte betrachtet, weshalb sich die folgende Erläuterung zur Verwendung des Begriffes auf die Volks- und Betriebswirtschaft – mit der Bauwirtschaft als Teil der Betriebswirtschaft – konzentriert.

Unter Produktivität wird, sowohl in der Volkswirtschaftslehre als auch in der Betriebswirtschaftslehre, der Quotient aus Produktionsergebnis (Ausbringungsmenge, Output) und Faktoren- oder Mitteleinsatz (Produktionsfaktoren, Input) verstanden. Infolgedessen lässt sich die Produktivität wie folgt bestimmen:

$$\text{Produktivität} = \frac{\text{Produktionsergebnis}}{\text{eingesetzte Produktionsfaktoren}} \text{ oder } \frac{\text{Output}}{\text{Input}} \quad (\text{Gl. 2-1})$$

⁴ Vgl. KYTZLER, B.; REDEMUND, L.: Unser tägliches Latein - Lexikon des lateinischen Spracherbes. S. 2839.

⁵ Vgl. RÜBBERDT, R.: Geschichte der Industrialisierung. S. 347.

⁶ Vgl. RÜBBERDT, R.: Geschichte der Industrialisierung.

Je nach verwendeten In- und Outputfaktoren lässt sich diese Definition in verschiedenen Fachbereichen, Fachgebieten, Branchen etc. der Volks- und Betriebswirtschaftslehre anwenden.

Die Anwendung der oben beschriebenen Definition bezieht sich auf den deutschsprachigen Raum. Der Begriff der Produktivität ist in anderen Regionen bzw. Sprachen zum Teil anderes definiert und kann somit auch einen abweichenden Aussagegehalt aufweisen. Diese können, müssen sich aber nicht mit der des deutschsprachigen Raumes decken.

Demonstrativ ist als Beispiel die Verwendung im angloamerikanischen Raum zu erwähnen.⁷ Die im angloamerikanischen Raum verwendete Definition von Produktivität ist nicht eindeutig. Diesbezüglich wird darauf aufmerksam gemacht, dass bei der Verwendung von angloamerikanischer Literatur stets die zu Grunde liegende Definition von Produktivität (Output/Input oder Input/Output)⁸ überprüft wird.

Bei der Interpretation und Analyse von Literaturdaten, ist besonders auf die zugrunde gelegte Definition zu achten. Im weiteren Verlauf ist – sofern nichts anderes angegeben – von der deutschsprachigen Definition auszugehen.

2.1.2.1 Produktivität in der Volkswirtschaftslehre

Eine Volkswirtschaft betrachtet die makroökonomischen Zusammenhänge und Beziehungen der Einzelwirtschaften (Sektoren) wie beispielsweise eines Staates oder eines Wirtschaftsraumes. Die Volkswirtschaft ist dadurch gekennzeichnet, dass sie durch Staatsgrenzen von anderen Gebieten eindeutig getrennt ist und meist eine einheitliche Währung hat.⁹

In der Volkswirtschaft ist Produktivität eine Einheit für die technische Effizienz des volkswirtschaftlichen Produktionsprozesses und dessen Gefüge. Die Produktivität wird dabei in zwei Kategorien eingeteilt. Erste ist die totale und Zweitere die partielle Produktivität. Ein Beispiel für die totale Produktivität wäre das Bruttoinlandsprodukt und für die partielle Produktivität die Arbeits- und Kapitalproduktivität. Die partielle Produktivität, bestehend aus Arbeits-, Kapital- und Materialproduktivität, ist das Verhältnis von Produktionsergebnis (Output) zu eingesetzten Mitteln

⁷ *Output/Input*: LEE, S.: Understanding and Quantifying the Impact of Changes on Construction Labor Productivity: Integration of Productivity Factors and Quantification Methods. S. 4f.; IBBS, W.; VAUGHAN, C.: Change and the Loss of Productivity in Construction: A Field Guide. http://www.ce.berkeley.edu/~ibbs/BRICS/Materials/lbbs_Vaughan_Changes%20Field%20Guide%20Version%201.27.12%20Updated%201.24.12.pdf. Datum des Zugriffs: 27.04.201510.

Input/Output: AACE INTERNATIONAL: Cost Engineering Terminology: AACE International Recommended Practice No. 10S-90. S. 57. Zitiert in GREUNE, S.: Darlegung und Bewertung von multiplen Bauablaufstörungen. In: Schriftenreihe - Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft Technische Universität Braunschweig, Heft 55/2014. S. 31.

⁸ Output/Input ist identisch mit der deutschsprachigen Definition von Produktivität.

⁹ Vgl. GABLER: Kompakt-Lexikon Wirtschaft. S. 470.

(Input). In der Arbeitsproduktivität wird die Arbeitsleistung als eingesetztes Mittel betrachtet und in der Kapitalproduktivität der Kapitaleinsatz. Diesbezüglich ist darauf zu achten, dass bei einer Aufsummierung die Faktoren nicht dieselbe Einheit haben müssen, weshalb diese nicht ohne weiteres summiert und ins Verhältnis gebracht werden können. Um die unterschiedlichen Einheiten zu bereinigen, werden sie mit ihren Faktorpreisen bewertet. Anschließend kann die Summe aus dem Produkt der einzelnen Faktorpreise mit ihrer Einsatzmenge gebildet und mit dem nominalen oder realen Bruttoinlandsprodukt ins Verhältnis gesetzt werden.¹⁰

2.1.2.2 Produktivität in der Betriebswirtschaftslehre

Die Betriebswirtschaft bzw. die Betriebswirtschaftslehre betrachtet die Zusammenhänge, Abläufe und Prozesse von Unternehmen und Betrieben und deren Funktionsbereichen. Die Betriebswirtschaftslehre kann wiederum unterteilt werden in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre (ABWL) und die Spezielle Betriebswirtschaftslehre (SBWL).

Die ABWL handelt branchenübergreifend (Produktion, Person, Marketing, Investition ...). Sie betrachtet – unabhängig von Rechtsform und Wirtschaftszweig – die Unternehmen mit dem obersten Ziel des wirtschaftlichen Erfolges.

Die SBWL charakterisiert die Unternehmen in den einzelnen Wirtschaftszweigen. Zu diesen Wirtschaftszweigen zählen unter anderem die Bankenwirtschaftslehre, Industrie- und Versicherungswirtschaftslehre sowie die Bauwirtschaftslehre.¹¹

Gutenberg beschrieb die Produktivität für die Betriebswirtschaftslehre als „*Ergiebigkeit der betrieblichen Faktorkombination*“¹².

Demzufolge definiert *Gutenberg* die Produktivität, auf eine Zeiteinheit bezogen, wie folgt:¹³

$$\text{Produktivität} = \frac{\text{Ergebnis (Ertrag) der Faktoreinsatzmengen}}{\text{Faktoreinsatzmengen}} \quad (\text{Gl. 2-2})$$

Des Weiteren ist die Leistung eine in einer bestimmten Zeiteinheit erbrachte Arbeit. Der Wirkungsgrad der erbrachten Arbeit stellt den Quoti-

¹⁰ Vgl. GABLER: Volkswirtschafts-Lexikon. S. 650.

¹¹ Vgl. GABLER: Kompakt-Lexikon Wirtschaft. S. 60.

¹² GUTENBERG, E.: Einführung in die Betriebswirtschaftslehre. S. 28.

¹³ GUTENBERG, E.: Einführung in die Betriebswirtschaftslehre. S. 29.

enten aus der erzeugten und eingesetzten Leistung dar. Aus diesem Gedankengang heraus kann der technische Wirkungsgrad mit dem Begriff der Produktivität gleichgesetzt werden.¹⁴

2.1.2.3 Produktivität in der Bauwirtschaftslehre

Die Bauwirtschaftslehre ist Teil der Speziellen Betriebswirtschaftslehre und dadurch auch mit der Allgemeinen Betriebswirtschaft verknüpft. Somit besteht die Bauwirtschaft nicht nur aus dem besonderen Charakter der Einzelstückfertigung, welcher sich immer ändernde Rahmenbedingungen einer Baustelle und die dazugehörigen hohen technischen Anforderungen mit sich bringt, sondern auch aus den wirtschaftlichen und rechtlichen Rahmenbedingungen der Betriebswirtschaftslehre.

Ein Betrieb sollte nach dem ökonomischen Prinzip bzw. dem Wirtschaftlichkeitsprinzip handeln und dadurch die vorhandenen Ressourcen und die verwendeten Materialien so nutzen, dass eine optimale Effizienz erreicht wird. Dahingehend wird zwischen dem Minimal- bzw. Maximalprinzip unterschieden. Hierzu wird ein gewisser Ertrag mit geringstmöglichem Mitteleinsatz (Minimalprinzip) oder mit einem gewissen Mitteleinsatz ein größtmöglicher Ertrag (Maximalprinzip) erzielt.¹⁵ Mit der Steigerung der Wirtschaftlichkeit (wertmäßiger Output zu wertmäßigem Input) und Produktivität (realer Output zu realem Input) wird die Effizienz und in weiterer Folge die Effektivität eines Betriebes erhöht und gleichzeitig werden Ressourcen geschont.

Die Effizienz, die Effektivität, die Wirtschaftlichkeit und die Produktivität spielen für das richtige Wirtschaften eines Betriebes eine wichtige Rolle. Bei der Verwendung dieser Begriffe ist darauf zu achten, dass der Aussagegehalt ein jeweils anderer ist. Dahingehend wird auf Abschnitt 2.6 verwiesen, in welchem die Bedeutung der einzelnen Begriffe sowie die Abgrenzung dieser voneinander näher erläutert werden.

Die Bedeutung der Produktivität in der Bauwirtschaftslehre und die Frage, wie die richtige Beeinflussung der Produktionsfaktoren für den wirtschaftlichen Erfolg eines Betriebes oder einer Baustelle genutzt werden können, wird in den nächsten Abschnitten kurz und im weiteren Verlauf der Arbeit genauer erläutert.

In der Baubetriebs- und Bauwirtschaftslehre ist die Produktivität eine Kennzahl, die, wie schon für die Volks- und Betriebswirtschaft beschrieben, das Verhältnis vom produzierten Ergebnis zum eingesetzten Mittel darstellt. Sie wird unter anderem zur Beschreibung, zum Vergleich, zur

¹⁴ Vgl. GUTENBERG, E.: Einführung in die Betriebswirtschaftslehre. S. 28f.

¹⁵ Vgl. GABLER: Kompakt-Lexikon Wirtschaft. S. 327

Einschätzung, Charakterisierung oder Bewertung von verschiedenen Abläufen, Tätigkeiten, Prozessen etc. verwendet. Genauer gesagt, drückt die Produktivität die Ergiebigkeit von Arbeiten, Abläufen und/oder Prozessen aus¹⁶.

Wie in der Volkswirtschaftslehre ist die Produktivität auch in der Baubetriebs- und Bauwirtschaftslehre der Quotient aus Output zu Input. Die beiden Gleichungen unterscheiden sich dahingehend, dass in der Bauwirtschaftslehre zur Ermittlung der Produktivität reale, respektive messbare, und keine wertmäßigen Parameter verwendet werden.

Wie aufwendig dieser Quotient zu ermitteln ist, hängt stark vom Detaillierungsgrad und Aussagegehalt der Parameter ab. Dabei kann der Detaillierungsgrad oder Betrachtungsmaßstab von einem einzelnen Arbeitsschritt bis zum gesamten Erstellungsprozess gehen. Auf eine Baustelle bezogen bedeutet dies, dass der Betrachtungsmaßstab beispielsweise ein einzelner Arbeitsschritt, ein einzelner Bauabschnitt, ein Bauteil oder ein gesamtes Bauwerk sein kann. Der Unterteilung, Zusammenfassung und Gliederung der Arbeitsschritte sind theoretisch keine Grenzen gesetzt. Bei der Ermittlung der Produktivität stellt sich bezüglich der Unterteilung des Betrachtungsmaßstabes bzw. des Detaillierungsgrades nur die Frage, wie aussagekräftig der ermittelte Wert schlussendlich zu sein hat und welcher Aufwand der Ermittlung gegenübersteht.

Um die Addierbarkeit der einzelnen Betrachtungsmaßstäbe zu gewährleisten, ist darauf zu achten, dass Materialien und Mittel, Abläufe und Prozesse, oder anders ausgedrückt all jene Parameter, welche zusammengefasst werden, schlussendlich dieselbe Einheit aufweisen. Dahingehend werden beispielsweise Umrechnungsfaktoren wie Schalungs- und Bewehrungsgrade im Bereich der Stahlbetonarbeiten verwendet.

Bei der Ermittlung der Produktionsfaktoren, wie zum Beispiel Anzahl bzw. Mengen der eingesetzten Betriebsmittel, aufgewendete Stunden oder verbrauchte Materialien, werden auch andere Parameter und Kennzahlen wie die Aufwands- und Leistungswerte benötigt. Die Bedeutung der Produktionsfaktoren und der Aufwands- und Leistungswerte sowie die Unterschiede und wozu sie benötigt werden, wird im weiteren Verlauf beschrieben.

Die Produktivität wird im Bauwesen oft dazu verwendet, um Soll-Ist-Abweichungen darzustellen. Dabei werden die ermittelten Werte gegenübergestellt und miteinander verglichen. Um eine solche Abweichung darstellen zu können, sind zwei Dinge notwendig. Als erstes die Basis – das vertraglich vereinbarte Soll – und als zweites das Realisierte – das

¹⁶ HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 15.

tatsächlich ausgeführte Ist. Der ermittelte Wert entspricht dabei einer Zusammenfassung einer Vielzahl von Einflüssen.

Produktivitätsverluste können als Abweichung zum Geplanten interpretiert werden. Um eine eventuelle Abweichung auf Grund von Produktivitätsverlusten interpretieren zu können, ist es wichtig, die Einflüsse sowie deren Auswirkung, die Unterteilung und weitere Faktoren zu kennen.

2.2 Produktivität in der Baubetriebs- & Bauwirtschaftslehre

Nach der allgemeinen volks- und betriebswirtschaftlichen Bedeutung der Produktivität wird im Folgenden auf die Bedeutung der Produktivität in der Baubetriebs- und Bauwirtschaftslehre eingegangen.

2.2.1 Definition

Die Produktivität wird im Bauwesen unter anderem dazu verwendet, um eine Aussage über das Wirtschaften auf einer Baustelle zu haben. Dabei stellt die Produktivität die Ergiebigkeit des Produktionsprozesses¹⁷ dar. Dieser Produktionsprozess kann im Bauwesen in unterschiedlichen Detaillierungsgraden dargestellt werden.

Die Charakteristika der Produktionsfaktoren sowie der Ausbringungsmenge werden in Anlehnung an *Cantner et al*, definiert. Die Autoren unterscheiden zwischen realen und wertmäßigen Faktoren. Dabei entsprechen die realen den messbaren Faktoren. Die wertmäßigen Faktoren beschreiben beispielsweise Kosten und Erträge.

Dahingehend ist für die Produktivität abzuleiten, dass sich diese – gegenüber der Wirtschaftlichkeit – aus dem Verhältnis von realem Output zu realem Input berechnet.¹⁸

$$\text{Produktivität} = \frac{\text{Menge der Ausbringung}}{\text{Menge des Einsatzes}} = \frac{\text{realer Output}}{\text{realer Input}} \quad (\text{Gl. 2-3})$$

Dies bedeutet, dass die Parameter zur Berechnung der Produktivität – Output und Input – im Allgemeinen Mengengrößen, respektive messbare Größen, sind. Was unter wertmäßigen Faktoren zu verstehen ist, wird im Zuge der Wirtschaftlichkeit in Abschnitt 2.6.3 detaillierter erläutert.

¹⁷ Vgl. HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 9.

¹⁸ Vgl. CANTNER, U.; KRÜGER, J.; HANUSCH, H.: Produktivitäts- und Effizienzanalysen. S. 2f.

Die Einsatzmenge – auch Produktionsfaktor oder zur Erstellung benötigte Mittel genannt – lässt sich in die Rubriken Arbeit, Betriebsmittel und Material¹⁹ einteilen. Die Mengengrößen dieser Produktionsfaktoren sind beispielsweise Arbeitsstunden [Std], Betriebsmittel- oder Materialeinheiten, wie [m²], [m³], [t], [l] etc. Für das Produktionsergebnis oder die Ausbringungsmenge können etwa auch Volumen, Fläche, Gewicht sowie Anzahl, Stück etc. als Größen herangezogen werden.

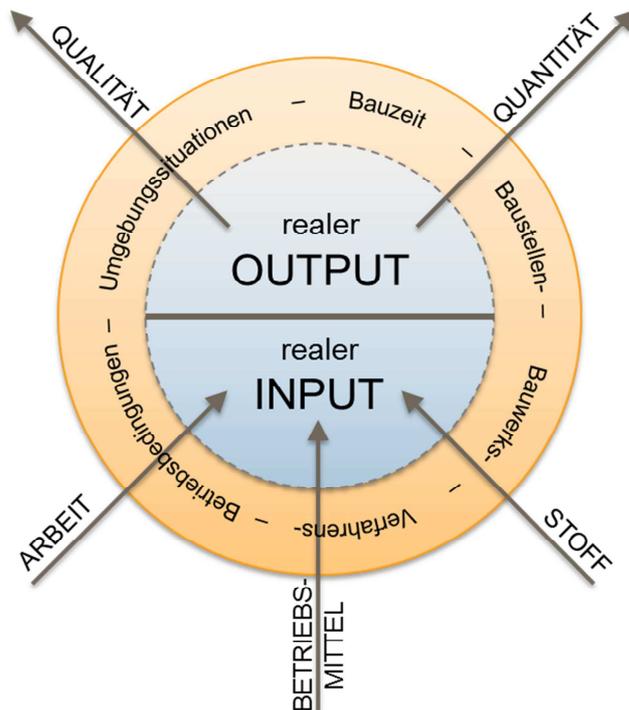


Abbildung 2-1: Vereinfachte Darstellung der Zusammensetzung und Beeinflussung der Produktivität in Anlehnung an Hofstadler²⁰

Abbildung 2-1 ist eine schematische Darstellung der Produktivität als Quotient aus Produktionsergebnissen und den elementaren Produktionsfaktoren. Außerdem ist in der Abbildung ersichtlich, dass die Produktivität durch die vorherrschenden Situationen, Bedingungen, Verhältnisse und Umstände wie beispielsweise den Bauvertrag, die Witterung, allgemeinen und speziellen Baustellenbedingungen, Bauzeit, und viele andere Rahmenbedingungen beeinflusst wird.

Die Schwierigkeit bei der Ermittlung der Produktivität liegt dabei nicht in der Berechnung des Quotienten von Output zu Input, sondern bei der Erhebung der Produktionsfaktoren bzw. der Qualität als Produktionser-

¹⁹Vgl. LANDAU, K.: Produktivität im Betrieb - eine Einführung. In: Produktivität im Betrieb, Tagungsband der GfA Herbstkonferenz/2009. S. 7.

²⁰Vgl. HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 18.

gebnis. Außerdem sind die Nachvollziehbarkeit und der Aussagegehalt der Produktivität stark von der Genauigkeit der erfassten Parameter abhängig.

2.2.2 Detaillierungsgrad und Dokumentationsaufwand

Die Ermittlung der Produktivität ist stark vom Detaillierungsgrad bzw. vom Betrachtungsmaßstab und dem erwünschten Aussagegehalt abhängig. Dabei kann die Ermittlung auf mehrere Arten erfolgen. Wenn beispielsweise die Produktivität der Stahlbetonarbeiten eines gesamten Gebäudes in $[m^3/Std]$ ermittelt wird, kann dies grob über die Kubatur der Stahlbetonbauteile und der Summe der Lohnstunden der Stahlbetonarbeiten erfolgen. Eine detailliertere Variante ergibt sich beispielsweise über die Aufwandswerte. Dabei werden die einzelnen Arbeitsschritte (Schalen, Bewehren und Betonieren) getrennt betrachtet, über Schalungs- und Bewehrungsgrade auf dieselbe Einheit umgerechnet und schlussendlich summiert.

Bei Betrachtung der einzelnen Arbeitsschritte wird ebenfalls der Quotient aus eingebautem Material zu Summe der aufgewendeten Lohnstunden gebildet. Der Unterschied besteht in der detaillierteren Erfassung und Zusammensetzung des Ergebnisses. Somit kann beispielsweise bei einer Verzögerung der Stahlbetonarbeiten besser nachvollzogen werden woher diese kommen und welchem Vorgang die Verzögerung zugeschrieben werden kann.

Vorgänge wie beispielsweise das Schalen können dabei wieder in ihre einzelnen Vorgänge unterteilt werden. Einschalen, Ausschalen, Randabschalung, Abdichten der Kanten und Stöße und dergleichen sind solche weiteren Unterteilungen. Diese können wieder unabhängig voneinander betrachtet und die jeweilige Produktivität bzw. der/die jeweiligen Aufwandswert(e) dazu ermittelt werden.

Generell ist bei der Addition der einzelnen Teilproduktivitäten auf die Einheitentreue zu achten. Diese muss gegebenenfalls mit dazugehörigen Faktoren wie beispielsweise dem Schalungsgrad $[m^2/m^3]$ oder Bewehrungsgrad $[kg/m^3]$ umgerechnet werden.

Das genannte Beispiel der Stahlbetonarbeiten soll verdeutlichen, dass von der Gesamtproduktivität eines Gebäudes bis hin zur Produktivität des Vorganges der Abdichtung von Fugen, der Detaillierungsgrad einen wesentlichen Einfluss auf den Aussagegehalt und die Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse hat.

Der Dokumentationsaufwand steigt mit dem Detaillierungsgrad erheblich an. Oft sind einzelne Arbeiten bzw. Vorgänge nur schwer voneinander abzugrenzen. Die Arbeitskräfte verrichten mehrere Abläufe parallel oder zumeist mehrere unterschiedliche Abläufe an einem Tag, weshalb es schwer ist, die Lohnstunden im Nachhinein genau den einzelnen Tätig-

keiten zuzuordnen. In anderen Worten ist es am Ende eines Tages, einer Woche oder eines Monats – je nach betriebenem Dokumentationsaufwand – nur noch bedingt nachvollziehbar, wieviel Lohnstunden eine Kolonne oder Partie für einzelne Tätigkeiten benötigt hat. Je optimierter der Bauablauf ist und je mehr Arbeiten parallel ablaufen, desto wahrscheinlicher ist es, dass gewisse kurzfristige Disponierungen von einer zur anderen Tätigkeit nicht dokumentiert werden. Treten beispielsweise aufgrund der Kranabhängigkeit einer Schalungspartie Stillstehzeiten auf – da der Kran bei den Betonierarbeiten gebunden ist –, wird die Schalungspartie kurzfristig und eventuell auch ohne Anweisung umdisponiert und hilft anderen Parteien in ihrer Umgebung aus. Somit wird die Produktivität der betroffenen Arbeiten beeinflusst, jedoch sehr wahrscheinlich nicht dokumentiert, da solche kurzfristigen und selbstständigen Umdisponierungen häufig auftreten und durchaus erwünscht sind, jedoch der Dokumentationsaufwand erheblich ist.

Im Gegensatz zu den verbrauchten Lohnstunden können die eingebauten Massen über geometrische Bedingungen, Pläne, Lieferscheine oder andere Dokumente rückgerechnet werden. Diesbezüglich ist die Erhebung der Massen verglichen mit der der Lohnstunden nicht mit einem derartigen Aufwand verbunden. Auch die Zurechenbarkeit aufgrund der Materialien ist eindeutiger.

Aus den erläuterten Gründen ist die Nachvollziehbarkeit, ein detaillierter Aufwandswert bzw. im weiteren Verlauf eine detaillierte Aussage über die Produktivität mit einem hohen Dokumentationsaufwand verbunden.²¹

2.2.3 Charakter der Einzelstückfertigung

Ein weiteres Ziel der Baubetriebs- und Bauwirtschaftslehre ist es, einen reibungslosen Ablauf des Produktionsprozesses eines Bauwerks zu erreichen. Um dieses Ziel zu erreichen, werden Abläufe und Prozesse immer weiter optimiert. Die Schwierigkeit bei der Optimierung des Produktionsprozesses liegt im Charakter einer Baustelle. Es handelt sich bei der Erstellung eines Bauwerks aufgrund der immer wechselnden Randbedingungen nicht um eine Serienfertigung, sondern um eine Einzelfertigung. Jedes Bauwerk ist ein Einzelstück, ein Unikat.

Der Produktionsprozess im Bauwesen ist zumindest der Witterung ausgesetzt. Infolgedessen würden sich rein aufgrund der Witterung andere Produktionsbedingungen für dasselbe Projekt an einem anderen Ort oder zu einer anderen Zeit ergeben. Die Witterung ist nur einer der Gründe, weshalb Abläufe nicht bis ins letzte Detail geplant werden können.

²¹ Siehe dazu: HAUER, C.: Nachweisführung bei gestörten Bauabläufen – Anforderungen, Anwendung und Problemfelder der Einzelstörungsbetrachtung. Diplomarbeit in Bearbeitung. Technische Universität Graz, Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft.

nen und eine gewisse Flexibilität nötig ist. Um dem Charakter der Serienfertigung näher zu kommen, wird versucht, viele Abläufe und Prozesse zu standardisieren und gleichzeitig eine hohe Einsatzzahl dieser standardisierten Abläufe und Prozesse zu erreichen.

Dahingehend kommen der Ablaufplanung, der Bauausführung sowie der Arbeitsvorbereitung, der Nachkalkulation und der Archivierung und Weitergabe der ermittelten Daten einer Baustelle eine wichtige Bedeutung zu. Um eine detaillierte nachträgliche Bewertung zu ermöglichen, ist eine genaue und lückenlose Baustellendokumentation erforderlich. Wie schon erwähnt, ist diese Aufgabe allerdings schwierig und mit einem entsprechenden Aufwand verbunden.

2.3 Produktionsfaktoren

Die für die Ermittlung der Produktivität benötigte Einsatzmenge bzw. der Ressourceneinsatz wird über die Kombination der Produktionsfaktoren bestimmt. Dementsprechend bestimmt das Zusammenspiel der Produktionsfaktoren die Ergiebigkeit und dadurch die Produktivität. Was Produktionsfaktoren sind und wie diese die Produktivität beeinflussen, wird im folgenden Abschnitt genauer beschrieben.

2.3.1 Elementare und dispositive Produktionsfaktoren

Gutenberg beschreibt in seinem ersten Band über die Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, dass Sachgüter und Dienstleistungen nur unter Bereitstellung von Produktionsfaktoren erzeugt werden können. Für Dienstleistungen müssen dafür beispielsweise die beiden Faktoren Arbeitsleistung und Betriebsmittel aufgebracht werden. Bei Sachleistungen für Fertigungsbetriebe ist hier noch der Faktor Werkstoff hinzuzufügen. Ohne diese drei Produktionsfaktoren ist es nicht möglich, eine geforderte Leistung bzw. ein Sachgut zu erstellen. Wenn die Faktoren menschliche Arbeitsleistung, Betriebsmittel und Werkstoff kombiniert werden, wird das auch Produktion bzw. das Ergebnis auch Produkt genannt. Da diese Faktoren die Elemente der betrieblichen Leistungserbringung bzw. der Produktion darstellen, werden diese als Elementarfaktoren bezeichnet. Der Faktor der menschlichen Arbeitsleistung wird in zwei grundlegend verschiedene Gruppen unterteilt. In die Gruppe der objektbezogenen Arbeitsleistungen, die der Leistungserstellung, -verwertung und -finanzierung direkt zugeordnet werden kann, und in die Gruppe der dispositiven Arbeitsleistungen, welche leitender und steuernder Natur sind. *Gutenberg* unterscheidet hier klar zwischen den Produktionsfaktoren wie sie in der Volkswirtschaftslehre verwendet werden und den Produktionsfaktoren in der Betriebswirtschaftslehre. Das System der produktiven Faktoren dient in der Betriebswirtschaftslehre zur Begriffsdefinition und zur Untersuchung von betrieblichen Abläufen und Prozessen und wäre

für die Darstellung von Einkommensbildung und Einkommensverteilung ungünstig.²²

Unter Berücksichtigung der zuvor erläuterten Bedingungen und Umstände ist in Abbildung 2-2 eine Variante zur Darstellung der Produktionsfaktoren nach Gutenberg für die Bauwirtschaft erarbeitet worden. Dahingehend wurde die Erstellung eines Bauwerks als Produktion bzw. das Bauwerk als Sachgut erachtet.

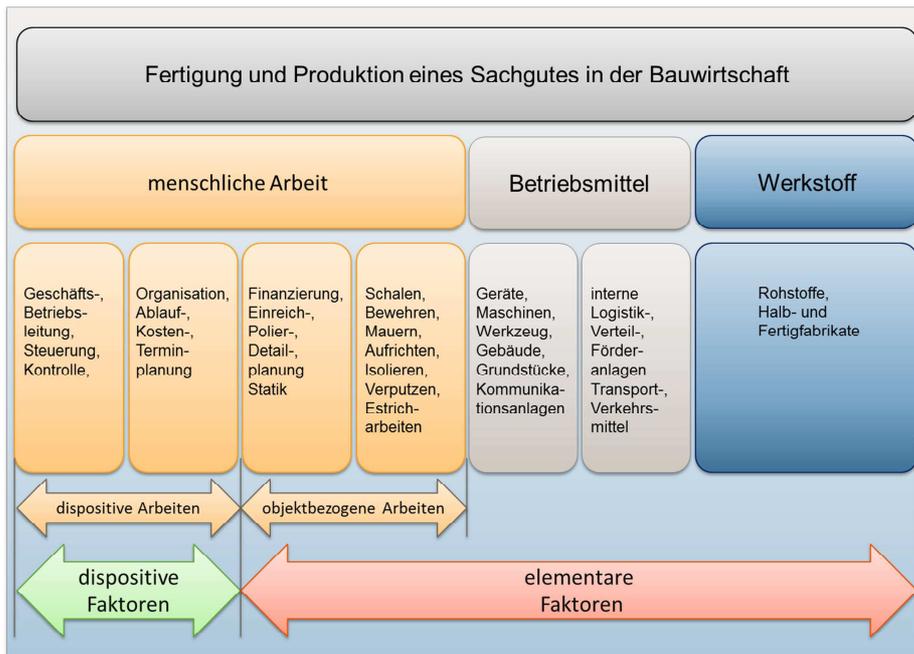


Abbildung 2-2: Produktionsfaktoren in Anlehnung an Gutenberg²³

In Abbildung 2-2 sind die drei Produktionsfaktoren menschliche Arbeit, Betriebsmittel und Stoff (Werkstoff) dargestellt. Zusätzlich sind demonstrativ Beispiele der jeweiligen Faktoren angeführt. Dabei wurden die speziellen Anforderungen der Baubetriebs- und Bauwirtschaftslehre berücksichtigt und angepasst. Die Abbildung soll die Produktionsfaktoren nach Gutenberg verdeutlichen und eine Vereinfachung darstellen, weshalb auf die Zusammenhänge der Faktoren untereinander erst im weiteren Verlauf der Arbeit detaillierter eingegangen wird.

Eine, bezogen auf den Baubetrieb und die Bauwirtschaft, gründlicher betrachtete Unterteilung sowie eine Darstellung der Produktivität und deren Produktionsfaktoren liefert Hofstadler²⁴.

²² Vgl. GUTENBERG, E.: Einführung in die Betriebswirtschaftslehre. S. 2ff.

²³ Vgl. GUTENBERG, E.: Einführung in die Betriebswirtschaftslehre. S. 2ff.

²⁴ HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 17ff.

Darin wird unter anderem der Begriff der Gesamtproduktivität beschrieben. Diese setzt sich aus den elementaren Produktionsfaktoren, welche ident mit der der Betriebswirtschaftslehre sind, (Arbeits-, Betriebsmittel und Stoff) zusammen. Dabei werden die elementaren Produktionsfaktoren wesentlich von den dispositiven beeinflusst. Es erfolgt eine detaillierte Erläuterung der elementar- und dispositiven Faktoren. Speziell die dispositiven Faktoren erscheinen in Bezug auf die Bauwirtschaft genauer erarbeitet wie das Beispiel der Wissensarbeit und der Dokumentation verdeutlicht. Die Gesamtproduktivität wird wiederum von den vorherrschenden Rahmenbedingungen wie Witterung, Bauzeit, Qualität und Quantität, Umfeld sowie der Art, Form und Komplexität des Gebäudes beeinträchtigt.²⁵



Abbildung 2-3: Mehrdimensionaler Zusammenhang der Produktionsfaktoren²⁶

Abbildung 2-3 veranschaulicht den Zusammenhang der elementaren und dispositiven Produktionsfaktoren und der Gesamtproduktivität und erweitert die ebene Betrachtungsweise in eine dreidimensionale. Die Interaktion der elementaren Produktionsfaktoren untereinander sowie der Ein-

²⁵Vgl. HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 15f.

²⁶ HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 15.

fluss der dispositiven mit der Gesamtproduktivität als Ergebnis ergeben sich in der Ebene. Die ebene Betrachtung der Produktionsfaktoren ergibt sich daraus, dass die Arbeiten und Tätigkeiten – auch auf den unterschiedlichen Baustellen – in ihrer Natur dieselben bleiben. Der dreidimensionale Charakter der Produktivitätsverluste ergibt sich aufgrund der stetig wechselnden und sich verändernden Rahmenbedingungen. Diese beeinflussen wiederum sowohl die elementaren als auch die dispositiven Produktionsfaktoren. Dahingehend ist der dreidimensionale Charakter auf den Charakter der Einzelstückfertigung zurückzuführen. Durch die Erfassung des Outputs in Kombination mit Dokumentation und Wissensarbeit können wiederum darauffolgende Prozesse, Arbeiten und Bauwerke beeinflusst werden.

Der Beeinflussung, Interaktion und Verknüpfung der sowohl dispositiven als auch elementaren Faktoren untereinander sowie der zufolge des mehrdimensionalen Charakters der Produktivität komplexen Zusammensetzung, kommt, in Bezug auf Produktivitätsverluste eine besondere Bedeutung zu. Durch Verknüpfung untereinander kann eine Veränderung in einem der Faktoren oder der Rahmenbedingungen mehr oder weniger Auswirkungen auf die Produktivität in einem Bereich haben. Auf die Beeinflussung, Verknüpfung und Interaktion sowie die Bedingungen, Umstände und Verhältnisse der Ein- und Auswirkung auf und von Produktionsfaktoren und Rahmenbedingungen wird im Kapitel 3 detailliert eingegangen.

Die elementaren Produktionsfaktoren können eindeutig den realen Produktionsfaktoren zugeordnet werden. Bei den dispositiven Produktionsfaktoren handelt es sich mehr um einen gemischten Faktor aus realem und wertmäßigen Ansatz. Sie haben einen realen Input, da Arbeitsstunden dafür aufgewendet werden und diese mengenmäßig erfassbar sind. Beim Output handelt es sich um einen wertmäßigen Output, da beispielsweise Planung, Organisation und Dokumentation nicht direkt mengenmäßig erfassbar sind, sondern mehr als Aufwand erachtet werden können. Für den Unterschied zwischen realem, wertmäßigen oder gemischten Ansatz des Produktivitätsbegriffes wird auf *Cantner et al* verwiesen.²⁷

2.3.2 Arbeit

Der Produktionsfaktor Arbeit wird von *Gutenberg* in eine steuernde, dispositive Arbeitsleistung und eine objektbezogene Arbeitsleistung unterteilt.^{28, 29} Dabei ist zu erkennen, dass Gutenberg in früheren Literatur-

²⁷ Vgl. CANTNER, U.; KRÜGER, J.; HANUSCH, H.: Produktivitäts- und Effizienzanalysen. S. 2f.

²⁸ Vgl. GUTENBERG, E.: Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre. S. 3.

²⁹ Siehe dazu auch Abbildung 2-2.

quellen wie beispielsweise ³⁰ eine Unterteilung bzgl. elementarer und dispositiver Faktoren vorgenommen hat, jedoch die dispositiven Faktoren nicht der Arbeitsleistung zugeordnet wurden.

Unter der menschlichen Arbeitsleistung, sowohl dispositiv als auch elementar, werden alle gezielten, geplanten und bewusst durchgeführten körperlichen und geistigen Tätigkeiten verstanden, die die Absicht einer Leistungserstellung aufweisen. Dabei ist die Arbeitsleistung von Kriterien wie Ausbildung, körperliche und geistige Leistungsfähigkeit, Arbeitsbedingungen und anderen menschlichen und betrieblichen Bedingungen abhängig.³¹

Die Abgrenzung zwischen den dispositiven und den objektbezogenen menschlichen Arbeitsleistungen liegt in der Zurechenbarkeit der Leistung.

Wenn Arbeitsleistungen wie beispielsweise die Detailplanung eines Fensters, die statische Berechnung des Sturzes, die Kalkulation und Vorfinanzierung des Fensters sowie das Schalen, Bewehren und Betonieren der Aussparung oder das Aufrichten der Wand als Holzriegelkonstruktion eindeutig der Leistungserbringung zugeordnet werden können, ist die menschlich verrichtete Arbeitsleistung den objektbezogenen und somit den elementaren Produktionsfaktoren zuzuordnen.

Bauer definiert den elementaren Faktor Arbeit als die

*[...] objektbezogenen, durch Arbeitspersonen zu verrichtenden Tätigkeiten, die unmittelbar mit der Leistungserstellung und -verwertung im Zusammenhang stehen, ohne dispositiv-anordnender Natur zu sein.*³²

Dem gegenüber stehen die dispositiven Arbeitsleistungen, die – wie Betriebs- und Geschäftsleitung, Termin- und Kostenplanung, die Organisation der innerbetrieblichen Abläufe – nicht direkt für eine Erzeugung einer Leistung notwendig sind, sondern primär leitende, steuernde bzw. weisende Funktionen aufweisen. Diese auch menschlich verrichteten Arbeitsleistungen sind aufgrund der nicht direkten Zurechenbarkeit zu den dispositiven Arbeiten zu zählen.

In der Bauwirtschaft haben zusätzlich zu den genannten Aufgaben die Wissensarbeit und die Dokumentation – ebenfalls Teil der dispositiven Faktoren – einen wachsenden Stellenwert.

Generell kann davon ausgegangen werden, dass wenn in Kombination mit Produktivität und Produktionsfaktoren vom Faktor Arbeit, Arbeitsproduktivität oder anderen Synonymen die Rede ist, der objektbezogene Anteil der Arbeitsleistung – und somit einer der drei elementaren Produk-

³⁰ Vgl. GUTENBERG, E.: Einführung in die Betriebswirtschaftslehre. S. 27, 57ff.

³¹ Vgl. ZICHL, K. et al.: Bauwirtschaft und Baubetrieb. S. 415f.

³² BAUER, H.: Baubetrieb. S. 523.

tionsfaktoren – gemeint ist. Die dispositiven Arbeitsleistungen sind meist als solche zu erkennen oder sind als dispositive Faktoren benannt.

2.3.3 Betriebsmittel

Um Sachgüter herzustellen oder Dienstleistungen anzubieten, wird, wie eingangs beschrieben, neben dem Faktor Arbeit auch der Faktor Betriebsmittel benötigt. Unter Betriebsmittel wird, im betriebswirtschaftlichen Sinne, die komplette technische Ausrüstung, welche zur Leistungserbringung benötigt wird, verstanden. Dazu gehören beispielsweise Grundstücke, Gebäude, Werkstätten, Maschinen, Geräte, Werkzeug und weitere Gerätschaften, Anlagen und Sonstiges, die dem Betriebszweck dienen.³³

In der Bauwirtschaft wird unter Betriebsmittel Folgendes verstanden:

*die Arbeits- und Betriebsmittel, d.h. alle Einrichtungen (Maschinen, Geräte und Anlagen), welche die technische Voraussetzung betrieblicher Leistungserstellung, insbesondere der Produktion bilden, sowie alle Hilfs- und Betriebsstoffe (Energie) die notwendig sind, um den Betrieb arbeitsfähig zu machen und zu erhalten*³⁴

Abweichend von der betriebswirtschaftlichen Sicht nach *Gutenberg* berücksichtigen *Bauer* und *Hofstadler*³⁵ die Faktoren der Hilfs- und Betriebsstoffe ebenfalls in den Betriebsmitteln. Aus der Definition von Bauer ist nicht eindeutig zu entnehmen, ob neben der Energie beispielsweise auch Treibstoff- und Schmiermittelverbrauch in den Hilfs- und Betriebsstoffen mit einzubeziehen sind und ob sich Energie auf die elektrische Energie oder auf Energie im Allgemeinen bezieht.

Hingegen berücksichtige *Zichl et al*³⁶ die Hilfs- und Betriebsstoffe, zu denen auch Treibstoffe gehören, beim Produktionsfaktor Stoff. Darüber hinaus werden die Begriffe Hilfs- und Betriebsstoffe definiert. Siehe dazu folgender Abschnitt 2.3.4

Weiters sind die Betriebsmittel wie Anlagen, Geräte, Maschinen usw. über einen bestimmten Zeitraum, der Nutzungsdauer, einsetzbar. Je nach Einsatzbereich, Nutzung, Wartung und Pflege kann diese Nutzungsdauer entsprechend verlängert oder verkürzt werden. Die Kosten für Anschaffung, Miete, Abschreibung usw. müssen – anteilmäßig – über das erzeugte Produkt wieder erwirtschaftet werden. Dabei müssen Faktoren wie die Wertminderung aufgrund von Verlust des Marktwertes,

³³ Vgl. GUTENBERG, E.: Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre. S. 70f.

³⁴ BAUER, H.: Baubetrieb. S. 523.

³⁵ Vgl. HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 17.

³⁶ Vgl. ZICHL, K. et al.: Bauwirtschaft und Baubetrieb. S. 418

von Witterungseinflüssen und von der technischen und wirtschaftlichen Überalterung bedacht und kalkuliert werden.

Je nach Literaturquelle spielt auch hier die Erhaltung, Wartung und Pflege mit, weshalb Treibstoff, Energie, Schmiermittel und dergleichen ebenfalls zu den Betriebsmitteln zählen. Infolgedessen wird in dieser Arbeit davon ausgegangen, dass Betriebsstoffe zu den Betriebsmitteln gezählt werden.

2.3.4 Stoff

Bei den Begriffen Werkstoff, Stoff oder Material handelt es sich generell um denselben Faktor im produktiven System. Je nach Branche oder Fachbereich sind die Inhalte des Faktors unterschiedlich. Das Prinzip des Faktors Stoff oder Werkstoff ist jedoch in allen Bereichen ident. Dahingehend wird zuerst die in der Betriebswirtschaftslehre mit dem Begriff Werkstoff definierte Erläuterung wiedergegeben und im Weiteren auf den in der Bauwirtschaft üblichen Begriff Stoff eingegangen.

Der Faktor Werkstoff ist der dritte Faktor, der für die Produktion eines Sachgutes erforderlich ist und unterscheidet Sachgüter von Herstellungs- oder Bereitstellungsprozessen. Beispielsweise ist in der Veredelung oder Gewinnung von Rohstoffen sowie in der Bereitstellung von Dienstleistungen der Faktor Werkstoff nicht vorhanden.

Unter dem elementaren Produktionsfaktor „Werkstoff“ werden hier alle Rohstoffe, Halb und Fertigfabrikate verstanden, die als Ausgangs- und Grundstoffe für die Herstellung von Erzeugnissen zu dienen bestimmt sind, mithin nach der Vornahme von Form- oder Substanzänderungen oder nach dem Einbau in die Fertigerzeugnisse Bestandteile der neuen Produkte werden.³⁷

Diese aus der Betriebswirtschaftslehre stammende Definition des Produktionsfaktors Werkstoff, wird für die Baubetriebs- und Bauwirtschaftslehre übernommen. Der Geltungsbereich bzw. der Inhalt der Werkstoffe wird allerdings erweitert. Neben den Roh-, Halb- und Fertigfabrikaten werden in den Begriff der Stoffe auch die Bau- und Bauhilfsstoffe, welche als Ausgangs- und Grundstoffe für die Erzeugung des Bauproduktes erforderlich sind, integriert.

Unter Hilfs- oder Bauhilfsstoffen werden jene Stoffe verstanden, welche bei der Erzeugung des neuen Produktes benötigt werden und ebenfalls Bestandteil des neuen Produktes werden. Sie fallen im Verhältnis zum verwendeten Hauptrohstoff jedoch mengen- und/ oder gewichtsmäßig erheblich geringer aus, weshalb sie eine untergeordnete Rolle spielen. Für Beton sind Hilfsstoffe beispielsweise Beschleuniger, Verzögerer,

³⁷ GUTENBERG, E.: Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre. S. 122.

Luftporenbilder und viele weitere chemische Mittel und nicht chemische Zusatzstoffe.

Die Betriebsstoffe, je nach Definition und Literaturquelle, finden sich in einem der beiden elementaren Produktionsfaktoren Betriebsmittel oder Werkstoff wieder. *Zichl et al*³⁸ definieren die Betriebsstoffe als jene Stoffe, welche bei der Produktion des Produktes verbraucht werden. Wie bereits erläutert, wird sich davon in dieser Arbeit distanziert und die Betriebsstoffe zum Faktor der Betriebsmittel gezählt.

Beim produktiven Umgang mit den Werkstoffen sollte das geringstmögliche Gleichgewicht zwischen Beschaffungs-, Fehlmengen-, Lager- und Zinskosten gefunden werden. Bekanntermaßen, je mehr Mengen im Großhandel bestellt werden, desto geringer sind die prozentual gesehenen Beschaffungskosten und die Fehlmengenkosten. Dadurch steigen auch die benötigten Lagerflächen und somit auch die Lagerkosten. Durch das gebundene Kapital werden – sofern nicht ungebunden finanziert wurde – die Zinskosten steigen. Wer nun produktiv mit dem Faktor Werkstoff wirtschaften kann, findet ein minimales Gleichgewicht zwischen diesen Beziehungen.

2.3.5 Dispositive Faktoren

Die allgemeinen dispositiven Faktoren wurden zu Beginn des Abschnittes über Produktionsfaktoren in Abschnitt 2.3.1 erläutert. An dieser Stelle wird speziell auf den dispositiven Faktor im Bauwesen eingegangen.

Um in einem Betrieb produktiv zu wirtschaften, ist es äußerst wichtig die Produktionsfaktoren Arbeit, Betriebsmittel und Werkstoff für das spezifische Projekt optimal zu kombinieren, um die vorgegebenen übergeordneten betrieblichen Ziele zu erreichen. Ausgehend von der Geschäftsführung über Bereichs- und Bauleiter zu Polieren und Gruppenführern, sind Fokus und Betrachtungsmaßstäbe der entscheidungsbefugten Personen unterschiedlich. Im Bauwesen haben unter anderem aufgrund des hohen Anteils an Lohnkosten und der immer kürzer werdenden Bauzeiten die Ablaufplanung und die Arbeitsvorbereitung eine große Bedeutung. Generell spielt die Planung, unter welcher die gedankliche Vorbereitung auf Ereignisse verstanden wird, sowohl in der Kosten- als auch der Terminplanung eine wichtige Rolle. Alle diese Aufgaben haben den erforderlichen steuernden und weisenden Charakter der dispositiven Produktionsfaktoren.

Auch das Verhandeln mit den Zulieferern und die Organisation der logistischen und anderen Abwicklungen auf der Baustelle gehören neben der

³⁸ Vgl. ZICHL, K. et al.: Bauwirtschaft und Baubetrieb. S. 418.

Planung zu den lenkenden und steuernden Aufgaben der entscheidungsbefugten Personen auf einer Baustelle oder in einem Bauunternehmen. Die Kontrolle ist ebenfalls Bestandteil der dispositiven Faktoren und stellt sicher, dass die definierten Ziele und Vorgaben sowohl in qualitativer als auch in quantitativer Hinsicht eingehalten werden.

2.3.6 Zusammenfassung

Um das Faktorensystem und die Ein- und Auswirkung auf die Produktivität zu verdeutlichen, wird das gesamte System und deren Verknüpfungen nochmals von außen nach innen kurz zusammengefasst.

Die Gesamtproduktivität ist jene Produktivität, die aus der elementaren Produktivität besteht und von der dispositiven Produktivität beeinflusst wird. Dieses System wird wiederum durch die dreidimensional auf das System einwirkenden Rahmenbedingungen beeinflusst.

Die Begriffe der elementaren und dispositiven Produktionsfaktoren und der elementaren und dispositiven Produktivität unterscheiden sich dahingehend, dass die einzelnen Produktionsfaktoren wiederum Teil der jeweiligen Produktivität sind und in ihren abgeschlossenen Faktorbereichen wieder über das Verhältnis der (Teil-)Produktivität (Arbeits-, Betriebsmittel-, Stoffproduktivität etc.) ausgedrückt werden können.

Die elementaren Produktionsfaktoren sind – wie aus dem Begriff ableitbar – die maßgebenden Faktoren, ohne welche das Produkt nicht erzeugt werden kann. Zu der elementaren Produktivität gehören die Arbeits-, Betriebsmittel- und Stoffproduktivität. Die Kombination dieser drei Faktoren in diesem Faktorensystem hat ein Produkt zur Folge.

Wie produktiv dieses erzeugt wurde, hängt im Wesentlichen davon ab, wie die Faktoren kombiniert wurden. An dieser Stelle kommen die dispositiven Produktionsfaktoren zum Einsatz. Sie sind generell von steuernder Natur und für die Regelung des richtigen Ressourcen- und Faktoreinsatzes zuständig. Durch die dispositiven Produktionsfaktoren soll die Produktivität gesteigert oder gehalten werden.

Die einzelnen elementaren Produktionsfaktoren Arbeit, Betriebsmittel und Stoff stellen die zu messenden Größen der Produktivität dar. Sie sind In- und Output. Durch die Beeinflussung dieser Parameter wird direkt die Produktivität beeinflusst.

Das Ergebnis der Faktorkombination bezeichnet man als den Ertrag des Faktoreinsatzes. Dabei wird der Ausdruck „Ertrag“ hier zunächst rein mengenmäßig verstanden (Produktmengen, Ausbringungen, Ausstoß u.ä.). Die Beziehung zwischen dem Faktorertrag und dem Faktoreinsatz ist die „Produktivitätsbeziehung“. Sie stellt die allgemeine Grundbeziehung betrieblicher Tätigkeit dar.³⁹

In Abbildung 2-4 sind die Produktionsfaktoren bzw. die Produktivität der einzelnen Faktorsysteme und deren gegenseitige Beeinflussung vereinfacht grafisch dargestellt.

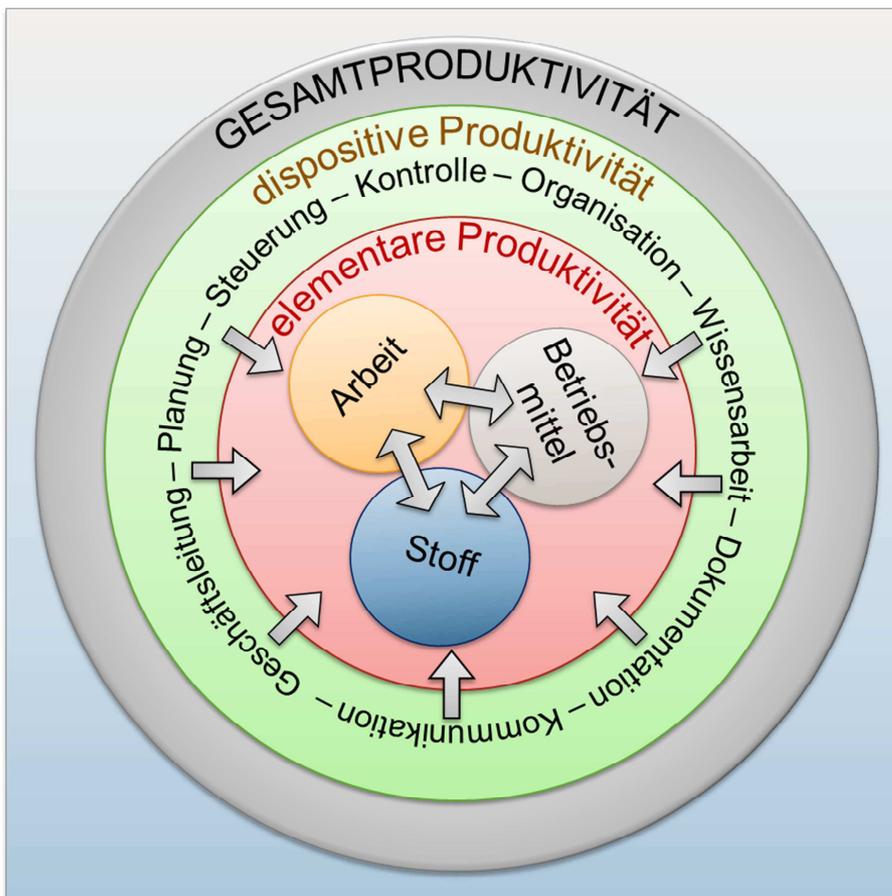


Abbildung 2-4: Faktorensystem – Gesamtproduktivität, dispositive und elementare Produktivität in Anlehnung an Hofstadler⁴⁰

In der Darstellung sind – vom Groben ins Detail – die Gesamtproduktivität, die dispositive und die elementare Produktivität und Arbeits-, Betriebsmittel- und Werkstoffproduktivität sowie die gegenseitige Beeinflussung ersichtlich.

³⁹ GUTENBERG, E.: Einführung in die Betriebswirtschaftslehre. S. 27.

⁴⁰ Vgl. HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 31.

2.4 Aufwandswert und Leistungswert

Bei der Ermittlung der Produktivität bzw. bei der Ermittlung der realen Produktionsfaktoren spielen die beiden Kennwerte eine wichtige Rolle.

Zu Beginn des Projektes werden Aufwands- und Leistungswerte zur ersten groben Abschätzung der Vorgangszeiten von wesentlichen Arbeitsschritten und -phasen herangezogen. Diese Vorgangszeiten werden, je nach Ablaufplanung, räumlicher und technologischer Abhängigkeiten und anderer Faktoren, miteinander verknüpft. Die Summe daraus ergibt eine erste grobe Schätzung der Bauzeit und im Weiteren auch der Baukosten.

Der Aufwandswert – als Teil des Leistungswertes – ist speziell in den Bereichen Kalkulation, Arbeitsvorbereitung und Bauablaufplanung, die Grundlage, für die Ermittlung der Geräte- und Lohnkosten. Im Weiteren, werden Aufwands- und Leistungswert, je nach Detaillierungsgrad, für die Ermittlung der Rahmen-, Grob-, Fein- und Detailterminplanung⁴¹ verwendet.

Aufwands- und Leistungswerte sind keine *absoluten* Angaben. Das bedeutet, dass diese Werte eine gewisse Bandbreite aufweisen. Je nach Erhebung und Detaillierungsgrad der Aufwands- und Leistungswerte können diese genauer oder weniger genau sein. Diese Bandbreiten sollten bei der Verwendung von Aufwands- und Leistungswerten berücksichtigt werden.

Um Aufwands- und Leistungswerte sicherer einschätzen zu können, ist eine statistische Ermittlung von Vorteil. Mit Hilfe der statistischen Ermittlung und einer aussagekräftigen Anzahl an Stichproben kann für die Aufwands- und Leistungswerte eine gewisse Verteilung ermittelt werden. Abhängig von der Abschätzbarkeit der eintretenden Rahmenbedingungen ist die ermittelte Bandbreite kleiner oder größer. Mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation können Verteilungsfunktionen in die Berechnung integriert werden. Hierzu werden anstelle deterministischer Zahlenwerte Verteilungen angesetzt. Im Zuge der Monte-Carlo-Simulation werden anhand von Zufallszahlen Werte innerhalb der angegebenen Bandbreite ausgewählt und damit die vorgegebene Berechnungsvorschrift ausgeführt. Dieser Vorgang wird mehrere tausend Mal wiederholt und die ermittelten Einzelergebnisse in Form eines Histogramms dargestellt. Die Festlegung der Verteilung für die Inputparameter erfolgt entweder über subjektive Einschätzungen oder anhand von erhobenen Daten (ex ante/ex post). Dadurch kann die Bandbreite der eintretenden Ereignisse besser abgeschätzt werden.⁴²

⁴¹ HECK, D.; LANG, W.: Skriptum zur Lehrveranstaltung Baubetriebslehre VU. S. 46.

⁴² KUMMER, M.: Unveröffentlichte Dissertation.

Für die Aufwands- und Leistungswerte bedeutet dies, dass – abhängig von der Qualität der erhobenen und eingegebenen Rahmenbedingungen – die Eintrittswahrscheinlichkeit der auftretenden Aufwands- und Leistungswerte objektiver abgeschätzt werden kann.

Die Aufwands- und Leistungswerte können, nach *Bauer*, als „Messgrößen der Produktivität eines Potentialeinsatzes“⁴³ angesehen werden. Da diesen beiden Werten im Zusammenhang mit Produktivität eine zentrale Rolle zukommt, werden diese im Folgenden genauer erläutert.

2.4.1 Leistungswert

Leistungswerte geben an, wieviel Mengeneinheiten [m², m³, t ...] in einer gewissen Zeiteinheit [h, d, Wo, Mo etc.] zu erbringen sind bzw. erbracht worden sind.

*Greune*⁴⁴ greift den Ansatz von *Berg*⁴⁵ auf, welcher der Ansicht ist, dass der Begriff des Leistungswertes bei geräteintensiven Tätigkeiten bzw. Arbeiten zu verwenden ist, und bekräftigt diesen Ansatz damit,

*[...] dass in der Bauwirtschaft spezifische Leistungen eines Gerätes oder einer Gerätegruppe als Leistungswert bezeichnet wird und dass dieser Leistungswert regelmäßig in der Einheit „Mengeneinheit pro Stunde“ (z.B. m³/h) angegeben wird.*⁴⁶

Weiter erläutert *Greune*, dass der Leistungswert eine Aussage über die erbrachte Mengenleistung eines Gerätes, einer Gerätegruppe oder einer Gerätekette in einer Zeitstunde [h] erbringt. Hiervon könne jedoch nicht direkt auf die Produktivität zurückgeschlossen werden, da rein aus dem Leistungswert nicht auf die benötigten Lohnstunden zurückgerechnet werden könne. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei der Leistung eines Gerätes wie beispielsweise bei einem Hydraulikbagger, der diverse Aushubarbeiten verrichtet, nicht nur der Geräteführer, sondern noch eine weitere Arbeitskraft benötigt wird. Somit kann eine Zeitstunde [h] mehrere Lohnstunden [Std] enthalten. Da für die Ermittlung der Arbeitsproduktivität – welche Teil der elementaren Produktionsfaktoren und somit der Produktivität ist – die Lohnstunden benötigt werden, kann nicht direkt vom Leistungswert auf die Produktivität geschlossen werden. Ein weiteres Zeichen für das Abweichen der Lohnstunden ist, wenn der Reziprokwert des Leistungswertes nicht mehr dem des Aufwandwertes entspricht. Um eindeutig zwischen Zeit- und Lohnstunde differenzieren

⁴³ BAUER, H.: Baubetrieb 2. S. 684

⁴⁴ Vgl. GREUNE, S.: Darlegung und Bewertung von multiplen Bauablaufstörungen. In: Schriftenreihe - Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft Technische Universität Braunschweig, Heft 55/2014. S. 13f.

⁴⁵ Vgl. BERG, G.: REFA in der Baupraxis: Teil 1 Grundlagen. S. 65.

⁴⁶ GREUNE, S.: Darlegung und Bewertung von multiplen Bauablaufstörungen. In: Schriftenreihe - Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft Technische Universität Braunschweig, Heft 55/2014. S. 14.

zu können, wird zwischen den Einheiten [h] für Zeitstunde und [Std] für Lohnstunde unterscheiden.⁴⁷

Auch laut *Hofstadler*⁴⁸ kann vom Leistungswert nicht direkt auf die Produktivität geschlossen werden. Auch wird hier zwischen Zeit- und Lohnstunde unterschieden. Der Leistungswert berechnet sich nach *Hofstadler* wie folgt:

$$\text{Leistungswert} \left[\frac{\text{MEH}}{\text{ZEH}} \right] = \frac{\text{Arbeitskräfte} \left[\frac{\text{Std}}{\text{h}} \right] \cdot \text{Arbeitszeit} \left[\frac{\text{h}}{\text{ZEH}} \right]}{\text{Aufwandswert} \left[\frac{\text{Std}}{\text{MEH}} \right]} \quad (\text{Gl. 2-4})$$

Hierzu definiert *Hofstadler* den Leistungswert bzw. die Leistung – für das Bauwesen – physikalischer und beschränkt diese nicht auf geräteintensive Tätigkeiten.

Ob geräte- oder arbeitsintensive Arbeiten bzw. Tätigkeiten verübt werden, spiegelt sich dabei im Aufwandswert, welcher für die Ermittlung des Leistungswertes herangezogen wird, wider. Dementsprechend ist bei geräteintensiven Tätigkeiten die Betriebsmittelproduktivität und bei arbeitsintensiven Tätigkeiten die Arbeitsproduktivität der wesentliche Anteil der Produktionsfaktoren.⁴⁹

*Zichl et al*⁵⁰ erwähnen, dass der Leistungswert die je Kolonnen- oder Gerätestunden zu erbringende Mengenleistung beschreibt.

Somit lässt sich zusammenfassen, dass Leistung nicht direkt die Produktivität widerspiegelt. Der Leistungswert setzt sich aus einer Arbeitskolonne, einem Gerät, einer Gerätegruppe oder Geräteketten sowie der Anzahl der eingesetzten Arbeitskräfte und/oder Geräte und dem Aufwand der zu erbringenden Arbeit zusammen und beschreibt die erbrachte Mengenleistung je Zeiteinheit.

2.4.2 Aufwandswert

Aufwandswerte beschreiben die benötigten Lohnstunden pro Mengeneinheit der produzierten (Teil-)Leistung. Sie berechnen sich aus dem

⁴⁷Vgl. GREUNE, S.: Darlegung und Bewertung von multiplen Bauablaufstörungen. In: Schriftenreihe - Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft Technische Universität Braunschweig, Heft 55/2014. S. 14.

⁴⁸Vgl. HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 44f.

⁴⁹Vgl. HOFSTADLER, C.: Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb. S. 21.

⁵⁰Vgl. ZICHL, K. et al.: Bauwirtschaft und Baubetrieb. S. 471

Quotienten der für die erbrachte Leistung benötigten Lohnstunden zu der in dieser Zeit produzierten Menge.⁵¹

$$\text{Aufandswert} \left[\frac{\text{Std}}{\text{MEH}} \right] = \frac{\text{Summe der Lohnstunden [Std]}}{\text{produzierte Menge [MEH]}} \quad (\text{Gl. 2-5})$$

Der Aufwandswert stellt also die aufgewendeten Lohnstunden pro produzierter Menge dar, was vereinfacht so interpretiert werden kann, dass eine Arbeitskraft den Betrag des Aufwandswertes – in Lohnstunden bzw., da es eine Arbeitskraft ist, auch Zeitstunden – benötigt, um die betrachtete Tätigkeit auszuführen. Dies ist jedoch aus Sicht des Verfassers nicht direkt der Fall. Der „Aufwand“, der für eine Arbeit betrieben werden muss, ist bezogen auf die Arbeitskraft nicht linear, was bedeutet, dass für gewisse Tätigkeiten zwei Arbeitskräfte mehr als doppelt so schnell sind wie nur eine Arbeitskraft und umgekehrt vier Arbeitskräfte für dieselbe Arbeit wiederum nicht doppelt so schnell sein müssen wie zwei. Dies hängt unter anderem vom Charakter der Arbeit und von einer Vielzahl weiterer Einflussparameter ab. Deshalb sollten bei der Verwendung von Aufwandswerten die Erhebungsbedingungen des Aufwandswertes mit bedacht werden.

Wie zuvor schon erwähnt, ist der Aufwandswert – der auch in den Leistungswert miteinfließt – eine wichtige Kennzahl zur Bestimmung der Ausführungsdauer von einzelnen Tätigkeiten oder des gesamten Bauprozesses, für die Auswahl von Bauverfahren, zur Ermittlung von Kosten und anderen Faktoren, welche für die Arbeitsvorbereitung und Ablaufplanung wesentlich sind.

Bauer beschreibt den Aufwandswert sowie dessen Ermittlung und Bedeutung wie folgt:

*Der Aufwandswert ist mitbestimmend für die Ausführungsdauer des entsprechenden Teilprozesses und maßgebend für die Kosten einer Teilleistung. Der statistischen Ermittlung des Mittelwertes μ und der Varianz σ^2 eines ungestörten Ablaufs von Leitprozessen kommt deshalb besondere Bedeutung zu.*⁵²

Aufwandswerte werden – neben der im Vorfeld der Erstellung stattfindenden Kalkulation und Planung des Bauablaufes – auch für die Ermittlung und Darlegung von Nachträgen aufgrund von Abweichungen zum geplanten Bauablauf verwendet. Diesbezüglich ist es wesentlich, die geplanten Soll-Werte und die tatsächlich aufgewendeten Ist-Werte zu kennen.

⁵¹Vgl. BERG, G.: REFA in der Baupraxis: Teil 1 Grundlagen. S. 65.; ZICHL, K. et al.: Bauwirtschaft und Baubetrieb. S. 470.; BAUER, H.: Baubetrieb. S. 545.

⁵²BAUER, H.: Baubetrieb. S. 640.

Wie qualitativ hochwertig eine Aussage über den geplanten oder den tatsächlich aufgewendeten Aufwandswert ist, ist im Wesentlichen von der Erhebung der Daten abhängig.

Die Daten für die Ermittlung des Aufwandswertes können auf folgende Arten erhoben werden:⁵³

- Nachkalkulation – Erfahrungswerte aus internen Aufzeichnungen;
- Arbeitsstudien – Multimomentaufnahmen, Stichproben und andere Analysen und Studien;
- Berechnung über analytische oder numerische Modelle - Monte-Carlo-Simulation, Nomogramme und andere Methoden;
- Kalkulationshandbücher und andere Literaturquellen;
- Herstellerangaben zu verwendeten Geräten und Maschinen;
- Nachstellung / Modellbildung des (gesamten) Arbeitsablaufes – Zusammensetzung der einzelnen Tätigkeiten und Abläufe;

Welche Verfahren geeignet sind und welche weniger geeignet sind, hängt von mehreren Parametern ab. Generell kann gesagt werden, dass jene Verfahren, bei welchen die Daten der Erhebung bekannt sind, mehr zu vertrauen ist und je fundierter (im Sinne der Probenanzahl) und nachvollziehbarer die Aufwandswerte erhoben wurde/werden, desto aussagekräftiger sind diese. Literaturnachweise und Herstellerangaben sind hierbei mit Vorsicht zu genießen, da die Bedingungen der Erhebung nicht oder nur zum Teil bekannt sind. Auch bei Nachkalkulationen oder Schätzungen, für welche keine ausreichenden Hintergrundinformationen zugrunde liegen, ist Vorsicht geboten.

Generell ist zwischen dem in der Bauwirtschaft verwendeten Begriff „Aufwand“ und dem in der Kostenrechnung zu unterscheiden. In der Betriebswirtschaftslehre bzw. der Kostenrechnung werden Aufwand und Ertrag gegenübergestellt. Dabei wird unter Aufwand der bewertete Verbrauch an Ressourcen verstanden.

Gesamt-Aufwandswert

Speziell im Bereich der Stahlbetonarbeiten werden die Arbeiten Schalen, Bewehren und Betonieren zum sogenannten Gesamt-Aufwandswert AW_{STB} zusammengefasst. Dieser kombinierte Aufwandswert liefert eine Aussage über den Lohnstundenaufwand pro Kubikmeter Stahlbeton. Um die Aufwandswerte Schalen AW_S und Bewehren AW_{BW} mit dem von Betonieren addieren zu können, werden diese mit dem jeweiligen Umrech-

⁵³ Vgl. HOFSTADLER, C.: Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb. S. 21.; BAUER, H.: Baubetrieb. S. 546.

nungsfaktor des Schalungs- (s_g) bzw. des Bewehrungsgrades (bw_g) multipliziert. Siehe Gleichung (Gl. 2-6).⁵⁴

$$AW_{STB} \left[\frac{\text{Std}}{\text{m}^3} \right] = AW_S \left[\frac{\text{Std}}{\text{m}^2} \right] \cdot s_g \left[\frac{\text{m}^2}{\text{m}^3} \right] + AW_{BW} \left[\frac{\text{Std}}{\text{t}} \right] \cdot bw_g \left[\frac{\text{t}}{\text{m}^3} \right] + AW_{BT} \left[\frac{\text{Std}}{\text{m}^3} \right] \quad (\text{Gl. 2-6})$$

Diese Gleichung stellt eine vereinfachte Form dar. Für die detaillierte Ermittlung des Gesamt-Aufwandswertes für Bauteile, Bauteilgruppen oder das gesamte Bauwerk wird auf das Buch *Schalarbeiten* von Hofstadler verwiesen. In diesem Buch wird auch die Unterteilung des Aufwandswertes für Schalarbeiten – Einschalen, Ausschalen, Passflächen, Einarbeitung, Randabschalung und Sonstiges – genauer erläutert.⁵⁵

Das Beispiel des Gesamtaufwandswertes für Stahlbetonarbeiten soll zeigen, dass der Aufwandswert nicht nur für einzelne Tätigkeiten und Prozesse erstellt werden kann, sondern auch die Möglichkeit besteht, diesen in Gruppen zusammen zu fassen.

2.5 Einfluss der Bauzeit

Der Faktor der Zeit ist – schon im physikalischen Sinne – eine elementare Größe zur Bestimmung der Leistung. Auch bei der Ermittlung und Bestimmung der Leistung in der Bauwirtschaft hat die Bauzeit einen wesentlichen Einfluss und sollte als ein „übergeordneter Faktor“ betrachtet werden.

Dahingehend sollte berücksichtigt werden, dass die benötigten Vorgangszeiten einen direkten Einfluss auf die Produktivität und im weiteren Verlauf auf die Wirtschaftlichkeit des Produktionsprozesses haben. Somit wirkt sich die im Vorfeld der Ausführung kalkulierte, vorgegebene oder angesetzte Bauzeit über die dispositiven Produktionsfaktoren und dem daraus entstehenden produktiven Einsatz der elementaren Produktionsfaktoren direkt auf die Produktivität und die Leistung des Bauprozesses aus.

Dieser direkte Einfluss ergibt sich über die in der Angebotskalkulation stattfindende Auswahl der zur Anwendung kommenden Verfahren, die Ermittlung der benötigten Kapazitäten und die Aufwendung sowie den Verbrauch an Ressourcen. Diese Parameter sind je nach Verfahren, Bauteil oder Gewerk mehr oder weniger von der Bauzeit abhängig und beeinflussen sich gegenseitig mehr oder weniger.

⁵⁴ Vgl. HOFSTADLER, C.: Schalarbeiten. S. 302.

⁵⁵ Vgl. HOFSTADLER, C.: Schalarbeiten. S. 301ff.

2.5.1 Einleitendes zur Bauzeit

Unter dem Begriff der Bauzeit wird hier allgemein und übergreifend sowohl der vorgegebene als auch der benötigte Zeitraum zur Erstellung eines Bauwerks oder Teilen davon verstanden. Er beginnt mit der Ausführung und endet mit der Übergabe des Bauwerks an den Auftraggeber. Es kann sich aber auch auf die einzelnen Gewerke bzw. auf die zu erbringenden Leistungen beziehen. Dies ist aus dem Kontext zu entnehmen. Bei Bedarf wird angegeben, ob die vorgegebene, die benötigte, die gesamte oder Teile der Bauzeit gemeint ist.

Eine Bauzeit kann beispielsweise vom Auftraggeber vorgegeben sein, über technologische Bedingungen bestimmt sein oder im Zuge der Vergabe durch die Bieter erfolgen. Je nach Bauwerk, Komplexität, zur Verfügung stehenden Verfahren und Methoden ist bezüglich der erforderlichen Vorgangszeiten ein gewisser Spielraum geboten.

Die Termine bezüglich Beginn und Ende einer Leistungserbringung sind in den meisten Fällen im Bauvertrag, in Deutschland beispielsweise in den Besonderen Vertragsbedingungen, vereinbart. Weiters können im Bauvertrag auch Zwischentermine festgehalten werden. Sollten Vereinbarungen hinsichtlich der Bauzeit, aus welchen Gründen auch immer, im Bauvertrag fehlen, sind diese in den zugehörigen Regelwerken festgelegt.

Der Baubeginn und das Bauende – respektive die daraus resultierende Bauzeit – werden in Kalendertagen, Wochen oder Monaten angegeben und ab dem Zeitpunkt der Auftragserteilung mit einem Datum versehen. Im Zweifelsfalle ist bei Angaben von Fristen in Tagen, welche nicht ausdrücklich als Arbeitstage ausgewiesen sind, von Kalendertagen auszugehen.⁵⁶

Ein Vorteil bei Angaben von verbindlichen Terminen und Fristen in Kalendertagen sowie im weiteren Verlauf bei der Darstellung der Ablaufpläne in Kalendertagen liegt darin, dass Wochenenden und Feiertage besser ersichtlich sind. Dadurch können in der Dokumentation Vorfälle wie Schlechtwetterperioden, krankheitsbedingte Ausfälle, Planlieferverzögerungen und andere Abweichungen vom geplanten Verlauf übersichtlicher dargestellt werden.

Falls, wie vorhin schon erwähnt, im Bauvertrag keine eindeutige Regelung über den Beginn der Leistungserbringung nach Auftragserteilung festgehalten ist, so können das Werkvertragsrecht nach ABGB oder die ÖNORM B 2110 herangezogen werden. Dabei ist zu unterscheiden, ob kein Ausführungsbeginn, jedoch ein Fertigstellungstermin oder weder Beginn noch Ende der zu erbringenden Leistung vereinbart sind.

⁵⁶Vgl. ÖNORM B 2110: Allgemeine Vertragsbedingungen für Bauleistungen. S. 17.

Falls Letzteres zutrifft, ist der Beginn der Bauzeit nach § 904 ABGB so geregelt, dass wenn

*[...] keine gewisse Zeit für die Erfüllung des Vertrages bestimmt worden ist; so kann sie sogleich, nämlich ohne unnötigen Aufschub, gefordert werden;*⁵⁷

Ist das Ende vertraglich geregelt, jedoch kein Ausführungsbeginn genau festgelegt, ist laut *ÖNORM B 2110*⁵⁸ die Leistungserbringung so zu beginnen, dass die Leistung – unter Berücksichtigung der Vorbereitungszeit – bis zum vereinbarten Termin fertiggestellt werden kann.

Weiters ist darin festgehalten, dass Zwischentermine nur dann verbindlich sind, wenn sie ausdrücklich vereinbart wurden.

Nach Meinung von *Karasek* und *Duve*⁵⁹ ist die Dauer der Ausführung bzw. das Ende der Bauzeit in die Verbindlichkeiten einzustufen und dadurch nach § 1418 ABGB so geregelt, dass die Bauzeit durch „*die Natur der Sache*“⁶⁰ bestimmt wird.

Somit kann zusammengefasst werden, dass die Bauzeit mit Beginn und Ende der Ausführung – inklusive der verbindlich vereinbarten Zwischentermine, falls vorhanden – vertraglich vereinbart sind oder der Beginn und das Ende – jedoch nicht die Zwischentermine – über die § 904 ABGB und § 1418 ABGB abgeleitet werden können.

2.5.2 Unterschiede in der Bauzeitermittlung

Bei der Ermittlung der Bauzeit wird eine Grobplanung seitens des Auftraggebers und der Bieter durchgeführt. Dabei ist die Grobplanung des Auftraggebers die Grundlage für jene der Bieter.

Deshalb wird eine grobe Unterscheidung der Bauzeit in

- eine vom Auftraggeber oder vom Bieter *vor* der Auftragserteilung kalkulierte und
- eine vom Auftragnehmer *nach* der Auftragserteilung ermittelte

Bauzeit vorgenommen.

Der Auftraggeber bzw. die Projektleitung oder Projektsteuerung des Auftraggebers befassen sich meist schon länger mit einem Projekt, bevor die ausführenden Firmen sich mit demselben Projekt beschäftigen. Zumeist hat auch die Sphäre des Auftraggebers einen globaleren Fokus

⁵⁷ BARTH, P.; DOKALIK, D.; POTYKA, M.: Das Allgemeine bürgerliche Gesetzbuch - Taschenkommentar. S. 447.

⁵⁸ Vgl. ÖNORM B 2110: Allgemeine Vertragsbedingungen für Bauleistungen. S. 17.

⁵⁹Vgl. KARASEK, G.; DUVE, H.: Die Bauzeit im Bauvertrag - die baurechtliche und bauwirtschaftliche Betrachtung. In: Tagungsband, 2. Grazer Baubetriebs- und Baurechtsseminar, 2. Ausgabe/2009. S. 15.

⁶⁰ BARTH, P.; DOKALIK, D.; POTYKA, M.: Das Allgemeine bürgerliche Gesetzbuch - Taschenkommentar. S. 809.

des Projektes. Dies kann sich ebenfalls auf den Detaillierungsgrad der Planung und der Ausschreibung auswirken.

Ein Projekt kann, aus Sicht der Projektentwickler, beispielsweise in die Leistungsphasen der Planung nach *Honorarordnung für Architekten und Ingenieure* (HOAI) unterteilt werden. Diese Leistungsphasen sind wie beispielsweise für Ingenieurbauwerke in folgender Reihenfolge gegliedert:⁶¹

- 1. *Grundlagenermittlung*
- 2. *Vorplanung*
- 3. *Entwurfsplanung*
- 4. *Genehmigungsplanung oder Einreichplanung*
- 5. *Ausführungsplanung*
- 6. *Vorbereitung der Vergabe*
- 7. *Mitwirken bei der Vergabe*
- 8. *Bauoberleitung*
- 9. *Objektbetreuung*

Diese Reihenfolge wurde 1996 dahingehend geändert, dass die Ausführungsplanung zum Zeitpunkt der Ausschreibung bereits abgeschlossen ist. Die Praxis zeigt jedoch, dass die Ausführungsplanung zum Zeitpunkt der Ausschreibung selten in den erforderlichen Detaillierungsgraden fertiggestellt ist. Aufgrund dessen sind Änderungen und Anpassungen während der Ausführung nichts Unübliches, was sich wiederum auf die geplanten Produktionsfaktoren auswirkt.

Die Unterscheidung der Bauzeit zwischen vor und nach der Auftragserteilung ist im Wesentlichen auf den Detaillierungsgrad der ermittelten Bauablauf- und Rahmenterminpläne zurückzuführen. Vor der Auftragserteilung erfolgen die Einteilung des Bauablaufes und die Abschätzung der Vorgangsdauer der Abläufe aus einer Rückwärtsrechnung der vom Auftraggeber vorgegebenen Bauzeit und Bauzeitpläne, falls diese ebenfalls Vertragsbestandteile sind.

Der Detaillierungsgrad dieses Bauzeitplanes kann unterschiedlich genau oder grob sein. Unabhängig davon, ob dieser nun verbindlich ist oder nicht, werden bei der Erstellung des Bauzeitplanes die zuvor ermittelten Ablauf- und Vorgangsdauern mit Abhängigkeiten verknüpft. Diese Abhängigkeiten können von räumlicher oder technologischer Natur sein. Über die Art (z.B. übergreifende oder nachfolgende Vorgänge), Anzahl und Summe der Vorgangsdauern in Verbindung mit den Abhängigkeiten

⁶¹ SPRINGER FACHMEDIEN WIESBADEN: HOAI 2013-Textausgabe. S. 34.

untereinander ergibt sich die benötigte Zeit für die Leistungserbringung. Dabei kann die erforderliche Zeit für einzelne Bauteile, Abschnitte, Gewerke sowie die gesamte Bauzeit als Summe aus den einzelnen Vorgängen ermittelt werden.

An dieser Stelle wird nochmals angemerkt, dass die vor Auftragsvergabe ermittelte Bauzeit, welche als Grundlage der Bieter zur Auswahl der Verfahren und Einteilung der Ressourcen dient, einen wesentlichen Einfluss auf die Produktivität der auszuführenden Leistung hat.

Grund für den Unterschied im Detaillierungsgrad des Bauzeitplanes, vor und nach der Auftragsvergabe, sind im Wesentlichen zwei Faktoren.

Als Erstes ist die zeitliche Überschneidung von „unvollständiger“ Ausführungsplanung und der Vergabe der Leistungen zu erwähnen. Da die Ausführungsplanung nicht abgeschlossen ist, zum Teil statische Angaben fehlen, Dimensionierungen noch offen sind, verwendete Materialien und die zu installierenden Systeme noch nicht bekannt sind oder sich der Auftraggeber bewusst nicht festlegen will, beruhen die kalkulierten Vorgangsdauern seitens des Auftraggebers mehrfach auf Erfahrungswerten und Schätzungen. Diese ermittelten Einzelvorgangszeiten können sich durchaus als realistisch und auskömmlich für den Bieter erweisen, können allerdings auch unangemessen und unrealistisch sein.

Die Erfahrungswerte stammen oft aus vergleichbaren Bauprojekten und werden um einen zeitlichen Puffer ergänzt, um eventuell auftretende Bauablaufstörungen vorzubeugen. Schätzungen beruhen auf Erfahrungswerten und sind vom subjektiven Gefühl der Person abhängig. Hinsichtlich dieser Vorgehensweise können wesentliche Unterschiede zwischen Auftraggeber und Bieter, bezüglich der ermittelten Vorgangsdauern, auftreten.⁶²

Der zweite Faktor für den geringeren Detaillierungsgrad vor der Auftragsvergabe liegt in der Objektivität des Auftraggebers. Der Bauzeitplan, welcher von Auftragnehmerseite verfasst wird, sollte schon aufgrund der Objektivität zum Zeitpunkt der Ausschreibung noch nicht den Detaillierungsgrad der Detailplanung, welche nach Auftragserteilung dem Auftragnehmer obliegt, besitzen.

Auch der globalere Fokus des Auftraggebers, bzw. der für ihn wirkenden Projektsteuerer, sowie die zur Verfügung stehende Zeit sind Kriterien für den Detaillierungsgrad der Grobplanung und der daraus resultierenden ermittelten Bauzeiten.

Der Bauablaufplan sollte, trotz der zum Teil fehlenden Angaben und der erforderlichen Objektivität, ausreichend detailliert und die Vorgangsdau-

⁶² Vgl. EICHLER, D.: Bemessung der SOLL-Bauzeit. In: Das Problem Bauzeit - Festlegung, Dokumentation und Bewertung, Schriftenreihe des Instituts für Bauwirtschaft und Baubetrieb, Braunschweig, Heft 48/2009. S. 5.

ern angemessen kalkuliert sein, um den Bietern als Grundlage für die Erstellung eines realistischen und detaillierten Ablaufplanes zu dienen. Je detaillierter und ausführlicher eine Ausschreibung bezogen auf die Abläufe und die Bauzeit ist, desto weniger Unklarheiten bleiben für die Bieter, was eine detailliertere Kalkulation und eine realistischere Abschätzung der Verfahren, Ressourcen, Kapazitäten zur Folge hat. Zugleich wird der Spielraum der Bieter eingeschränkt und die Objektivität bezogen auf die möglichen Varianten nimmt ab.

Da die Bauzeit in den meisten Fällen vorgegeben ist, spielt die Ermittlung der Bauzeit seitens des/der Ausführenden eine untergeordnete Rolle. Eine weitere Möglichkeit ist, dass eine kurze Bauzeit ein Kriterium in Bestbieterverfahren darstellt, weshalb hier jedoch auch zumeist eine, im Sinne der Produktivität, optimale Bauzeit unterschritten wird. Somit wird im weiteren Verlauf der Arbeit die vorgegebene Bauzeit vorausgesetzt.

2.5.3 Einfluss der vorgegebenen Bauzeit auf die Auswahl der Verfahren

In der Angebotsphase wird vom Bieter zuerst eine Angebotskalkulation durchgeführt. Dieser noch nicht sehr detaillierten Kalkulation liegt ebenfalls eine Grobplanung zugrunde. Für die Grobplanung des Bieters werden neben der Recherche, den Projektunterlagen, der Strukturierung und der Mengenermittlung auch die in Frage kommenden Verfahren ausgewählt.

Bei der Auswahl der möglichen Verfahren spielen eine Vielzahl von Faktoren mit. Diese sollten sich allerdings aus dem Vertrag ableiten lassen. Solche Faktoren können beispielsweise sein:

- Massen (Größe, Fläche, Kubatur, Gewicht, Anzahl ...)
- Vorhandene Bauzeit (sehr kurz, kurz, normal, lang, sehr lang)
- Platzverhältnisse (Lagerflächen, Anzahl der Krane ...)
- Aufwands- und Leistungswerte
- Art und Komplexität des Gebäudes
- Geographische Umgebungsbedingungen
- Kulturelle Rahmenbedingungen
- Vorhandene Ressourcen und Kapazitäten
- Logistik auf und zur Baustelle
- Jahreszeiten

Die Auswahl der Verfahren kann beispielsweise über eine Entscheidungsmatrix erfolgen. Bezüglich der genauen Vorgehensweise bei der

Grobplanung und die Frage, wie die Verfahren bestmöglich ausgewählt werden, wird auf *Hofstadler*⁶³ verwiesen.

Ausgehend davon, dass ein oder mehrere Verfahren zur Auswahl stehen, wird dieses bzw. werden diese einer genaueren Betrachtung unterzogen und die Entscheidungsmatrix erweitert.

Ein klassisches Beispiel für die oftmals untergeordnete Bedeutung der Auswirkung der vorhandenen Bauzeit auf die Produktivität sind die vorhandenen Platzverhältnisse. Die Steigerung des Ressourceneinsatzes der Auftragnehmer, speziell in Bezug auf die Anzahl an Arbeitskräften und Geräten, beschreibt aus einer Vielzahl an Gründen einen eher progressiven und keinen linearen Verlauf.

Im Folgenden wird ein Bauablauf mit verschiedenen Bedingungen mit den dazugehörigen Auswirkungen und dem Einfluss der Bauzeit beschrieben.

Ausgehend davon, dass aufgrund von beengten Platzverhältnissen oder aufgrund der Bauwerksgeometrie nicht genügend Krane vorhanden sind, ist die produktive Anzahl an Arbeitskräften zuerst über die vorhandene Anzahl an Kranen limitiert. Somit wird über die Platzverhältnisse und die daraus resultierende Anzahl der leistungsbestimmenden Geräte die optimal produktive Leistung bestimmt. Dementsprechend sollte, um einen optimalen Einsatz der Produktionsfaktoren zu erreichen, die Bauzeit entsprechend der Leistungsfähigkeit angepasst werden.

Wenn die Bauzeit kürzer ist als die über die leistungsbestimmenden Geräte vorgegebene Bauzeit, muss der Ressourceneinsatz angepasst werden. Dabei wird vermehrt auf kranunabhängige Verfahren umgestellt sowie der Einsatz an Arbeitskräften erhöht. Allerdings ist hierbei zu beachten, dass diese Steigerung an Arbeitskräften nur bedingt möglich ist und wiederum keinen linearen Verlauf darstellt. Platzverhältnisse, Arbeitsgruppengrößen, nicht kontinuierlicher Arbeitsfluss und andere Faktoren müssen diesbezüglich berücksichtigt werden.

Sind beispielsweise die leistungsbestimmenden Geräte stets ausgelastet, durch zusätzlichen Ressourceneinsatz (Arbeitskräfte) werden die Platzverhältnisse weiter verringert und die logistischen Abläufe auf der Baustelle überschneiden sich auf mehreren Ebenen. Dadurch wird die Komplexität bezogen auf die Organisation und die Ablaufplanung des Projektes erheblich gesteigert. In weiterer Folge haben Änderungen im Bauablauf wahrscheinlich einen negativen Einfluss auf die Produktionsfaktoren.

⁶³ Vgl. HOFSTADLER, C.: Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb

Ist die kurze Bauzeit nicht weiter über andere Verfahren zu kompensieren, sondern kann nur noch über einen gesteigerten Ressourceneinsatz erreicht werden, weist ein solches Projekt schon vor Beginn der Ausführungsarbeiten keine optimale Abstimmung der Produktionsfaktoren auf. Aufgrund der bereits ausgelasteten und nicht optimal abgestimmten Produktionsfaktoren können Abweichungen vom geplanten Bauablauf wesentlich intensivere und weitreichendere Auswirkungen auf Grund von Produktivitätsverlusten aufweisen.

Neben der Auswahl der Verfahren, hat auch die Anzahl der Fertigungsabschnitte im Stahlbetonbau einen wesentlichen Einfluss auf die Produktivität und die Herstellkosten. Die optimale Anzahl der Fertigungsabschnitte ergibt sich neben Form und Fläche auch über die Art der Fertigung. Diesbezüglich kann zwischen Fließ- und Taktfertigung unterschieden werden. Die Anzahl und dadurch auch die Größe der Fertigungsabschnitte stehen über den vorhandenen Mindestarbeitsraum in einer direkten Wechselbeziehung zueinander. Hier wird auf den entsprechenden Abschnitt 4.2.4 verwiesen.

Der Unterschied zwischen Fließ- und Taktfertigung ist, bezogen auf die benötigte Zeit, wesentlich. Bei einer Taktfertigung werden von einer Kolonne – wieder am Beispiel von Bewehrungsarbeiten – die Arbeiten Schalen, Bewehren und Betonieren ausgeführt und bei Beendigung der letzten Arbeit wird in dieser Arbeitsfolge in den nächsten Abschnitt gewechselt.

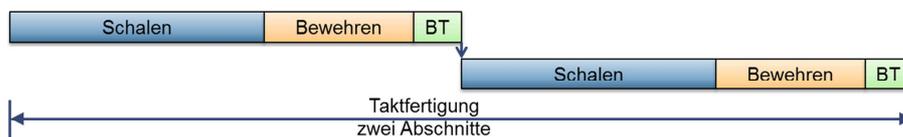


Abbildung 2-5: Prinzip der Taktfertigung

Das Prinzip der Taktfertigung ist in Abbildung 2-5 dargestellt. Bei dieser schematischen Darstellung wird davon ausgegangen, dass ausreichend Schalungs- und Rüstzeug vorhanden ist, weshalb auf die Ausschulfristen nicht weiter eingegangen wird. Die Taktfertigung wird hauptsächlich noch bei kleineren Bauvorhaben oder bei kleinen untergeordneten Bauteilen angewendet.

Bei größeren Bauvorhaben mit ausreichend großen Bauteilabmessungen bietet sich eine Fließfertigung an. Wie aus Abbildung 2-6 ersichtlich ist, wechseln die Arbeitskräfte der Schalarbeiten nach der Beendigung dieser wieder zu den Schalarbeiten im neuen Abschnitt. Der Betoniervorgang dauert verhältnismäßig kurz, weshalb Betoniervorgänge vermehrt zusammengelegt werden und gemeinsam durchgeführt werden.

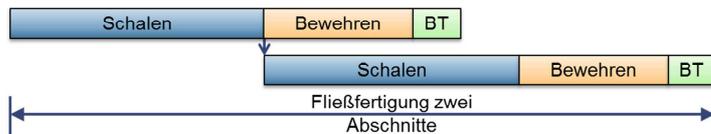


Abbildung 2-6: Prinzip der Fließfertigung

Ein weiterer Grund für die Fließfertigung ist die häufige Auslagerung der Bewehrungsarbeiten an Drittfirmen. Diese Subunternehmer arbeiten zumeist auf Akkord, was einer der Gründe für die schnelle Verlegung der Bewehrungsarbeiten ist. In der Fließfertigung werden die Arbeiten Schalen, Bewehren und Betonieren von jeweils anderen Parteien ausgeführt, die wiederum nach Beendigung ihrer Arbeit in den neuen Abschnitt wechseln.

Wenn nun die beiden Abbildungen miteinander verglichen werden und davon ausgegangen wird, dass dies nicht nur für zwei oder drei Abschnitte so geplant ist, sondern zehn, zwanzig oder dreißig Abläufe parallel laufen, kann auf den logistischen und bauablauftechnischen Mehraufwand der Fließfertigung geschlossen werden. Die Abläufe untereinander müssen besser aufeinander abgestimmt werden. Ein wesentlicher Vorteil der Fließfertigung ist der größere Einarbeitungseffekt, welcher sich positiv auf die Produktivität auswirkt.

Die Anzahl und Einteilung der Fertigungsabschnitte hängen auch von den vorhandenen Lagerbedingungen und den Vorhaltemengen ab. Durch die Ausschaltfristen – welche technologisch bedingt sind – kann das verwendete Schalsystem nicht gleich umgesetzt werden. Aufgrund dessen haben kleinere Fertigungsabschnitte auch kleinere Vorhaltemengen zur Folge, was wiederum die gebundenen Kosten des Projektes senkt. Die optimale Fertigungsabschnittsgröße wird nach unten über den Mindestarbeitsraum begrenzt und nach oben hin über die eben genannten Vorhaltemengen und Lagerflächen.

An dieser Stelle sollte auch noch erwähnt werden, dass eine On-Time oder auch Just-In-Time An- und Ablieferung von Betriebsmitteln und Werkstoffen bei beengten Baustellenbedingungen große Vorteile hat. Aus diesem Grund ist die Baustellenkoordination sowie eine durchdachte Baustellenlogistik sowie – falls nötig – die Planung eines übergeordneten Verkehrsnetzes von hoher Bedeutung. Dies sollte der Auftraggeber vor der Ausschreibung durchdenken und den Ausschreibungsunterlagen beilegen.

Diese beiden Beispiele zur Auswahl des Verfahrens sowie der Einteilung der Fertigungsabschnitte mit den erläuterten daraus folgenden möglichen Auswirkungen sollen den Einfluss der vom Auftraggeber vorgegebenen Bauzeit für die Bieter aufzeigen.

Der produktive Einsatz der Produktionsfaktoren und somit eine adäquate Bauzeit sollten auch schon in der Angebotsphase seitens des Auftrag-

gebers und weiter in der Angebotskalkulation seitens der Bieter berücksichtigt werden. Um einen produktiven Einsatz der elementaren und dispositiven Produktionsfaktoren zu gewährleisten, ist eine gründliche Planung und Organisation des Bauablaufes erforderlich.

Die Tatsache, dass zumeist an der Planung und Vorbereitung der Bauabläufe gespart wird, ist kontraproduktiv und wirkt sich stark negativ auf die Produktivität und die Leistungsfähigkeit aus.

2.5.4 Einfluss der vorgegebenen Bauzeit auf die Produktivität

Aufbauend auf die – vom Auftraggeber – kalkulierten Vorgangsdauern, Abhängigkeiten und der daraus resultierenden Bauzeit, ermitteln die Bieter das produktivste Verfahren bzw. den produktivsten Ablauf. Grundlage für den produktivsten Einsatz sind die vorhandenen Ressourcen und die zur Verfügung stehenden Kapazitäten. Je nach zur Verfügung stehender Bauzeit sind mehr oder weniger Ressourcen und Kapazitäten erforderlich, können unterschiedliche Verfahren eingesetzt werden und andere Aufträge angenommen werden oder nicht.

Respektive hat die für das Angebot ermittelte Bauzeit einen Einfluss auf die Produktionsfaktoren und folglich auf die kalkulierte Produktivität für das Projekt und den gesamten Betrieb der Bieter.

Je produktiver die Ressourcen und die Produktionsfaktoren eingesetzt werden, desto optimierter und kürzer ist die benötigte Zeit für die Realisierung eines Projektes. Dabei gibt es für jedes Projekt einen optimalen Einsatz der Produktionsfaktoren, welche sich in der Produktivität widerspiegeln. Grund für die Reduktion der Produktivität können beispielsweise neben den zuvor bereits erwähnten zu geringen Platzverhältnissen und nicht optimalen Arbeitsgruppengrößen auch Witterungseinflüsse, häufiges Umsetzen, Verlust des Einarbeitungseffektes, Überstunden, Schichtbetrieb oder andere Faktoren sein. Auf diese und weitere produktivitätsmindernden Faktoren wird im Abschnitt 4.2 detailliert eingegangen.

Die optimale Abstimmung der Produktionsfaktoren hängt wesentlich mit der vorhandenen Bauzeit zusammen. Ist diese vorgegeben, passen sich die Bieter über eine „Rückwärtsrechnung“ dieser Bauzeit an. Die Rückwärtsrechnung erfolgt über die vorhandene bzw. vorgegebene Dauer des Ablaufes und die dafür benötigte Leistung. Bezogen auf die Vorgangsdauern sind hier je nach Detaillierungsgrad der vorhandenen Unterlagen mehr oder weniger Unklarheiten, aber auch mehr oder weniger Freiheiten gegeben.

Die Leistung wird über den Aufwandswert, die Arbeitszeit und die Anzahl an Arbeitskräften bzw. Anzahl an eingesetzten Geräten bestimmt. Der Aufwandswert ist bekanntlich unter anderem vom Verfahren und den Rahmenbedingungen abhängig.

Respektive wird dadurch das zum Einsatz kommende Verfahren, die Arbeitszeit und die Anzahl der Arbeitskräfte oder Geräte über die vorgegebene Dauer bestimmt.

Da aufgrund von Einflussfaktoren wie zum Beispiel dem Aufwandswert Produktivitätsverluste sowohl bei zu kurzer als auch bei zu langer Ausführungsdauer auftreten können, ist die Bauzeit einerseits ausreichend und andererseits nicht zu lange anzusetzen. Dementsprechend ist, um den produktivsten Einsatz der Produktionsfaktoren gewährleisten zu können, eine optimale Bauzeit erforderlich. Der Begriff der „optimalen Bauzeit“ ist allerdings relativ zu sehen, da dieser wiederum von einer Vielzahl von Faktoren (verwendetes Verfahren, Witterung ...) abhängt und es nicht nur eine einzige optimale Bauzeit gibt. Dieser Prozess ist mehr iterativ zu sehen.

Da die Bauzeit zumeist vorgegeben ist, kann diese während der Angebotsphase als feste Konstante erachtet werden. Es können im Zuge der Auftragsverhandlungen und der nach Beauftragung des Auftragnehmers stattfindenden Auftragskalkulation diverse Unterschiede in der Bauzeitermittlung auftreten. Dahingehend können seitens des Auftraggebers noch Optimierungen und Anpassungen vorgenommen und akzeptiert werden. Diese Kalkulation – auch Urkalkulation genannt – stellt die Basis der Bauausführung dar.

Diese Urkalkulation ist, in Bezug auf die Bauzeit, das zu erbringende Soll. Abweichungen aufgrund von Produktivitätsverlusten, daraus resultierende Bauzeitverlängerungen oder Bauzeitverkürzungen aufgrund von Produktivitätssteigerungen werden mit dieser Basis verglichen und gegenübergestellt.

2.5.4.1 Differenzierung zwischen Herstellkosten und Gesamtkosten

Die Kosten eines Bauvorhabens sind naturgemäß wesentlich mit der Bauzeit verknüpft. Hierbei ist zwischen den Herstell- oder reinen Baukosten, den Grundstücks- und Finanzierungskosten, den Mietmehr- und Mietmindereinnahmen sowie den gesamten Bauwerkskosten zu unterscheiden. *Girmscheid* unterscheidet beispielsweise die Gesamtkostenbetrachtung wie folgt:

- *Baukosten, bezogen auf die optimale Bauzeit,*
- *Kosten zur Beschleunigung der Bauausführung,*
- *Kapitalkosten und*
- *den Miet- bzw. Produktionseinnahmen.*⁶⁴

⁶⁴ GIRMSCHIED, G.: Projektentwicklung in der Bauwirtschaft - Wege zur Win-Win-Situation für Auftraggeber und Auftragnehmer. S. 10.

Weiters erläutert er, dass es eine optimale Bauzeit gibt, welche ein Minimum an Herstellkosten erfordert. Bei Unterschreitung dieser optimalen Bauzeit, wozu Beschleunigungsmaßnahmen benötigt werden, erhöhen sich auch die Kosten für die Erstellung des Bauwerks. Den steigenden Herstellkosten aufgrund von erhöhtem Ressourceneinsatz sind die früheren Miet- bzw. Nutzungseinnahmen mit dem Effekt der früheren Einnahmengenerierung gegenüberzustellen. Werden nun die erhöhten Herstellkosten und die früheren Nutzungseinnahmen überlagert, erhält man die Gesamtkosten des Bauwerks.⁶⁵

Die folgende Grafik, ebenfalls von *Girmscheid*, stellt die zuvor genannten Kosten mit der dazugehörigen Überlagerung eines Gewerbebaus dar.

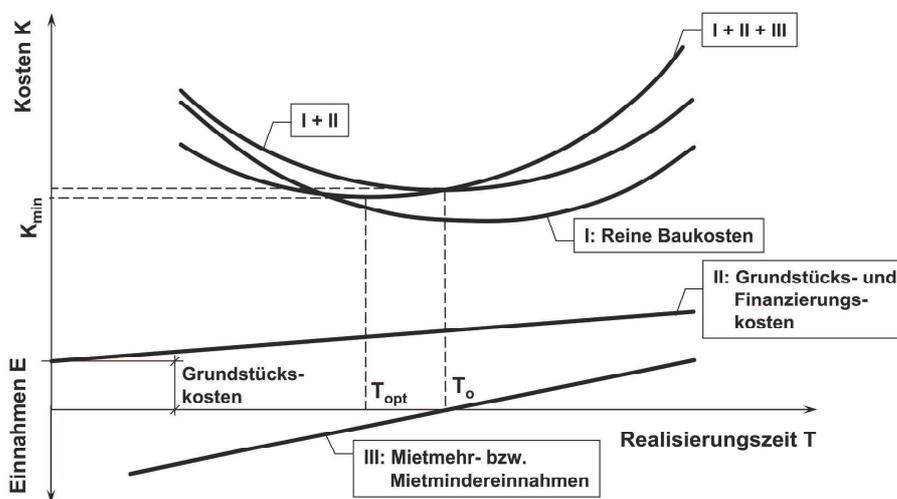


Abbildung 2-7: Entwicklung der Kosten eines Bauprojektes abhängig von der Bauzeit⁶⁶

In Abbildung 2-7 sind die geringeren Gesamtkosten (K_{\min}) aufgrund der verkürzten Bauzeit (T_{opt}) zu erkennen. Weiters ist zu erkennen, dass bei einer weiteren Beschleunigung dieser Maßnahme die Herstellungskosten stark ansteigen, was wiederum die Gesamtkosten steigen lässt.

Da die Gesamtkosten stark von den Finanzierungsmethoden und der Marktsituation abhängig sind und sich der Einfluss der Gesamtkosten im Wesentlichen über die daraus, zumeist reduzierte Bauzeit bemerkbar macht, werden im weiteren Verlauf hauptsächlich die Herstellkosten des Bauwerks herangezogen.

⁶⁵ Vgl. GIRMSCHIED, G.: Projektentwicklung in der Bauwirtschaft - Wege zur Win-Win-Situation für Auftraggeber und Auftragnehmer. S. 10f.

⁶⁶ GIRMSCHIED, G.: Projektentwicklung in der Bauwirtschaft - Wege zur Win-Win-Situation für Auftraggeber und Auftragnehmer. S. 11.

2.5.4.2 Die optimale Bauzeit

Der Begriff der optimalen Bauzeit bzw. das Adjektiv optimal beziehen sich hier auf die optimale Abstimmung der Produktionsfaktoren und dadurch auch der Produktivität und der Herstellkosten.

Dabei definiert sich ein optimaler Einsatz durch das Minimalprinzip der Ökonomie, was einen minimalen Einsatz an Ressourcen bei maximalem Ertrag bedeutet. Diesbezüglich wird die optimale Bauzeit aus der herzustellenden Menge bzw. den Massen und der Leistung, welche sich über den optimalen Einsatz der Produktionsfaktoren ergibt, bestimmt. Durch den Charakter der Einzelstückfertigung muss die optimale Bauzeit für jedes Projekt neu ermittelt werden.

Der Begriff der optimalen Bauzeit wird schon von *Bauer* bzw. von *Drees/Spranz* verwendet.

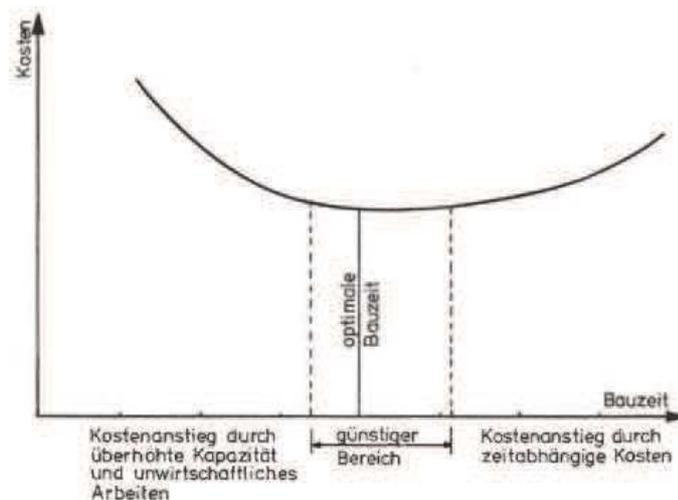


Abbildung 2-8: Zusammenhang Bauzeit und Kosten nach Drees/Spranz⁶⁷

Die Grafik von *Drees/Spranz* zeigt den Zusammenhang der Bauzeit und der Kosten, wobei unter Kosten die Herstellkosten zu verstehen sind. Wie aus der Abbildung 2-8 ersichtlich ist, nehmen die Herstellkosten bei einer Bauzeit, die unter der optimalen Bauzeit liegt, aufgrund von produktivitätsmindernden Faktoren zu. Darüber hinaus steigen bei einer Überschreitung der optimalen Bauzeit die Herstellkosten, was sich laut *Bauer*⁶⁸ auf die zeitgebundenen Baustellengemeinkosten zurückführen lässt.

Auch *Girmscheid* hat den Einfluss der Bauzeit sowie der Kosten und die Wechselwirkung dieser beiden Parameter untersucht. Dabei hat er eine

⁶⁷Drees, G., Spranz, D.: Handbuch der Arbeitsvorbereitung in Bauunternehmen. 154.

⁶⁸Vgl. BAUER, H.: Baubetrieb 2. S. 630.

Kostenfunktion entwickelt, welche die Wirkung von Beschleunigungs- und Verzögerungsmaßnahmen auf die Bauzeit beschreibt. In dieser Funktion werden die bei einer Forcierung auftretenden erhöhten Schnittstellenproblematiken, der intensivere Arbeitsvorbereitungsaufwand sowie die erhöhten Kosten für Mobilisierung von Arbeitskräften und Betriebsmitteln miteinbezogen, wobei trotz der verkürzten Bauzeit die erhöhten Aufwendungen die reduzierten Baustellengemeinkosten übersteigen. Im Falle einer Verzögerung sind Verluste durch Verlangsamung sowie Verluste durch den Einarbeitungseffekt ebenfalls in der Funktion berücksichtigt.⁶⁹

Das Ergebnis der Einwirkung von Beschleunigungs- und Verzögerungsmaßnahmen auf die Herstellkosten bezogen auf die geplante Bauzeit T_0 und die Basiskosten $K_{\text{Bau},0}$ sind in der folgenden Abbildung 2-9 dargestellt.

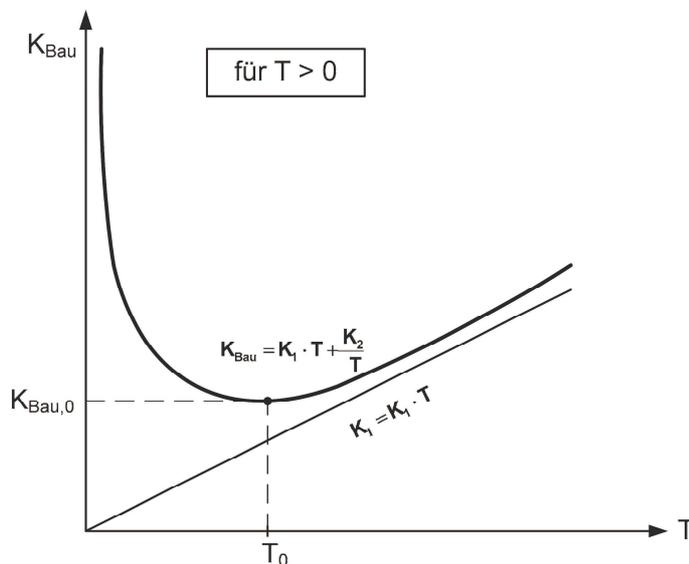


Abbildung 2-9: Einfluss der Beschleunigungs- und der Verzögerungsmaßnahmen in Abhängigkeit der Bauzeit auf die Herstellkosten nach *Girmscheid*⁷⁰

Weiters variiert *Girmscheid* die Parameter der Herstellkosten sowie der Bauzeit und stellt diese in Abbildung 2-10 gegenüber. Darin sind das Kostenminimum K_0 sowie drei demonstrative Kostenfunktionen in Abhängigkeit von der Basisbauzeit T_0 dargestellt. Für eine detaillierte Erläuterung und die Ermittlung der Kostenfunktion wird auf das zitierte Buch von *Girmscheid* verwiesen.

⁶⁹Vgl. GIRMSCHIED, G.: Projektentwicklung in der Bauwirtschaft - Wege zur Win-Win-Situation für Auftraggeber und Auftragnehmer. S. 12.

⁷⁰GIRMSCHIED, G.: Projektentwicklung in der Bauwirtschaft - Wege zur Win-Win-Situation für Auftraggeber und Auftragnehmer. S. 13.

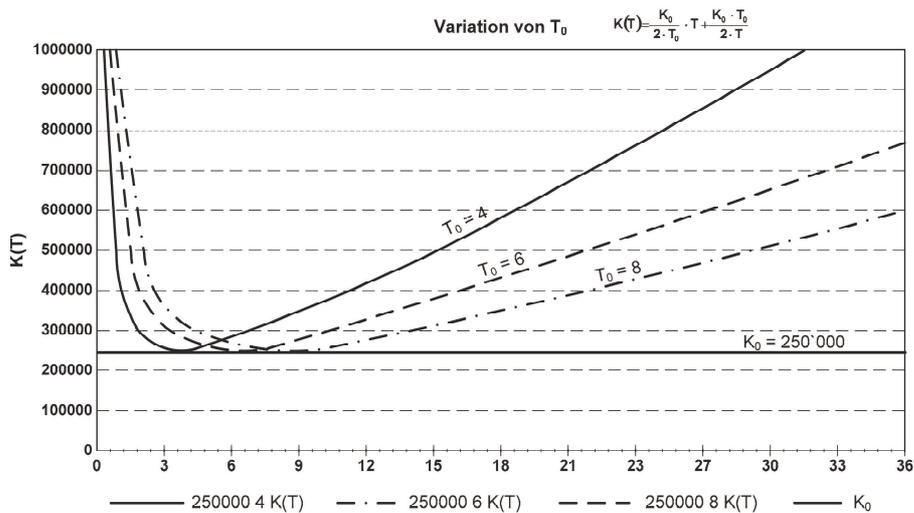


Abbildung 2-10: Gegenüberstellung des Einflusses der Beschleunigungs- und Verzögerungsmaßnahmen nach *Girmscheid* bei Variation der Parameter⁷¹

Betrachtet man nun die reinen Herstellkosten des Bauwerks in der Abbildung 2-10 von *Girmscheid* und Abbildung 2-8 von *Drees/Spranz* ist zu erkennen, dass sich die Herstellkosten auf Seiten der kürzeren Bauzeit – ausgehend vom Scheitelpunkt der Kurve – steiler ansteigen (bezogen auf die länger werdende Bauzeit). Der Unterschied der beiden Darstellungen liegt im Wesentlichen darin, dass *Girmscheid* von einer vorgegebenen Bauzeit ausgeht und diese variiert, während *Drees/Spranz* von einer optimalen Bauzeit ausgehen.

Die wesentlich steilere Kurve in Abbildung 2-10 ist entweder auf die bereits kurze Bauzeit zurückzuführen oder darauf, dass *Girmscheid* den Einfluss der Produktivitätsverluste als entsprechend stark wertet.

*Hofstadler*⁷² hat zum Thema Entwicklung der Herstellkosten und der Produktivität in Abhängigkeit der Bauzeit Abbildung 2-11 entwickelt. Darin ist qualitativ der Einfluss der Bauzeit auf die Herstellkosten ersichtlich. Zusätzlich zu den vorher angeführten Grafiken verknüpft *Hofstadler* den Einfluss direkt mit der Produktivität.

⁷¹ GIRMSCHIED, G.: Projektentwicklung in der Bauwirtschaft - Wege zur Win-Win-Situation für Auftraggeber und Auftragnehmer. S. 16.

⁷² Vgl. HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste.

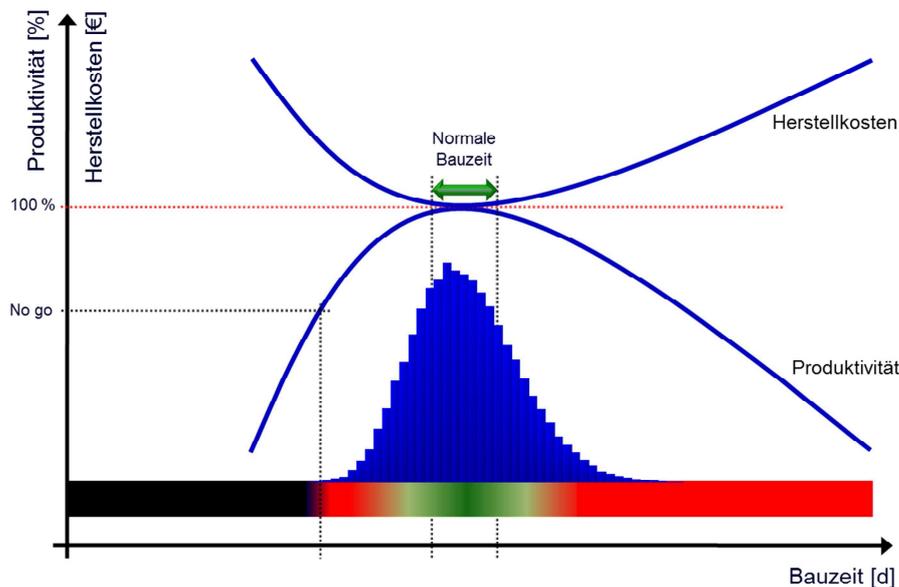


Abbildung 2-11: Produktivität und Herstellkosten in Abhängigkeit der Bauzeit⁷³

Ferner ist der Abbildung 2-11 zu entnehmen, dass ausgehend von einer optimalen Abstimmung der Produktionsfaktoren und der daraus resultierenden 100%-igen Produktivität in Abhängigkeit des Faktors Zeit, die Produktivität und die Herstellkosten bei kürzer werdender Bauzeit steiler zu- bzw. abnehmen als bei länger werdender Bauzeit. Dies untermauert den Umstand, dass eine kürzer werdende Bauzeit, bezogen auf Produktivitätsverluste und die Herstellkosten, markantere Auswirkungen haben kann als eine länger werdende Bauzeit. Zusätzlich ist die entsprechende Eintrittswahrscheinlichkeitsverteilung in der Grafik integriert, woraus die Risikoverteilung abgeleitet werden kann. Das bedeutet, dass bei einer festgelegten Vertragsbauzeit, welche von einer normalen Bauzeit abweicht, das Risiko des nicht Eintretens der kalkulierten Produktivität steigt. Um aufgrund des erhöhten Risikos von Produktivitätsverlusten und anfallenden Mehrkosten infolge einer Aggregation dieser Produktivitätsverluste, können die Bieter beispielsweise mit einem erhöhten Wagniszuschlag reagieren oder sie erhöhen die Einheitspreise diverser, mehr oder weniger betroffener Leistungen, um den Mehrkosten entgegenzuwirken.

Zusätzlich zur qualitativen Darstellung wurden von *Hofstadler*⁷⁴ Expertenbefragungen durchgeführt, welche seine Annahmen untermauern. Für die genauen Details dieser Befragung und die detaillierten Ergebnisse wird auf das zitierte Buch verwiesen.

⁷³ HOFSTADLER, C.; KUMMER, M.: Systematischer Umgang mit Produktivitätsrisiken in der Auftragskalkulation. In: 12. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium - Risiken im Bauvertrag - baubetriebliche, bauwirtschaftliche und rechtliche Aspekte, 1. Auflage/2014. S. 60.

⁷⁴ HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste.

Mit einer nicht auskömmlichen oder nicht optimalen Bauzeit kann, je nach Grad der Abweichung vom „normalen Niveau“, das Spekulationsverhalten unterstützt werden. Durch das erhöhte Risiko des Auftretens von Produktivitätsverlusten wollen sich die Bieter aus monetärer Sicht absichern und suchen vermehrt nach Lücken in der Ausschreibung, die sie zu ihren Gunsten nutzen können.

2.5.4.3 Einteilung der Bauzeit

Um die Begrifflichkeiten bezüglich der Dauer einer Bauzeit besser einteilen und unterscheiden zu können werden im Folgenden die Definitionen nach *Hofstadler* diesbezüglich angeführt. Die Begrifflichkeiten beziehen sich auf die Bauzeit, welche so festgelegt ist, dass der Maximalwert der produktiv einsetzbaren Ressourcen um den jeweiligen Prozentsatz über- bzw. unterschritten wird bzw. dem Maximalwert entspricht.⁷⁵

- Extrem kurze Bauzeit:
Überschreitung um **20%**
- sehr kurze Bauzeit
Überschreitung um **10%**
- kurze Bauzeit
Stellen die **Maximalwerte** dar
- normale Bauzeit:
Unterschreitung um 10%
- lange Bauzeit:
Unterschreitung um 25%

Um die erläuterte Unterteilung der Bauzeit grafisch zu verdeutlichen, wurde diese in Abbildung 2-12 bildlich dargestellt. Dabei erfolgt die Unterteilung der Bauzeit in Abhängigkeit der prozentualen Über- bzw. Unterschreitung des Ressourceneinsatzes. Der produktive Ressourceneinsatz kann sich dabei beispielsweise über die Anzahl der (möglichen) Krane und der daraus resultierenden maximal produktiv einsetzbaren Arbeitskräfte ableiten lassen.



Abbildung 2-12: Unterteilung der Bauzeit abhängig vom Ressourceneinsatz

⁷⁵ Vgl. HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 57.

2.5.5 Gründe für eine verkürzte Bauzeit

Der Einfluss der zeitgebundenen Baustellengemeinkosten ist nicht zu vernachlässigen. Ein zusätzlicher Grund sind die steigenden Lohnkosten, welche einen größer werdenden Rationalisierungsgrad und dadurch gesteigerte Produktivität und eine kürzere Bauzeit – sofern diese technologisch und menschlich möglich sind – zur Folge haben. Darüber hinaus treten auch bei einer zu langen Bauzeit Produktivitätsverluste auf.

Allerdings wird der Hauptgrund für eine verkürzte Bauzeit jener sein, dass die Bauzeit saisonal bedingt kurz ist, oder die Investitionskosten durch frühzeitige Mieteinnahmen bzw. Nutzungskosten oder Produktionseinnahmen reduziert werden können. Die Reduktion der Investitionskosten erfolgt aufgrund der verkürzten Zinszeiten und der früheren Generierung von Einnahmen.⁷⁶

2.5.6 Steigender Rationalisierungsgrad

Diese Rationalisierung ist jedoch an technologische und menschliche Grenzen gebunden. Die technologischen und menschlichen Grenzen gilt es weiter zu erforschen und – speziell die menschlichen Grenzen – anzuerkennen. Die Umstände der Leistungserbringung eines Bauwerks in der freien Natur sind wesentlich anders als beispielsweise in einer Werkstätte zur Serienfertigung von Fahrzeugen oder anderen Fertigungsstätten mit mehr oder weniger Serienfertigungscharakter und kontrollierbaren Umgebungsbedingungen. Die immer wechselnden Faktoren wie die unterschiedlichsten Kombinationen der Arbeitsabläufe, die ständig wechselnden Rahmenbedingungen und die Witterungsbeständigkeit der Betriebsmittel stellen variable und ungünstige Einflussfaktoren dar, weshalb eine Produktivitätssteigerung im Bauwesen vielen Freiheitsgraden ausgesetzt ist. Ein neuer Ablauf, ein neues Verfahren oder eine andere Umstellung zur Steigerung der Produktivität muss neben der Robustheit eine hohe Flexibilität und Anpassungsfähigkeit aufweisen. Diese Flexibilität und Fähigkeit auf wechselnde Bedingungen reagieren zu können, wird meist durch den „Faktor Mensch“ erreicht. Ein gut eingespieltes Team, qualifiziertes und gut ausgebildetes Personal, welches den Umgang mit den Geräten und Maschinen richtig einzusetzen und anzuwenden weiß, kann und sollte nicht rationalisiert werden.

Deshalb ist eine technologische Rationalisierung durchaus sinnvoll, solange sie die Arbeitskräfte bei der Ausführung unterstützen und die Freiheitsgrade durch das qualifizierte Personal erhalten bleiben.

⁷⁶ GIRMSCHIED, G.: Projektentwicklung in der Bauwirtschaft - Wege zur Win-Win-Situation für Auftraggeber und Auftragnehmer. S.

Da Bauwerke immer noch von Menschen geplant und auch von Menschen errichtet werden, sollte diesen auch eine gewisse Anerkennung zugutekommen. Es sollten dem „Faktor Mensch“ gewisse Spielräume und Freiheiten gelassen werden, um erstens auf die wechselnden Bedingungen besser eingehen zu können und zweitens nicht das Gerät bestimmen zu lassen, was gemacht wird, sondern die Arbeitskraft.

2.5.7 Folgen einer verkürzten Bauzeit

Bei der Ermittlung der optimalen Bauzeit und der dafür idealen Produktionsfaktoren fließt eine Vielzahl an Faktoren mit ein. Wenn nun eine Bauzeit nicht die erforderliche Dauer aufweist, müssen die Arbeitsabläufe optimiert und der Parallelisierungsgrad erhöht werden. Das bedeutet, dass sich Vorgänge häufiger und intensiver überschneiden.

Infolge der zunehmenden Überschneidung der Vorgänge steigt das Risiko von gegenseitiger Beeinträchtigung und Behinderung. In diesem Zusammenhang nehmen auch Störungsanfälligkeit und eine daraus resultierende Störungsintensität über die Aggregation der Ein- bzw. Auswirkung zu. Ein Kriterium für Störungsanfälligkeit ist die Bauzeit, welche wiederum indirekt in andere Kriterien der Störungsanfälligkeit mit einfließt.

Je störungsanfälliger ein Bauvorhaben ist, desto intensiver sind auch die Auswirkungen einer Störung. Hierbei wird der Begriff der Störung nicht im Sinne der ÖNORM B 2110 verwendet, sondern als einfache Soll-Ist-Abweichung unabhängig der Sphäre des Verursachers.

Auf das Thema der Störungsanfälligkeit sowie der Störungsintensität wird in Abschnitt 4.4.4 detaillierter eingegangen. Dabei wird auch auf die Auswirkungen in Bezug auf die Bauzeit eingegangen.

2.6 Sinnähnliche Begriffe zu Produktivität

In diesem Abschnitt werden Begriffe erörtert, welche oft in Zusammenhang mit der Produktivität gebracht werden. Speziell die Abgrenzung der Begriffe Effizienz, Effektivität, Wirtschaftlichkeit und Rentabilität von der Produktivität wird als wichtig erachtet. Dahingehend werden diese erläutert und eine Gegenüberstellung durchgeführt. Darüber hinaus werden die Begriffe der Arbeit, Leistung und Leistungsfähigkeit genauer beschrieben.

2.6.1 Effizienz

Nach *Cantner et al* ist dieser Begriff von dem der Produktivität abzugrenzen. Effizienz wird verwendet, um allgemein die Ausnutzung zwischen

Ziel und Mitteleinsatz von Erträgen darzustellen. Dabei richtet sich die Effizienz an das Minimal- oder Maximalprinzip des ökonomischen Prinzips. Das bedeutet, dass die Produktivität auf einer anderen Betrachtungsebene steht und ein Teil des Effizienzkonzeptes bzw. eine spezifische inhaltliche Ausprägung von Effizienz ist.⁷⁷

Effizienz wird laut *Reister* als Maßstab der Wirtschaftlichkeit und somit der Kosten-Nutzen-Relation gesehen.⁷⁸ Dementsprechend kann der Begriff der Effizienz als ein der Produktivität übergeordneter Begriff interpretiert werden. Jedoch ist Effizienz nicht mit der Produktivität gleichzusetzen.

Die Begriffe Effizienz und Effektivität sind voneinander zu trennen. Dagegen wird im Folgenden der Begriff der Effektivität erläutert.

2.6.2 Effektivität

Reister definiert den Begriff der Effektivität wie folgt:

*Effektivität ist das Verhältnis von erreichtem Ziel zu definiertem Ziel.*⁷⁹

Weiters beschreibt *Reister*, dass ein Verhalten dann effektiv ist, wenn das Ziel, welches vorgegeben wurde, erreicht wird. Die Effektivität ist als Maßstab für die Zielerreichung in Form des Outputs anzusehen. Hingegen stellt die Effizienz einen Maßstab für die Wirtschaftlichkeit dar (Kosten-Nutzen-Beziehung).⁸⁰

Wird beispielsweise ein Bauvorhaben in einer kurzen Bauzeit realisiert, kann eine Verkürzung der Bauzeit (bezogen auf die normale Bauzeit) ausschließlich durch die Erhöhung der Arbeitskräfteanzahl erfolgen (Variante 1) oder neben der Erhöhung der Anzahl an Arbeitskräften weitere Optimierungen im Bauablauf und der Verfahren (kranunabhängige Bauverfahren, optimale Kolonnenbesetzung, qualifiziertes Personal etc.) vorgenommen werden (Variante 2). Infolge der ersten Variante werden gegenüber der zweiten Variante ohne zusätzliche Optimierungsmaßnahmen aufgrund der höheren Produktivitätsverlusten mehr Arbeitskräfte benötigt und respektive mehr Lohnstunden verbraucht. Wird davon ausgegangen, dass beide Varianten das Ziel (Fertigstellung an Tag XY) erreichen, ist – bezogen auf die Lohnstunden – die erste Variante durchaus effektiv, da der Fertigstellungstermin eingehalten wird, allerdings – gegenüber der zweiten Variante – nicht effizient, da der Lohnstundenverbrauch höher ist.

⁷⁷ Vgl. CANTNER, U.; KRÜGER, J.; HANUSCH, H.: Produktivitäts- und Effizienzanalysen. S. 3.

⁷⁸ Vgl. REISTER, D.: Nachträge im Bauvertrag. S. 470.

⁷⁹ REISTER, D.: Nachträge im Bauvertrag. S. 470.

⁸⁰ Vgl. REISTER, D.: Nachträge im Bauvertrag. S. 470.

Cantner et al definieren die Effektivität wie folgt:

*Effektivität misst den Grad der Zielerreichung, ohne die eingesetzten Mittel zur Verwirklichung der Ziele zu berücksichtigen.*⁸¹

Somit beschreibt die Effektivität den Quotienten aus erreichtem Produktionsergebnis zum vorhandenen Ziel.

2.6.3 Wirtschaftlichkeit

Gutenberg erläutert, dass das Prinzip der Wirtschaftlichkeit oder auch ökonomisches Prinzip bedeutet, eine Leistung mit dem geringstmöglichen Mitteleinsatz (Minimalprinzip) oder die größtmögliche Leistung mit den vorhandenen Mitteln (Maximalprinzip) zu erbringen. Es lässt sich nur nach dem Prinzip der Wirtschaftlichkeit vorgehen, wenn eine Auswahlmöglichkeit vorliegt. Setzt man die tatsächlich erreichte Aufwands- oder Kostensituation und die günstigste Aufwands- oder Kostensituation ins Verhältnis, dann ergibt sich die Wirtschaftlichkeit. Dabei ist zwischen gegebener Produktionsleistung und gegebenem Aufwand zu unterscheiden. Da die Wirtschaftlichkeit bezogen auf den Aufwand eine untergeordnete Rolle spielt, wird dieser meist vernachlässigt. Weiters erläutert *Gutenberg*, dass der Wirtschaftlichkeit der technisch-organisatorische Bereich des Betriebes zugrunde liegt und vom Begriff der Rentabilität abzugrenzen ist.⁸²

Im *Gabler Kompaktlexikon-Wirtschaft* wird die Wirtschaftlichkeit so beschrieben, dass bei einer wertmäßigen Betrachtung Aufwand und Ertrag oder Kosten und Erlös gegenübergestellt werden.⁸³

Somit kann die Wirtschaftlichkeit als Quotient aus wertmäßigem Output zu wertmäßigem Input verstanden werden.

2.6.4 Rentabilität

Bei der Berechnung der Rentabilität wird der Erfolg als absolute Größe in das Verhältnis mit einer Basisgröße wie beispielsweise das Eigenkapital, Gesamtkapital oder Umsatz gesetzt.⁸⁴

Erfolg ist dabei die Differenz zwischen wertmäßigem Ertrag und Aufwand. Der Aufwand ist so definiert, dass dieser den bewerteten Ver-

⁸¹ CANTNER, U.; KRÜGER, J.; HANUSCH, H.: Produktivitäts- und Effizienzanalysen. S. 3.

⁸² Vgl. GUTENBERG, E.: Einführung in die Betriebswirtschaftslehre. S. 31f.

⁸³ Vgl. GABLER: Kompakt-Lexikon Wirtschaft. S. 491.

⁸⁴ Vgl. WÖHE, G.; DÖRING, U.: Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. S. 39.

brauch von Gütern, Arbeits- und Dienstleistungen darstellt. Auch Abgaben, Gebühren und bestimmte Steuern sind Teil des Aufwandes.⁸⁵

2.6.5 Gegenüberstellung, Produktivität, Wirtschaftlichkeit, Rentabilität

Die Wirtschaftlichkeit eines Betriebes, einer Baustelle oder eines Bauabschnittes etc. kann in Bezugnahme von Kosten und Erlös bzw. von Aufwand und Ertrag ermittelt werden.

Dies muss sich jedoch nicht mit der Produktivität decken. Die Produktivität – im baubetrieblichen und bauwirtschaftlichen Sinn – ist unabhängig der Kosten oder des Erlöses sowie des Aufwandes (im betriebswirtschaftlichen Sinn) oder des Ertrages auf die Ergiebigkeit der ausgeführten Arbeit zu beziehen. Somit können Arbeiten mit einer geringeren Produktivität als kalkuliert trotzdem einen höheren Ertrag einbringen als Arbeiten mit einer gesteigerten Produktivität.

Veranschaulicht können die drei „Erfolgsmaßstäbe“ wie folgt gegenübergestellt werden.⁸⁶

$$\text{Produktivität} = \frac{\text{mengenmäßiger Output}}{\text{mengenmäßiger Input}} \quad (\text{Gl. 2-8})$$

$$\text{Wirtschaftlichkeit} = \frac{\text{wertmäßiger Output}}{\text{wertmäßiger Input}} \quad (\text{Gl. 2-9})$$

$$\text{Rentabilität} = \frac{\text{Erfolggröße}}{\text{Basisgröße}} \text{ z. B.: } \frac{\text{Gewinn}}{\text{Eigenkapital}} \quad (\text{Gl. 2-7})$$

2.6.6 Arbeit, Leistung, Leistungsfähigkeit

Der Begriff der Leistung wird vielseitig verwendet. Sowohl in der Betriebswirtschaftslehre als auch im Zivilrecht oder im Umsatzsteuerrecht. In der Betriebswirtschaft wird die Leistung als Ausbringungsmenge eines Produktionsprozesses verstanden. Es kann auch die *bewertete* Ausbringungsmenge als Leistung beschrieben werden.⁸⁷ Der in der Bauwirt-

⁸⁵ Vgl. GUTENBERG, E.: Einführung in die Betriebswirtschaftslehre. S. 32.

⁸⁶ WÖHE, G.; DÖRING, U.: Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. S. 38.

⁸⁷ Vgl. GABLER: Kompakt-Lexikon Wirtschaft. S. 275

schaft verwendete Begriff der Leistung ist von der Leistung, wie er in der Kostenrechnung verwendet wird, abzugrenzen.

Leistung ist in der Physik als verrichtete Arbeit oder aufgewendete Energie pro Zeiteinheit definiert, die Arbeit als Kraft mal Weg. In der Bauwirtschaft sind der Begriff der Leistung und der Arbeit eng miteinander verknüpft. Daraus ergibt sich, dass der im physikalischen Sinne tatsächlich zurückgelegte Weg und die dafür aufgewendete Kraft nur schwer erfassen lassen. Aus diesem Grund wird oft das Produktionsergebnis als verrichtete Arbeit bezeichnet. Die Begriffe Leistung und Arbeit werden in der Bauwirtschaft nicht über die Ausbringungsmenge definiert, sondern über den dafür aufgewendeten Einsatz.⁸⁸

Bei Verwendung der Begriffe Leistung, Leistungsfähigkeit oder auch Leistungswert kann, in Verbindung mit der Bauwirtschaft, eine maschinen- bzw. geräteintensive Tätigkeit interpretiert werden. Dies ist aber abhängig vom Autor. Jedoch impliziert die Leistung zumeist eine Kolonne, Partie oder ein soziotechnisches System, weshalb von der Leistung nicht direkt auf den Aufwand bzw. den Aufwandswert geschlossen werden kann.

In der englischen Literatur wird productivity oft als Teil der performance (Leistung) gesehen.

*It is important at the outset to make a distinction between performance and productivity. Performance as applied to on-site or associated activities is a broad inclusive term, encompassing four main elements, namely, productivity, safety, timeliness, and quality.*⁸⁹

Dies deckt sich nur zum Teil mit der zuvor genannten Erläuterung von Leistung. Im Gegensatz zur Leistung im deutschsprachigen Raum werden hier neben der Produktivität auch die Faktoren Sicherheit, Qualität und die zeitlichen Rahmenbedingungen berücksichtigt. Die Wertigkeit der Produktivität im angloamerikanischen Raum unterscheidet sich wesentlich von der des deutschsprachigen Raumes. Was sich allerdings deckt ist, dass auch im englischsprachigen Raum Leistung und Produktivität nicht dasselbe ist und Produktivität einen Einfluss auf die Leistung hat.

Lee ist der Auffassung, dass wenn der Begriff productivity im Bauprojekt verwendet wird, dieser sich sowohl auf labor and equipment productivity, übersetzt Arbeits- oder auch Geräteproduktivität, beziehen kann. Somit wird auch im angloamerikanischen Raum zwischen maschinen- und arbeitsintensiven Tätigkeiten unterschieden.⁹⁰

⁸⁸ Vgl. GREUNE, S.: Darlegung und Bewertung von multiplen Bauablaufstörungen. In: Schriftenreihe - Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft Technische Universität Braunschweig, Heft 55/2014, S. 7.

⁸⁹ OGLESBY, C. H.; PARKER, H. W.; HOWELL, G. A.: Productivity improvement in construction. S. 4.

⁹⁰ Vgl. LEE, S.: Understanding and Quantifying the Impact of Changes on Construction Labor Productivity: Integration of Productivity Factors and Quantification Methods. S. 4.

3 Produktivitätsabweichungen im Bauwesen

Nachdem die Produktivität sowie die dazugehörigen Produktionsfaktoren im Allgemeinen und in der Bauwirtschaft im vorigen Kapitel erläutert wurden, wird nun das Thema der Produktivitätsabweichungen, was sowohl Produktivitätsverluste als auch Produktivitätssteigerungen impliziert, erläutert. In diesem Kapitel werden speziell die Unterschiede des Produktionsprozesses im Bauwesen mit den Produktionsprozessen der stationären Industrie verglichen. Aufbauend auf diese Unterschiede werden die Ursachen und Gründe für baubetriebsspezifische Produktivitätsabweichungen erläutert.

Dahingehend werden neben der Definition und der Erörterung der Ursachen für Abweichungen in der Produktivität auch die Aufzählung und Separation zu sinnähnlichen bzw. sinngleichen Begriffen der Produktivitätsverluste sowie die Bedeutung des Begriffes der Störung und der Änderung vorgenommen.

3.1 Bedeutung der Produktivitätsabweichung

Die Produktivität stellt die Kennzahl zur Ergiebigkeit des Produktionsprozesses⁹¹ über den Quotienten von Output zu Input dar. Nach dem Minimalprinzip der Ökonomie steigt bei Produktivitätsverlusten (ΔPV) der Ressourceneinsatz bei gleichbleibendem Output oder bei gleichbleibendem Ressourceneinsatz sinkt der Output. Produktivitätssteigerungen (ΔPS) verhalten sich genau umgekehrt, was bedeutet, dass bei gleichbleibendem Output der Ressourceneinsatz sinkt bzw. bei gleichbleibendem Ressourceneinsatz der Output steigt.

Produktivitätsabweichungen können etwa anhand einer Gegenüberstellung von tatsächlichem zu geplantem Ressourceneinsatz ermittelt werden. Diese Gegenüberstellung kann über den Ressourceneinsatz – vorausgesetzt der Output bleibt gleich –, über den Aufwandswert, die erbrachte Leistung in Lohnstunden oder über die Produktivität erfolgen.

Vereinfacht können Produktivitätsabweichungen bei gleichbleibendem Output, wie folgt angeschrieben werden:

$$\Delta PV \text{ bzw. } \Delta PS = \pm \frac{\text{Ressourceneinsatz}_{\text{vorh}} - \text{Ressourceneinsatz}_{\text{gepl}}}{\text{Ressourceneinsatz}_{\text{gepl}}} \quad (\text{Gl. 3-1})$$

⁹¹ Vgl. HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 9.

Wird der Ressourceneinsatz bzw. der daraus resultierende Produktivitätsverlust über die erbrachte Leistung in Lohnstunden ermittelt, kann der Produktivitätsverlust, bezogen auf die Lohnstunden, nach l_{er}^{92} über folgende Formel ermittelt werden:

$$\Delta PV [\%] = \frac{L_{Std,IST} - L_{Std,SOLL}}{L_{Std,IST}} \cdot 100 [\%] \quad (\text{Gl. 3-2})$$

Produktivitätsverluste können in Prozent angegeben werden und stellen eine Abweichung zum geplanten Soll dar. Dabei wird das geplante Soll mit dem tatsächlich vorhandenen Ist verglichen. Ausgehend von einer Steigerung der Lohnstunden folgt über die Differenz von Ist minus Soll der resultierende Mehraufwand an Lohnstunden. Über das Verhältnis zum tatsächlichen Ist und der Multiplikation mit 100 % ergibt sich die Abweichung zum geplanten Soll in Prozent. Dabei stellt die Berechnung des Quotienten aus mathematischer Sicht keine Herausforderung dar. Die Ermittlung der Soll-Leistung sowie der Ist-Leistung ist aus bauwirtschaftlicher und baurechtlicher Sicht komplex.

Die Differenz zwischen der Soll- und der Ist-Leistung in Lohnstunden kann zum Beispiel auf eine kalkulatorische Fehleinschätzung, eine Änderung, eine Störung im Bauablauf oder auf eine Kombination aus diesen oder anderen Einwirkungen auf die Produktionsfaktoren zurückzuführen sein. Eine kalkulatorische Fehleinschätzung könnte beispielsweise darin begründet liegen, dass die Rahmenbedingungen bei der Kalkulation zu günstig angenommen wurden und die dadurch ermittelte Leistung nicht erbracht werden kann.

Reister beschreibt die Produktivitätsverluste auf Grund einer Störung im Bauablauf wie folgt:

*Treten Störungen im Bauablauf ein, entsteht eine Differenz zwischen der als normal angesehenen Arbeitsleistung (Normalleistung), die bei einem störungsfreien Bauablauf erbracht worden wäre und der tatsächlich vorhandenen Arbeitsleistung.*⁹³

Bei der Ermittlung von Produktivitätssteigerungen wird nach demselben Prinzip vorgegangen. Dabei erhöht sich der Output bei gleichbleibendem Ressourceneinsatz und beim Vergleich zwischen geplantem und tatsächlichem Ressourceneinsatz erweist sich der tatsächliche als geringer als der geplante. Wird beispielsweise der Aufwand in der Kalkulation zu hoch eingeschätzt, treten diesbezüglich Produktivitätssteigerungen – bei gleichbleibendem Ressourceneinsatz – auf, da sich dies durch eine geringere Ist-Leistung in Lohnstunden bemerkbar macht. Kalkulatorische Produktivitätssteigerungen/-verluste können beispielsweise aus einer unzureichenden Beschreibung der Leistung durch den Auftraggeber,

⁹² HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 62.

⁹³ REISTER, D.: Nachträge im Bauvertrag. S. 470.

einer Nichtbeachtung der beschriebenen Leistung oder einer Fehleinschätzung bei der Angebots- und/oder Auftragskalkulation der Bieter bzw. des Auftragnehmers entstehen.

Für die Ermittlung von Produktivitätsabweichungen muss zuerst eine Basis geschaffen werden. Hierzu muss zwischen der vertraglichen Basis und der Basis der optimalen Produktionsfaktoren unterschieden werden. Im Bauwesen wird das vertraglich Festgehaltene (die vertragliche Basis) als Vergleichsgrundlage herangezogen. Dementsprechend sind bei einer – wovon im Bauwesen auszugehen ist – nicht idealen Einstellung der Produktionsfaktoren auch Produktivitätssteigerungen möglich. Aufgrund der zunehmenden Überschätzung der Produktionsfaktoren bzw. der zu kurzen Bauzeit stellt dieser Fall jedoch mehr die Ausnahme dar.

Der ideale Einsatz der Produktionsfaktoren ist ein theoretischer Wert. Dieser wird nur erreicht, wenn ideale Bedingungen vorherrschen, diese über den gesamten Zeitraum der Leistungserbringung anhalten und keinerlei Abweichungen entstehen. Dies stellt im Bauwesen allerdings eine unrealistische Annahme dar und ist schon auf Grund der Witterung und der langen Ausführungszeiten nicht zu erreichen. Die aus dem idealen Einsatz der Produktionsfaktoren resultierende ideale Produktivität wird in Abbildung 3-1 als P_{ideal} bezeichnet.

Bei der optimalen Produktivität, werden die für das Bauwesen typischen und an das spezifische Bauwerk angepassten Abweichungen bereits berücksichtigt. Dieser Wert wird beispielsweise bei der Ermittlung einer adäquaten Bauzeit herangezogen. Jedoch ist der optimale Einsatz von einer Vielzahl von Einflüssen abhängig und deshalb schwer zu ermitteln. Dahingehend ist die Anwendung einer Monte-Carlo-Simulation durchaus sinnvoll. In einer numerischen Berechnung werden die Einflüsse miteinander kombiniert und mit einer Wahrscheinlichkeitsverteilung überlagert. Mit diesem Verfahren wird das wahrscheinlichste bzw. eine Bandbreite des wahrscheinlichsten Eintretens der optimalen Produktionsfaktoren ermittelt.

Die normale Produktivität P_{normal} berücksichtigt die für das spezifische Bauwerk angepassten Bedingungen bezogen auf die Wahrscheinlichkeit des Eintretens der optimalen Produktionsfaktoren. Das bedeutet, dass aufgrund von Faktoren wie beispielsweise der Witterung, Änderungen im Bauablauf etc. ein optimaler Einsatz der Produktionsfaktoren über die gesamte Dauer der Leistungserbringung unrealistisch ist. Dahingehend werden die optimalen Bedingungen bzw. Produktionsfaktoren mit Wahrscheinlichkeiten behaftet, um eine praxisnahe, auf das Bauwerk angepasste, realistische Einschätzung der auftretenden Produktionsfaktoren zu erlangen. Die Kombination der wahrscheinlich eintretenden Produktionsbedingungen für die Produktionsfaktoren ergibt im Weiteren die Produktivität P_{normal} . Diese Produktivität P_{normal} stellt respektive die Produktivität dar, die über die Dauer der Leistungserbringung im Durchschnitt erreicht wird und ist geringer als die optimale Produktivität P_{opt} .

Abbildung 3-1 ist eine qualitative Darstellung der Produktivität bezogen auf eine Leistung in Mengeneinheit pro Zeiteinheit.

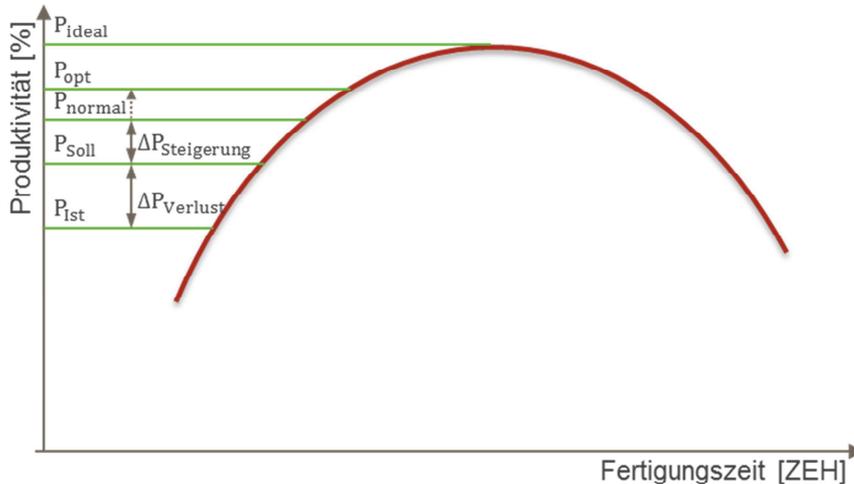


Abbildung 3-1: Qualitative Darstellung der Produktivitätsabweichung bezogen auf die Soll-, Ist-, und optimale Produktivität⁹⁴

In der oben abgebildeten Grafik sind die ideale Produktivität P_{ideal} , die optimale Produktivität P_{opt} , die normale Produktivität P_{normal} , die erwartete Soll-Produktivität P_{Soll} und die tatsächliche Ist-Produktivität P_{Ist} eingetragen. Dies soll den Unterschied zwischen dem geplanten, dem ausgeführten, dem wahrscheinlichen bzw. normalen, dem optimalen und dem idealen (im Bauwesen unrealistischen) Zustand verdeutlichen. Ist der tatsächlich verbrauchte Ressourceneinsatz – bei gleichbleibendem Output – höher als der geplante Ressourceneinsatz ($P_{Ist} < P_{Soll}$), bezogen auf das Bau-Soll bzw. P_{Soll} , ist von Produktivitätsverlusten $P_{Verlust}$ die Rede. Ist jedoch P_{Ist} näher an bzw. gleich P_{normal} (oder P_{opt}) spricht man, wiederum bezogen auf P_{Soll} , von einer Produktivitätssteigerung $P_{Steigerung}$.

Die optimale Produktivität ist vom Verfahren, den Rahmenbedingungen wie Bauzeit, Witterung, Umgebungsbedingungen etc. abhängig und wurde mit gewissen Eintrittswahrscheinlichkeiten berücksichtigt. Die zu erbringende Soll-Produktivität ist als Basis aus dem Vertrag abzuleiten.

Dahingehend ist zwischen einer funktionellen und einer konstruktiven Leistungsbeschreibung zu unterscheiden. Für eine detaillierte Erläuterung der Vertragsarten bzw. die Frage, was eine Leistungsbeschreibung ist und wie diese aussieht, wird auf *Reister*⁹⁵ verwiesen.

⁹⁴ In Anlehnung an HOFSTADLER, C.; KUMMER, M.: Systematischer Umgang mit Produktivitätsrisiken in der Auftragskalkulation. In: 12. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium - Risiken im Bauvertrag - baubetriebliche, bauwirtschaftliche und rechtliche Aspekte, 1. Auflage/2014. S. 60.

⁹⁵ REISTER, D.: Nachträge im Bauvertrag. S. 8.ff

Liegt einem Vertrag eine konstruktive Leistungsbeschreibung zugrunde, ist das *Leistungsziel* bzw. das *Bau-Soll* nach ÖNNORM B 2110 so definiert:

Leistungsumfang; Bau-Soll

*alle Leistungen des Auftragnehmers (AN), die durch den Vertrag, z. B. bestehend aus Leistungsverzeichnis, Plänen, Baubeschreibung, technischen und rechtlichen Vertragsbestimmungen, unter den daraus abzuleitenden, objektiv zu erwartenden Umständen der Leistungserbringung, festgelegt werden*⁹⁶

Weiters sind nach Punkt 4.2.1. der ÖNNORM B 2110 die Leistungen in der Leistungsbeschreibung des Auftraggebers bezogen auf das Ausmaß vollständig zu erfassen.⁹⁷

Nach *Reister* ist die Leistungsbeschreibung zur Ermittlung der erforderlichen Bauzeit sowie für die Preisbildung ein wesentlicher Bestandteil des Vertrages. Auf Grundlage dieser Leistungsbeschreibung wird das Bau-Soll des Auftraggebers definiert, und stellt gleichzeitig die Basis für das Angebot der Bieter dar.⁹⁸

Die kalkulierte Produktivität deckt sich im Idealfall mit der Soll-Produktivität und im Weiteren der Ist-Produktivität. Bei Abweichungen der kalkulierten Produktivität zur tatsächlich vorhandenen oder der geplanten Produktivität sind diese Verluste oder Steigerungen unter kalkulatorische Produktivitätsabweichungen einzustufen. Diese kalkulierten Produktivitätsabweichungen sind auf die geistig geplante Leistung vor Ausführungsbeginn zurückzuführen und resultieren aus einer Über- bzw. Unterschätzung der zu erbringenden Leistung bzw. des Aufwandes in Kombination mit den Grenzgrößen. Werden bei dieser Fehleinschätzung durch das Anpassen des Ressourceneinsatzes Grenzgrößen über- bzw. unterschritten, treten infolge der Grenzgrößenüber-/unterschreitung Produktivitätsabweichungen auf. Was unter Grenzgrößen genau verstanden wird, ist in Abschnitt 4.2 detailliert erläutert.

Im weiteren Verlauf der Arbeit werden hauptsächlich die baubetrieblichen Produktivitätsabweichungen behandelt. In dieser Arbeit liegt der Schwerpunkt auf Produktivitätsverlusten, weshalb diesbezüglich im Folgenden einige Synonyme und Abgrenzungen vorgenommen werden.

⁹⁶ ÖNNORM B 2110: Allgemeine Vertragsbedingungen für Bauleistungen. S. 9.

⁹⁷ Vgl. ÖNNORM B 2110: Allgemeine Vertragsbedingungen für Bauleistungen. S. 10.

⁹⁸ Vgl. REISTER, D.: Nachträge im Bauvertrag. S. 8.

Synonyme zum Begriff Produktivitätsverlust

An dieser Stelle werden häufig verwendete, sinnverwandte oder sinn- gleiche Begriffe zu Produktivitätsverlusten aufgezählt, eine Separation der Begriffe vorgenommen und die weitere Verwendung definiert.

In Anlehnung an Greune⁹⁹ wird eine Aufzählung von Synonymen zum Begriff der *Produktivitätsverluste*¹⁰⁰ angeführt, welche in der einschlägigen Literatur häufig zur Anwendung kommen bzw. zitiert werden.

- *Produktivitätsminderung*¹⁰¹,
- *reduzierte Produktivität*¹⁰²,
- *Produktivitätseinbußen*¹⁰³,

- *Minderleistung*¹⁰⁴,
- *Leistungsminderung*¹⁰⁵, *Leistungsverluste*¹⁰⁶,
- *Personalleerkosten*¹⁰⁷,
- *Intensitätsabfall*¹⁰⁸.

Diese Begriffe sind von oben nach unten in Bezug auf die Sinngleichheit mit dem Begriff Produktivitätsverlust sortiert.

Produktivitätsverluste, Produktivitätsminderungen, reduzierte Produktivität oder Produktivitätseinbußen sind Bezeichnungen, die sich auf das Verhältnis zwischen Output zu Input beziehen, weshalb diese als sinn- gleich erachtet werden.

Von den Bezeichnungen Minderleistung, Leistungsminderung, Leis- tungsverluste, Personalleerkosten und Intensitätsabfall wird sich in die- ser Arbeit distanziert. Bei jeglicher Wortkombination mit Leistung ist zu

⁹⁹ Vgl. GREUNE, S.: Darlegung und Bewertung von multiplen Bauablaufstörungen. In: Schriftenreihe - Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft Technische Universität Braunschweig, Heft 55/2014. S. 21.

¹⁰⁰ Vgl. REISTER, D.: Nachträge im Bauvertrag. S. 470.; HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 525.; VYGEN, K. et al.: Bauverzögerung und Leistungsänderung. S. 317.

¹⁰¹ Vgl. ZICHL, K. et al.: Bauwirtschaft und Baubetrieb. S. 515.; GREUNE, S.: Darlegung und Bewertung von multiplen Bauablaufstörungen. In: Schriftenreihe - Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft Technische Universität Braunschweig, Heft 55/2014. S. 21.; WÜRFELE, F.; GRALLA, M.; SUNDERMEIER, M.: Nachtragsmanagement. S. 484.

¹⁰² Vgl. BAUER, H.: Baubetrieb. S. 760, 779.; LANG, A.: Ein Verfahren zur Bewertung von Bauablaufstörungen und zur Projektsteuerung. S. 39.

¹⁰³ Vgl. ZICHL, K. et al.: Bauwirtschaft und Baubetrieb. S. 515.

¹⁰⁴ Vgl. BAUER, H.: Baubetrieb. S. 779.; VYGEN, K. et al.: Bauverzögerung und Leistungsänderung. S. 603

¹⁰⁵ Vgl. KAPPELLMANN, K. D.; SCHIFFERS, K.-H.: Vergütung, Nachträge und Behinderungsfolgen beim Bauvertrag. S. 676

¹⁰⁶ Vgl. KARASEK, G.: Rechtliche Grundlagen bei Mehrkostenforderungen aus der ÖNORM und dem ABGB bei Einheitspreis- und Pauschalverträgen. In: 1. Grazer Baubetriebs- & Baurechtsseminar - Behandlung und Nachweisführung von Mehrkostenvorderungen, 1. Ausgabe/2008. S. 22.

¹⁰⁷ Vgl. KAPPELLMANN, K. D.; SCHIFFERS, K.-H.: Vergütung, Nachträge und Behinderungsfolgen beim Bauvertrag. S. 495

¹⁰⁸ Vgl. KAPPELLMANN, K. D.; SCHIFFERS, K.-H.: Vergütung, Nachträge und Behinderungsfolgen beim Bauvertrag. S. 676

beachten, dass sich Leistungen auch auf die Ausführungsdauer beziehen und nicht direkt auf die eingesetzten Ressourcen. Somit kann bei einer Anpassung der Ressourcen die Leistung beibehalten werden, die Produktivität aber abnehmen oder umgekehrt. Eine Leistungsminderung kann beispielsweise durch die Reduktion der Arbeitsgruppengröße von sechs auf vier Arbeitskräfte auftreten, da diese Partie nun weniger m² Deckenfläche pro Tag einschalen kann. Allerdings wird durch die Reduktion beispielsweise eine ideale Gruppengröße für das Schalen der Decken an diesem Bauteil erreicht und die Produktivität wird durch den geringeren Input an Lohnstunden gesteigert. Leistungen beziehen sich auf die Ausführungsdauer und nicht direkt auf den dafür eingesetzten Ressourcenaufwand.¹⁰⁹

3.2 Abweichende Grundvoraussetzung des Bauwesens

Produktivitätsabweichungen stellen eine Steigerung oder einen Verlust der Produktivität gegenüber der geplanten Basis dar. Produktivitätsabweichungen von geplanten Bedingungen sind im Bauwesen durchaus üblich und verglichen mit den idealen Bedingungen unvermeidbar. Warum die Bauindustrie andere Grundvoraussetzungen aufweist als andere Industriebranchen und welche Auswirkungen diese Abweichungen auf die Produktivität haben, wird in diesem Abschnitt erläutert.

Dahingehend wird zuerst der Unterschied zwischen der Bauindustrie und anderen stationären Industriezweigen beschrieben. In weiterer Folge wird, aufbauend auf die erläuterten Unterschiede in den Grundvoraussetzungen zu anderen Branchen, auf die in der Bauwirtschaft häufig auftretenden Abweichungen bzw. Störungen des Bauablaufes und die daraus resultierenden Produktivitätsverluste eingegangen.

In Abschnitt 2.2.3 wurde der Unterschied der Bauwirtschaft und im Speziellen der Erstellung eines Bauwerks zu anderen Zweigen herausgearbeitet. An dieser Stelle werden nochmals Aspekte herausgehoben, welche die Bauindustrie von anderen Industriezweigen wie der Automobil-, Elektro-, Maschinenbau-, Möbel-, und Textilindustrie unterscheiden.

Nach *Greune* lassen sich die wesentlichen Unterschiede der Bauindustrie zu den lokal unveränderlichen Fertigungsstätten in die drei Bereiche einteilen: die hohen Wiederholungsrate, die Witterungsunabhängigkeit sowie die Tatsache, dass der mengenmäßige Output jederzeit und an-

¹⁰⁹ Vgl. GREUNE, S.: Darlegung und Bewertung von multiplen Bauablaufstörungen. In: Schriftenreihe - Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft Technische Universität Braunschweig, Heft 55/2014. S. 24ff

nähernd fehlerfrei ermittelbar ist.¹¹⁰ Diese drei Bereiche spiegeln sich in folgenden Punkten wieder:¹¹¹

- Fertigung nach Bestellung und Einzelstückfertigung
- Langzeit- und Baustellenfertigung
- Änderungsrecht des Auftraggebers
- Witterungsbedingte Fertigung

Die Unterschiede aus der Auftragsfertigung, welche im Gegensatz zur Lagerfertigung ein Produkt auf Anfrage fertigt, und die Einzelstück- oder Unikatfertigung wurden bereits erörtert bzw. werden hier als selbsterklärend erachtet.

Witterung und die sich ändernden Jahreszeiten haben, zusätzlich zu den Merkmalen der Einzelfertigung, einen wesentlichen Einfluss auf die Langzeit- und Baustellenfertigung. Lange Ausführungsdauern und Herstellungszeiten in Kombination mit wechselnden Jahreszeiten tragen erheblich zu Schwankungen der Produktivität im Bauablauf bei. Zusätzlich werden infolge der Langzeitfertigung die Ressourcen und dadurch auch ein gewisses Kapital des Auftragnehmers an ein Bauprojekt gebunden. Diese langfristige Bindung erhöht das Risiko eines Unternehmers und reduziert eine schnelle Reaktion auf den Markt. Dieses Risiko kann einen Unternehmer dazu veranlassen, bei einer Angebotskalkulation die zu erbringende Leistung zu Über- bzw. Unterschätzen und den Bauablauf so zu planen, dass bei der Anpassung der Ressourcen Produktivitätsabweichungen entstehen.

Ein weiterer wichtiger Unterschied in der Grundvoraussetzung zu anderen Industriezweigen ist das Leistungsänderungsrecht des Auftraggebers. Dies ermöglicht dem Auftraggeber auch nach Bestellung des Werkes und während der Ausführung weiterhin Änderungen vorzunehmen. Dieses Recht ist in der ÖNORM B 2110:2013 wie folgt definiert:

*Der AG ist berechtigt den Leistungsumfang zu ändern, sofern dies zur Erreichung des Leistungsziels notwendig und dem AN zumutbar ist.*¹¹²

Damit das „Leistungsänderungsrecht“ auch Gültigkeit hat, muss die ÖNORM B 2110:2013 Vertragsbestandteil sein.

Durch eine lange Ausführungsdauer und das Recht, Leistungsänderungen, die für das Leistungsziel nötig sind, sofern dem Auftragnehmer zu-

¹¹⁰ Vgl. GREUNE, S.: Darlegung und Bewertung von multiplen Bauablaufstörungen. In: Schriftenreihe - Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft Technische Universität Braunschweig, Heft 55/2014. S. 34.

¹¹¹ Vgl. REFISCH, B.: Probleme der Führung und Organisation von Bauunternehmungen, Sonderdruck aus Bauwirtschaftlicher Unternehmensführung; zitiert in GREUNE, S.: Darlegung und Bewertung von multiplen Bauablaufstörungen. In: Schriftenreihe - Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft Technische Universität Braunschweig, Heft 55/2014. S. 34.; und BAUER, H.: Baubetrieb. S. 47.;

¹¹² ÖNORM B 2110: Allgemeine Vertragsbedingungen für Bauleistungen. S. 27.

mutbar, vorzunehmen, wirkt sich, je nach Art und Umfang der Leistungsänderung, maßgeblich auf den geplanten Ressourceneinsatz und die Produktionsfaktoren aus.

Die Anzahl an Änderungen kann ebenfalls einen Einfluss auf die Aggregation der Einflussfaktoren und der Produktivitätsverluste haben. Je häufiger Abweichungen im Bauablauf auftreten, desto wahrscheinlicher ist die gegenseitige Beeinflussung und die mögliche Aggregation der Ein- bzw. Auswirkung.

Auch die verhältnismäßig lange Ausführungsdauer wirkt sich negativ auf die Abschätzbarkeit der Witterungseinflüsse aus. Diesbezüglich erweisen sich Einschätzungen der eintretenden Faktoren als schwierig, und die Wahrscheinlichkeit von Abweichungen wird mit steigender Ausführungsdauer erhöht.

Weitere unterschiedliche Grundvoraussetzungen, welche Einflussfaktoren auf die Produktivität darstellen, sind beispielsweise die zumeist vorgenommene Trennung von Ausführung und Planung, hohe Lohnkosten, ändernde Rohstoffpreise, Wechslung der Auftraggeber etc. Diese von anderen Branchen abweichenden Grundvoraussetzungen der Baubranche sind einige der Gründe für die häufig auftretenden Soll-Ist-Abweichungen und die daraus resultierenden Produktionsabweichungen während der Ausführung.

3.2.1 Ursachen für eine Soll-Ist-Abweichung im Bauablauf

Die zuvor in Abschnitt 3.2 erläuterten unterschiedlichen Grundvoraussetzungen führen im Wesentlichen zu dem erhöhten Risiko von Soll-Ist-Abweichungen des Bauablaufes. Diesbezüglich ist unter Soll-Ist-Abweichung die reine Abweichung vom Geplanten zum tatsächlich Ausgeführten zu verstehen. An dieser Stelle wird auf die Verwendung der Begriffe Störung sowie Soll-Ist-Abweichung in dieser Arbeit in Abschnitt 4.4.1 verwiesen. Ziel dieser Arbeit ist es, die Produktivitätsabweichungen aus baubetrieblicher Sicht darzustellen. Aufgrund dessen wird auf eine detailliertere Beschreibung der Vergütung bzw. der erforderlichen Sphärenzuordnungen und Anspruchsgrundlagen verzichtet.

Es folgt eine allgemeine Aufzählung der Ursachen bzw. der störenden Einwirkungen, welche sich auf die Produktionsfaktoren auswirken und im Weiteren eine Produktivitätsabweichung zur Folge haben.

- Störung aufgrund der Rahmenbedingungen
 - Witterungseinflüsse
 - Leistungsänderungen
 - Änderung der Bauzeit (Beschleunigung oder Verzögerung)
 - Ausstehende Entscheidungen, zu lange Entscheidungskette
 - Wechselnde Umgebungsbedingungen (Verkehr, angrenzende Baustellen ...)
 - Ändernde politische und kulturelle Rahmenbedingungen
- Störung in den elementaren Produktionsfaktoren
 - Fehleinschätzungen in der Kalkulation (Massenermittlung Kolonnenzusammensetzung, Kapazitäteneinsatz ...)
 - Nicht ideale Abstimmung der Betriebsmittel (veraltete, unpassende Geräte, nicht eingeschultes Personal ...)
 - Ablaufschwierigkeiten in den Rohstoffketten (Herstellung, Bestellung und Logistik ...)
 - Über- und Unterschätzung der Leistungsfähigkeit von Arbeitskräften, Geräten und Maschinen
- Störung in den dispositiven Produktionsfaktoren
 - Unzureichende Bauablaufplanung und Arbeitsvorbereitung
 - Baustellenorganisation und Kommunikation
 - Einteilung der Subunternehmer

Diese Ursachenaufzählung stellt eine relativ allgemeine Einteilung von durch den Auftraggeber, durch den Auftragnehmer oder durch „höherer Gewalt“ bedingte Ablaufstörungen dar. In der einschlägigen Literatur zum Thema der Produktivitätsverluste wird zumeist zwischen durch Auftragnehmer bzw. Auftraggeber bedingte Produktivitätsverluste unterschieden. Dabei liegt der Fokus auf der Sphärenzuordnung und die Ursachen für die Abweichungen werden fehlinterpretiert oder missverstanden. Aus diesem Grund wurde eine sphärenunabhängige Unterteilung in Störungen aus Rahmenbedingungen auf bzw. von elementaren oder dispositiven Produktionsfaktoren erarbeitet.

Dahingehend ist zum Beispiel die Fehleinschätzung in der Kalkulation, wie in Abschnitt 2.5.3 bereits erläutert wurde, zu erwähnen. Der Auftraggeber hat die zu erbringende Leistung bzw. das Bau-Soll so zu beschreiben, dass alle objektiv zu erwartenden Umstände festgelegt sind.

Wenn Fehleinschätzungen in der Angebotskalkulation auftreten, kann dies auf eine nicht ausreichende Beschreibung des Auftraggebers oder auf eine unzureichende Beachtung seitens des Auftragnehmers bzw. des Bieters zurückzuführen sein. Werden diese Fehleinschätzungen im weiteren Verlauf der Angebotskalkulation nicht bereinigt, unabhängig der Motive und Gründe beiderseits, können diese, bei Erreichung von Grenzgrößen, Produktivitätsverluste verursachen. Ebenso sind Produktivitätssteigerungen bei einer Unterschreitung von Grenzgrößen möglich. Darüber hinaus sind in der Kalkulation Risiken zu berücksichtigen. Zu diesen sind auch Schlechtwetterereignisse zu zählen. Der Auftraggeber sollte Schlechtwetterereignisse, welche nicht als außergewöhnliche Ereignisse einzustufen sind (Vorhersehbarkeiten sind entweder vertraglich festgelegt oder es gilt nach ÖNORM B 2110 Punkt 7.2.1. (2) das 10-jährliche Ereignis¹¹³), in den Aufwands- und Leistungswerten bzw. in der Leistungsfähigkeit oder der resultierenden Produktivität miteinkalkuliert haben.

Die Änderung der Bauzeit ist ebenfalls ein wichtiger Einflussparameter für die Produktivität. Ergibt sich bei einer Anpassung des Ressourceneinsatzes aufgrund der geänderten Bauzeit ebenfalls eine Über- bzw. Unterschreitung der produktiven Grenzgrößen, sind Produktivitätsabweichungen gegenüber dem geplanten Bauablauf die Folge. Eine Verkürzung der Bauzeit kann vom Auftraggeber beauftragt werden, kann aber auch durch den Auftragnehmer selbst erfolgen. Ein- und Auswirkungen der Bauzeit auf die Produktivität wurden im entsprechenden Abschnitt 2.5 erläutert.

Das Änderungsrecht des Auftraggebers wird aufgrund des bedeutenden Einflusses auf den Bauablauf erneut erwähnt. Die Möglichkeit, auch nach der Auftragserteilung und der dadurch erfolgten Bestellung des Werkes die Leistung im definierten Rahmen seitens des Auftraggebers zu ändern, bedeutet für den Auftragnehmer, dass dieser höhere Aufwands- und Leistungswerte kalkuliert, in welchen er diesen Umstand berücksichtigt oder über einen erhöhten Wagniszuschlag diesen Umstand ausgleicht. Wahrscheinlicher ist jedoch, dass der Auftragnehmer auf wenige Änderungen spekuliert, um den Angebotspreis niedrig zu halten.

Aus einer Leistungsänderung resultieren nicht direkt Produktivitätsverluste. Die Möglichkeiten der Anpassung sind vielseitiger. Produktivitätsverluste entstehen erst, wenn die Bauzeit diesbezüglich nicht adäquat angepasst wird und dadurch der Ressourceneinsatz oder das Produktionsergebnis angepasst werden muss. Dahingehend erhöht sich entweder der Input im Verhältnis zum Output dementsprechend, dass Produktivi-

¹¹³ ÖNORM B 2110: Allgemeine Vertragsbedingungen für Bauleistungen. S. 27.

tätsverluste entstehen oder der Input sinkt im Verhältnis zum Output, wodurch Produktivitätssteigerungen resultieren. Werden die Ressourcen oder das Produktionsergebnis nicht angepasst, sondern die Bauzeit, sind keine Produktivitätsabweichungen die Folge.

Entgegen mancher Interpretation sind auch Mehraufwendungen oder ein reiner Mehraufwand an Ressourcen nicht mit Produktivitätsabweichungen gleichzusetzen. Eine Leistungsänderung verändert durchaus die Einsatzfaktoren (Input) und das Produktionsergebnis (Output). Dabei ist auf das Verhältnis zwischen gesteigertem Mitteleinsatz und dem Produktionsergebnis in Form von Qualität und Quantität zu achten. Was damit gesagt wird ist, dass eine Leistungsänderung, ein Mehraufwand, eine reine Abweichung des Ressourceneinsatzes vom Soll zum Ist noch keine Produktivitätsverluste darstellen, sondern erst das Verhältnis zwischen Produktionsergebnis und Ressourceneinsatz in Form von Qualität und Mengen bzw. Masse.

3.2.2 Das erhöhte Risiko infolge von Produktivitätsabweichungen

Greune erläutert in seiner Arbeit, dass infolge von Produktivitätsverlusten ein erhöhtes Risiko für den Auftragnehmer gegeben ist.¹¹⁴ Durch den stetig steigenden Preiskampf am Markt sind die Bieter gezwungen, niedrige Preise anzubieten und das Vorhaben in einer unangemessen kurzen Bauzeit zu verwirklichen.

Auch für die Sphäre des Auftraggebers stellen Produktivitätsverluste ein Risiko bezogen auf die Wirtschaftlichkeit des Bauwerks dar. Ändern sich beispielsweise die Baugrundverhältnisse beim Bau eines Druckstollens für ein Kraftwerk dahingehend, dass die Herstellkosten wesentlich steigen, kann dadurch das Projekt unwirtschaftlich werden. Frühzeitiger Wintereinbruch bei alpinen Bauten oder sonstigen Bauwerken deren Umsetzung stark von schwer einschätzbaren Rahmenbedingungen abhängig sind, stellt ein erhöhtes Risiko für die Herstellkosten und die eventuell resultierende Wirtschaftlichkeit dar.

Wie in den vorhergehenden Abschnitten beschrieben wurde, ist der Produktionsprozess in der Bauindustrie durch eine Vielzahl von wechselnden Rahmenbedingungen und Einflussparametern abhängig. Diese stetig wechselnden Parameter und Bedingungen erhöhen das Risiko auf nicht optimaler Produktionsbedingungen, was im Falle einer unflexiblen Bauzeit zu Produktivitätsabweichungen führen kann. Dadurch steigt die Wahrscheinlichkeit, dass die monetären und bauzeitlichen Auswirkungen

¹¹⁴ Vgl. GREUNE, S.: Darlegung und Bewertung von multiplen Bauablaufstörungen. In: Schriftenreihe - Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft Technische Universität Braunschweig, Heft 55/2014. S. 33.

dieser Produktivitätsabweichungen ein Ausmaß erreichen, welches den wirtschaftlichen Erfolg des Projektes gefährdet.¹¹⁵

3.2.3 Vergleichbarkeit und Bezugsmaßstab

Produktivitätsverluste haben einen Mehraufwand an Ressourcen (Steigerung des Inputs) bei gleichbleibender Ausbringungsmenge (Output) zur Folge. Im Erdbau bedeutet das beispielsweise, dass der einzubringende Boden eine höhere Verdichtbarkeit aufweist als ausgeschrieben und demzufolge mehr Boden eingebracht werden muss, um dasselbe absolute Niveau zu erreichen. Im Rohbau kann das bei Schalungsarbeiten bedeuten, dass mehr Lohnstunden benötigt werden, um dieselbe Fläche zu schalen als im Geschoss darunter, in der Woche davor, bei einem anderen Bauwerk oder einem anderen Bezugsmaßstab.

Der Bezugsmaßstab oder die bereits erwähnte Basis spielt hierbei eine wichtige Rolle. Bei einem Vergleich der Produktivität können Arbeitsabläufe, die Abweichung vom Soll zum Ist, der Materialverbrauch, die Lohnstunden oder die Leistung der Geräte untereinander verglichen werden. Es muss die Vergleichbarkeit gewährleistet sein. Eine Kellerdecke mit 3 m Unterstellungshöhe und 30 cm Stärke kann schlecht mit einer Zwischendecke von 6 m Unterstellungshöhe und 20 cm Deckenstärke verglichen werden. Eventuell kann die Kellerdecke des einen Projektes mit der Kellerdecke eines anderen Projektes, vorausgesetzt sie weisen ähnliche Rahmenbedingungen auf, als unternehmensinterner Vergleichs- oder Bezugsmaßstab herangezogen werden. Faktoren, die die Vergleichbarkeit beeinflussen, sind gleichzeitig jene, die in Abschnitt 4.2 als Ursachen für Produktivitätsverluste aufgezählt werden. Diese Aufzählung kann als Übersicht für Faktoren, welche die Vergleichbarkeit erschweren, betrachtet werden.

Projektintern wird meist der Vertrag als Vergleichsbasis herangezogen. Dahingehend muss der Unternehmer auch nachweisen, dass er durchaus im Stande ist, seine kalkulierte Leistung in einem ungestörten Bereich zu erbringen. Bei der Vergleichbarkeit von Aufwands- und Leistungswerten sowie von in Verbindung mit der Vorgangsdauer oder Bauzeit resultierender Produktivität ist zwischen der unternehmensinternen und der unternehmensexternen Werten zu unterscheiden. Vergleiche mit anderen Projekten haben bei der Geltendmachung von Produktivitätsverlusten gegenüber dem Auftraggeber nur eine geringe Bedeutung. Diesbezüglich muss der Auftragnehmer beispielsweise über das Verfahren der Vergleichsstrecke nachweisen, dass er die kalkulierte Leistung be-

¹¹⁵ Vgl. GREUNE, S.: Darlegung und Bewertung von multiplen Bauablaufstörungen. In: Schriftenreihe - Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft Technische Universität Braunschweig, Heft 55/2014. S. 33.

reits erbracht hat und die Produktivitätsverluste auf eine spezifische Störung zurückzuführen sind. Darüber hinaus stellt hier die Vergleichbarkeit der Vergleichsstrecke ein wichtiges Kriterium dar, was wieder mit dem zuvor erläuterten Beispiel der Keller- und Zwischendecke beschrieben werden kann.

Der interne Vergleich ist hier durchaus projektübergreifend möglich, sofern die verglichenen Projekte bzw. Abläufe auch vergleichbar sind. Die Verwendung von Aufwands- und Leistungswerten aus Vergleichsprojekten in der Kalkulation sowie in der Arbeitsvorbereitung und Bauablaufplanung zur Einteilung des Ressourceneinsatzes ist durchaus eine häufige Vorgehensweise und auch zu befürworten, solange die Projekte vergleichbar sind.

Dahingehend ist der Detaillierungsgrad sowohl der Ausschreibung als auch der des Vergleichsobjektes und des betriebenen Wissensmanagements bedeutend. Außerdem ist der für die Ermittlung der Aufwands- und Leistungswerte sowie der Produktivität betriebene Aufwand ein Kriterium für den Detaillierungsgrad und die resultierende Aussagekraft und Vergleichbarkeit. Diese Vergleichbarkeit sollte allerdings gewährleistet sein.

Nachdem die abweichenden Grundvoraussetzungen sowie die Bedeutung der Produktivitätsabweichung im Bauwesen beschrieben wurden, wird nun speziell auf die Produktivitätsverluste eingegangen. Dahingehend ist zwischen der Kumulation und Aggregation der Einwirkung sowie der Auswirkung (mit der Folge von Produktivitätsverlusten), welche in den folgenden Kapiteln 4 und 5 behandelt werden, zu unterscheiden.

4 Kumulation und Aggregation von Produktivitätsverlusten

Im diesem Kapitel wird die Bedeutung von Grenzgrößen für die Produktionsfaktoren erläutert und darüber hinaus einige ausgewählte Grenzgrößen und Produktivitätsverluste beschrieben. Produktivitätsverluste treten entweder bei der Über- bzw. Unterschreitung der Grenzgrößen auf oder ergeben sich beim Auf- bzw. Eintreten des jeweiligen Ereignisses.

Ferner werden die Bedeutung des diskreten Produktivitätsverlustes sowie die aus der Störung des Bauablaufes resultierenden Auswirkungen behandelt. Dahingehend werden die Begriffe für diese Arbeit definiert und erläutert. Zusätzlich werden die Störungstypen sowie die Reichweite einer Störung in Kombination mit der Störungsanfälligkeit und der Störungsintensität erörtert. Zusätzlich werden die Möglichkeiten zur Beeinflussung der Produktivität aufgezählt und beschrieben.

Am Ende des Kapitels wird ein Ablaufschema erläutert, welches die Folgen einer Einwirkung auf eine Tätigkeit in einem Vorgang sowie auf diesen Vorgang darlegt. Des Weiteren wird dargestellt, wie sich diese Einwirkung auf andere Tätigkeiten und Vorgänge auswirkt.

Auf Basis dieses Ablaufschemas wird das Prinzip der Kumulation und der Aggregation beschrieben. Diesbezüglich werden die Begriffe definiert und deren Bedeutung in unterschiedlichen Fachbereichen sowie die Bedeutung im Zusammenhang mit Einwirkungen und Produktivitätsverlusten erläutert. Weiters ist eine Formel entwickelt worden, welche das Verhalten einer Aggregation beschreibt und die unter Berücksichtigung der Beziehungen untereinander die aggregierte Gesamtheit ermitteln kann.

4.1 Bedeutung von Grenzgrößen

Als Grenzgrößen werden jene Faktoren bezeichnet, bei denen die Produktionsfaktoren und die Produktivität bis zum Erreichen der Grenze nicht beeinflusst werden. Diese Grenzen haben die Eigenschaft, dass bei einer Über- bzw. Unterschreitung (je nach betrachteter Grenzgröße) die Produktivität sinkt. Grund für die reduzierte Produktivität ist beispielsweise, dass die Leistungsfähigkeit der eingesetzten Ressourcen abnimmt oder dass der Aufwandswert steigt bzw. der Leistungswert sinkt.

Die Produktivität, resultierend aus der Kombination der Produktionsfaktoren, weist einen idealen, optimalen oder normalen Bereich auf. Der ideale Bereich wird vernachlässigt, da dieser im Bauwesen nicht zu erreichen ist. Der optimale Bereich ist auf das Bauwerk mit den zugehörigen Rahmenbedingungen bezogen. Dieser wird erreicht, wenn die optimalen Bedingungen, bezogen auf die jeweilige Tätigkeit, über die Dauer der Durchführung anhalten. Der normale Bereich der Produktivität berück-

sichtigt die realistisch anzutreffenden Bedingungen vor Ort und stellt den wahrscheinlich auftretenden Bereich der Produktivität dar.

Faktoren bzw. Grenzgrößen, die direkt vom Auftraggeber oder vom Auftragnehmer beeinflussbar sind, wie Mindestarbeitsraum, Anzahl der Arbeitskräfte pro Kran, tägliche Arbeitszeit, Planvorlaufzeiten etc. sollten sich für einen nicht störungsanfälligen und nicht störungsintensiven Bauablauf im optimalen Bereich der Produktionsfaktoren bewegen.

Je nach Art der Grenzgröße können diese einseitig oder zweiseitig begrenzt sein. Unter einseitiger Begrenzung wird eine Grenze nach oben oder nach unten, wie demonstrativ der Mindestarbeitsraum nach unten oder die tägliche Arbeitszeit nach oben, verstanden. Hingegen ist unter einer zweiseitigen Begrenzung eine nach oben und nach unten vorhandene Grenze, wie die optimale Temperatur, optimale Arbeitsgruppengröße etc., zu verstehen. Bis zum Erreichen der Grenze bzw. der Grenzen treten keine wesentlich spürbaren Produktivitätsverluste auf. Werden diese erreicht, nimmt die Produktivität überproportional mit der Über- bzw. Unterschreitung ab. Produktivitätsverluste weisen im Zusammenhang mit der Über- und Unterschreitung der Grenzgrößen kein lineares Verhalten auf. Dahingehend wirkt sich dieselbe Abweichung, relativ gesehen, intensiver auf den Produktivitätsverlust von bereits über- bzw. unterschrittenen Bereichen aus als jene, die vom optimalen Bereich ausgehen. Die Reduktion der Produktivität ist von der Art der Grenzgröße sowie vom Ausgangspunkt und Grad der Abweichung zum optimalen Bereich bzw. zu den optimalen Bedingungen abhängig.

Bei Grenzgrößen, die einseitig begrenzt sind bzw. bei denen eine optimale Einstellung der Betrachtungszeit realistisch ist (Mindestarbeitsraum, tägliche Arbeitszeit, Arbeitsgruppengröße, etc.), wird in Bezug auf die Grenzgrößen vom optimalen Bereich ausgegangen. Ist der optimale Einsatz allerdings nicht über die Dauer des Betrachtungszeitraumes abzuschätzen (Witterung, Planinhalt, Planvorlauf etc.), wird vom normalen Bereich ausgegangen. Treten Kombinationen der beiden Faktoren auf (z.B. tägliche Arbeitszeit, Mindestarbeitsraum, Witterung), überwiegt der nicht direkt beeinflussbare und dadurch nicht eindeutig abschätzbare Bereich.

Die Über- und Unterschreitung von Grenzgrößen stellt die Ursache für Produktivitätsverluste dar. Um der Charakteristik einer Grenzgröße zu genügen, muss eine gewisse Bandbreite vorhanden sein, bei der keine Beeinträchtigung der Produktionsfaktoren eintritt.

Dahingehend sind die Grenzgrößen wie folgt zu unterscheiden: In jene, bei denen die Einwirkung in Kombination mit dem Bauablauf bzw. den vorherrschenden Bedingungen die Auswirkungen prägen, und jene, bei denen die Auswirkungen mehr über die Intensität der Einwirkung bestimmt wird und die Baustellenbedingungen zweitrangig sind.

Grenzgrößen, bei welchen die Einwirkung in Kombination mit den vorherrschenden Baustellenbedingungen die Intensität der Auswirkung bestimmt, sind beispielsweise:

- Arbeitskräfte pro Kran,
- nicht optimale Arbeitsgruppengröße (Anzahl der AK),
- Mindestarbeitsraum,
- Änderung der Abschnittsgröße,
- tägliche Arbeitszeit, Schichtarbeit (Arbeitszeitmodell),¹¹⁶
- Planvorlauf,
- Nachtragsleistungen.

Diese Grenzgrößen sind vom Bauablauf abhängig und wirken sich dahingehend auch in Kombination mit diesem mehr oder weniger intensiv aus.

Zu den Einwirkungen, bei denen die Intensität der Einwirkung maßgeblich die Auswirkungen bestimmt, sind folgende zu zählen:

- Witterung,
- fachfremder Personaleinsatz,
- nicht optimale Kolonnenbesetzung (quantitativ),
- Überstunden,
- Planinhalt und Planungsqualität.

Die aufgezählten Grenzgrößen sind nicht direkt vom Bauablauf abhängig, wirken sich allerdings in Abhängigkeit ihrer Intensität mehr oder weniger auf den Bauablauf aus.

Die genannten Grenzgrößen weisen eine gewisse Bandbreite eines optimalen Bereiches auf und nehmen infolgedessen nicht mit dem Eintreten direkt ab. Diesbezüglich werden Mindestarbeitsraum und Planvorlauf als Beispiele herangezogen. Ist der Arbeitsraum entsprechend groß, sodass ein ungehindertes Arbeiten möglich ist, treten keine Produktivitätsverluste auf. Wird der Mindestarbeitsraum allerdings unterschritten, stellen sich Produktivitätsverluste ein. Ist der Planvorlauf ausreichend groß, um die Ressourcen adäquat einteilen zu können und auf Änderungen zu reagieren, können Umdisponierungen ohne Reduktion der Produktivität vorgenommen werden.

¹¹⁶ z.B. Nachtarbeit (Temperatur, Sicht, etc.)

Die Bandbreite kann somit entweder über die Anzahl des Eintretens, die Intensität der Einwirkung oder eine räumlich oder zeitliche Einheit festgelegt werden. Weiters können die Einwirkungen über die Anzahl, die Intensität, die räumlichen und zeitlichen Einheiten eingeteilt und charakterisiert werden.

Werden Produktivitätsverluste allein durch das Eintreten eines Ereignisses verursacht, sind diese nicht als Grenzgröße zu erachten, sondern als direkte Ursachen für Produktivitätsverluste zu sehen. Beispiele für direkte Ursachen sind:

- Einarbeitungseffekt,
- Wechsel und Umsetzen des Einsatzortes sowie
- nicht kontinuierlicher Arbeitsablauf.

Die Charakteristik dieser Einwirkungen liegt darin, dass der Bauablauf ab ihrem ersten Eintreten gestört wird. Wie intensiv dieser gestört wird, hängt mehr von den Eigenschaften des Bauablaufes und der Rahmenbedingungen ab als von der Einwirkung selbst.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Produktivitätsverluste entweder direkt durch das Eintreten eines Ereignisses auftreten oder durch das Über- bzw. Unterschreiten von Grenzgrößen hervorgerufen werden. Je nach Intensität der Einwirkung, Abhängigkeit vom Bauablauf und Baustellenbedingungen können die Grenzgrößen ermittelt und festgelegt werden. Die direkten Ursachen für Produktivitätsverluste weisen die Charakteristik auf, dass sie unabhängig von einer Bandbreite ab der ersten Einwirkung den Bauablauf stören und dadurch Produktivitätsverluste hervorrufen können.

4.2 Grenzgrößen und Ursachen für Produktivitätsverluste

Die Reduktion des Verhältnisses von Output zu Input wird als Produktivitätsverlust bezeichnet. Dieser ist zumeist auf eine Einwirkung im Bauablauf zurückzuführen. Allgemein können die Produktivitätsverluste wie von *Reister* beschrieben werden:

Bei reduzierter Produktivität steigen im Vergleich zum ungestörten Soll-Ablauf die Aufwandswerte an, die Leistungswerte von Maschinen fallen ab. Die Folgen sind verlängerte Vorgangsdauern, höhere Herstellkosten pro Mengeneinheit und insgesamt höhere Fertigungskosten in der Behinderungsperiode.¹¹⁷

¹¹⁷ REISTER, D.: Nachträge im Bauvertrag. S. 475.

Die Auswirkungen von Produktivitätsverlusten liegen naturgemäß in einem Mehrverbrauch an Ressourcen bei gleichbleibender Ausbringungsmenge oder in einer reduzierten Ausbringungsmenge bei gleichbleibendem Ressourceneinsatz. Zusammengefasst kann daraus abgeleitet werden, dass sich der Input, der Output oder die vorhandene bzw. die benötigte Zeit ändert.

Die Sphäre der Einwirkung wird aufgrund der baubetrieblichen Betrachtung der Produktivitätsverluste für die weiteren Betrachtungen vernachlässigt. Außerdem sind die Erläuterungen und Beispiele qualitativ zu verstehen.

Die Produktion eines Bauwerks, die über das Faktorensystem mit den elementaren und dispositiven Produktionsfaktoren bestimmt wird, unterliegt besonderen Produktionsbedingungen. Diese abweichenden Grundvoraussetzungen wurden in den vorhergehenden Abschnitten beschrieben und speziell in Abschnitt 3.2 näher dargelegt. Diese allgemeinen Grundvoraussetzungen für Soll-Ist-Abweichungen resultieren meist in den folgenden spezifizierten Ursachen.

Die aufgezählten Gründe für Produktivitätsverluste stellen gleichzeitig Ursachen und Grenzgrößen dar. Bei Über- bzw. Unterschreitung dieser Ursachen sind Produktivitätsverluste die Folge. Die Aufzählung der Grenzgrößen bzw. der Ursachen für Produktivitätsverluste wird auf jene in der einschlägigen Literatur häufig verwendeten und oft zitierten reduziert. Dabei orientierte sich der Autor im Wesentlichen an den Autoren *Hofstadler*¹¹⁸, *Reister*¹¹⁹ und *Greune*¹²⁰.

Die nachfolgenden Grenzgrößen und Ursachen sind entgegen mancher Meinungen nicht sphärenspezifisch.¹²¹ Diese stellen das Ergebnis der Einwirkung dar und beeinträchtigen zumeist den Bauablauf. Naturgemäß ist der Grund und nicht das Ergebnis ausschlaggebend für eine Sphärenzuweisung. Die folgenden Faktoren können deshalb sowohl aus der Sphäre der Auftraggeber als auch aus der Sphäre der Auftragnehmer stammen.

¹¹⁸ Vgl. HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 65ff.

¹¹⁹ REISTER, D.: Nachträge im Bauvertrag. S. 476ff.

¹²⁰ GREUNE, S.: Darlegung und Bewertung von multiplen Bauablaufstörungen. In: Schriftenreihe - Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft Technische Universität Braunschweig, Heft 55/2014. S. 57ff.

¹²¹ GREUNE, S.: Darlegung und Bewertung von multiplen Bauablaufstörungen. In: Schriftenreihe - Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft Technische Universität Braunschweig, Heft 55/2014. S.

4.2.1 Witterung

Die Produktionsstätte ist im Bauwesen überwiegend der Witterung ausgesetzt. Darunter wird generell das Wetter mit den bekannten Eigenschaften verstanden.

Speziell die Einwirkungen von Wärme und Kälte sind dabei in der Arbeitsproduktivität spürbar. Anpassung der Kleidung, Verlust der Agilität und Bewegungsfreiheit bei Kälte, schnellere Ermüdung und mehr Trinkpausen bei Hitze, Reduktion der Motivation und der Arbeitssicherheit bei Nässe sind nur einige Faktoren, die sich als Beispiele für den Einfluss der Witterung auf die Arbeitsproduktivität nennen lassen.¹²²

Hierbei wird in Anlehnung an *Reister* bezogen auf die Witterung zwischen

- der objektiven Steigerung des Aufwandes und
- der subjektiven Auffassung der Arbeitskräfte

unterschieden. Die objektive Steigerung bezieht sich dabei auf die erschwerten und zusätzlichen Maßnahmen wie beispielsweise bei der Arbeitssicherheit (Rutschgefahr, schlechte Sicht, Erfrierung, Verbrennung) oder Erschwernisse bei der Ausführung bei gefrorenem Boden, längeren Abbindezeiten von Beton, eingeschränkte Bewegungsfreiheit aufgrund von Einhausungen oder anderen objektiv zu beurteilenden Maßnahmen und Erschwernissen. Die subjektive Auffassung der Arbeitskräfte ist auf die körperliche Verfassung, Motivation, Gewohnheit zurückzuführen.¹²³

Unter die zusätzlichen Maßnahmen sind jene einzustufen, die für die Leistungserbringung und die Sicherheit direkt erforderlich sind oder bei Nichtdurchführung, einen noch größeren Verlust an Produktivität zur Folge haben.

Neben der Temperatur sind noch Lichtverhältnisse, Niederschlag, Wind, Luftfeuchtigkeit, Nebel und Gewitter als wesentliche Einflussfaktoren für die Reduktion der Produktivität zu nennen.¹²⁴

Produktivitätsverluste infolge von Witterungseinflüssen werden oft in Verbindung mit der Sekundärverzögerung, Verschiebung in eine ungünstige Jahreszeit, genannt.

¹²² HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 76.

¹²³ Vgl. REISTER, D.: Nachträge im Bauvertrag. S. 477.

¹²⁴ Vgl. BORN, B.-L.: Systematische Erfassung und Bewertung der durch Störungen im Bauablauf verursachten Kosten. S. 66. zitiert in: HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 77.; und GREUNE, S.: Darlegung und Bewertung von multiplen Bauablaufstörungen. In: Schriftenreihe - Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft Technische Universität Braunschweig, Heft 55/2014. S. 62.

Sekundärverzögerung

*Sekundärverzögerungen entstehen aufgrund von Behinderungen oder Bauablaufstörungen, die sich als Folgewirkung von Primärverzögerungen ergeben. Hierunter kann z.B. eine witterungsbedingte Unterbrechung verstanden werden, die aufgrund einer zuvor aufgetretenen Baubehinderung oder Bauablaufstörung erst entstehen konnte und bei einem vertragsgemäßen Bauablauf nicht aufgetreten wäre.*¹²⁵

Sekundärverzögerungen beziehen sich respektive auf die Verzögerung, wodurch eine Einwirkung auf den Bauablauf gegeben ist und Produktivitätsverluste resultieren können. Je nach Art und Grad der Anpassung, Ressourcen, Produktionsergebnis oder Bauzeit bzw. Fertigstellungstermin können diesbezüglich Kumulationen und Aggregationen mit anderen Produktivitätsverlusten auftreten.

4.2.2 Arbeitskraft pro Kran

Der Kran ist auf Hochbaubaustellen ein bedeutendes Transport- und Logistikgerät. Eine optimale Kranauslastung ergibt sich, wenn keinerlei Wartezeiten für die Arbeitskräfte entstehen und gleichzeitig die Leerzeiten des Kranes bzw. der Krane ein Minimum aufweisen. Krane sind im Wesentlichen für die Produktionslogistik dimensioniert, müssen jedoch zumeist noch andere Aufgaben, wie die Beschaffungs- oder Entsorgungslogistik, erfüllen. Werden zu wenig Krane eingesetzt, erhöht das die Wartezeiten der Arbeitskräfte, die zu jener Zeit vom Kran abhängig sind und reduziert dadurch – aufgrund der resultierenden Reduktion des Outputs bzw. des Mehraufwandes an Lohnstunden und der resultierenden Steigerung des Inputs – die Produktivität.¹²⁶

Das ausgewogene Verhältnis der Betriebsmittelzeit [h] ist von großer Wichtigkeit auf einer Hochbaubaustelle. Diese setzt sich aus der Brachzeit, der Zeit, in welcher der Kran anderen Nutzungen zugeteilt ist, sowie der eigentlichen Betriebsgrundzeit (alle jeweils in [h]) zusammen. Die Brachzeit ist dabei nicht zu gering anzusetzen, da die Folgen von Produktivitätsverlusten schnell die der Betriebskosten des Kranes übersteigen.¹²⁷

In der nachfolgenden Abbildung 4-1 ist der qualitative Zusammenhang des zuvor beschriebenen Umstandes dargestellt. Dabei sind die 100% Produktivität nicht auf das Gerät bezogen, sondern auf die Arbeitskräfte, die vom Kran abhängig sind.

¹²⁵ REISTER, D.: Nachträge im Bauvertrag. S. 428.

¹²⁶ Vgl. HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 74f.

¹²⁷ Vgl. HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 164.

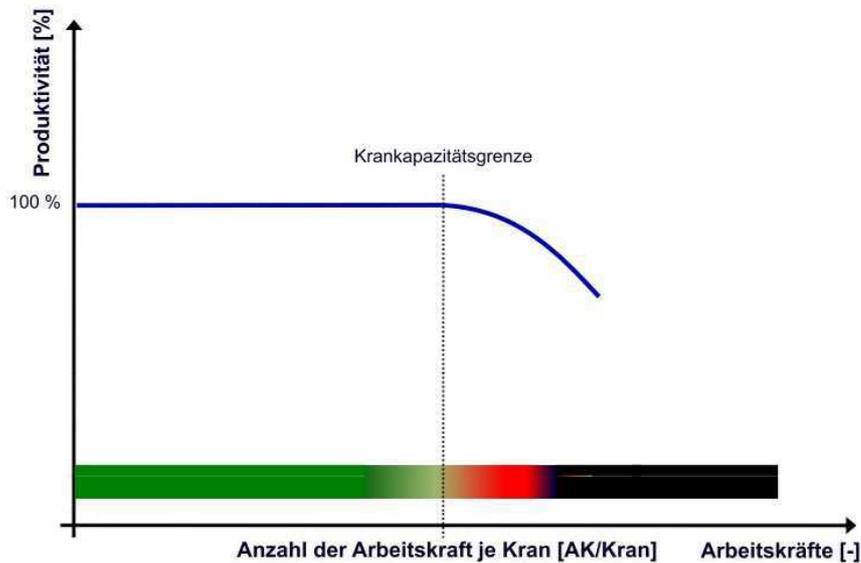


Abbildung 4-1: Qualitativer Zusammenhang zwischen Produktivität und der Anzahl der Arbeitskräfte je Kran nach Hofstadler¹²⁸

Ergibt sich beispielsweise aus platzbedingten Gründen eine zu geringe Anzahl an vorgehaltenen Kranen, so kann dieses Defizit über eine optimierte Beschaffungs- und Entsorgungslogistik, sowohl in zeitlicher Hinsicht als auch im Hinblick auf die Menge, der Bauablaufplanung minimiert werden. Das bedeutet, dass beispielsweise die Beschickungsvorgänge von Werkstoffen zu Randzeiten erfolgen, Transportvorgänge in horizontaler Richtung mit anderweitigem Gerät durchgeführt werden, eventuell andere, kranunabhängige Schalsysteme zum Einsatz kommen, mit der Betonpumpe und nicht mit dem Krankübel betoniert wird, andere Verfahren zur Anwendung kommen oder andere Umstellungen im Bauablauf durchgeführt werden. Diese Umstellungen gehören zur Kategorie der Ressourcenanpassung.

Diese Maßnahmen haben im Vergleich mit einem angemessenen Verhältnis an Arbeitskräften pro Kran trotzdem eine Steigerung des Aufwandes zur Folge. Außerdem stellen Krane das Bindeglied zwischen den parallel ablaufenden Tätigkeiten im Bauablauf dar. Deshalb ergeben ein erhöhter Aufwand und eine längere Bindezeit des Kranes an einer Tätigkeit eine längere Wartezeit der anderen Tätigkeiten, was sich negativ auf die Produktivität der betroffenen Tätigkeiten auswirkt. Krane stellen für den Hochbau ein Bindeglied zwischen den Tätigkeiten dar. Über diese Verbindung können Folgewirkungen aus bereits gestörten Tätigkeiten oder Vorgängen entstehen. Je kürzer die Brachzeit angesetzt ist, desto wahrscheinlicher, intensiver und weitreichender werden diese Folgewirkungen ausfallen.

¹²⁸ HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 75.

Aus den genannten Gründen wird es als ein Vorteil erachtet, wichtige Rahmenbedingungen, die das Aufstellen und Einrichten von Kranen betreffen, schon während der Ausschreibungsphase bekanntzugeben und zu kommunizieren. Dahingehend ist zum Beispiel bei Großbaustellen die Planung und Einteilung der Krane ein bedeutender Punkt. Damit gewerk- und auftragnehmerübergreifend eine optimale Einteilung der Krane gegeben ist, ist eine frühzeitige Planung und Einteilung der Krane für die gesamte Projektdauer, unter Berücksichtigung aller Beteiligten, von Vorteil. Diesbezüglich wird auf Projektebene ein störungsfreier Bauablauf gewährleistet und eine Anpassung der Produktionsfaktoren aufgrund der Anzahl und Standorte der Krane reduziert.

4.2.3 Nicht optimale Arbeitsgruppengröße/Kolonnenbesetzung

Eine häufige Ursache für Produktivitätsverluste bei Störungen im Bauablauf ergibt sich durch die Ressourcenanpassung mit Arbeitskräften. Die nicht optimale Kolonnenbesetzung in Bezug auf die Anzahl und die Qualifikation der Arbeitskräfte wirkt sich negativ auf die Produktionsfaktoren aus.

Für die Arbeitsgruppengröße sind die eingesetzten Produktionsfaktoren, die Komplexität der zu verrichtenden Arbeit in Form des Aufwandswertes sowie die dafür vorgesehene Zeit zu berücksichtigen. Mit den genannten Parametern kann die zu erbringende Leistung ermittelt werden, um in weiterer Folge die dafür benötigte Anzahl an Arbeitskräften zu bestimmen.¹²⁹ Ist die vorgegebene Zeitspanne zur Erbringung der Leistung ausreichend angesetzt, so kann eine in sich produktiv arbeitende Arbeitsgruppengröße gewählt werden. Sind kürzere Zeitspannen vorgesehen und wird eine Leistungssteigerung über die Anpassung der Anzahl an Arbeitskräften durchgeführt, so nimmt die Produktivität überproportional ab.

Die von *Hofstadler* ermittelte qualitative Darstellung zum Verhalten der Produktivität in Abhängigkeit der Arbeitsgruppengröße ist in Abbildung 4-2 ersichtlich. Ausgehend von einer für diese Tätigkeit an diesem Bauwerk optimalen Gruppengröße sinkt die Produktivität bei Über- bzw. Unterschreitung dieser Grenzgröße. Eine Überschreitung hat diesbezüglich einen geringeren Verlust als eine Unterschreitung der optimalen Arbeitsgruppengröße zur Folge.

¹²⁹ Vgl. HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 65.

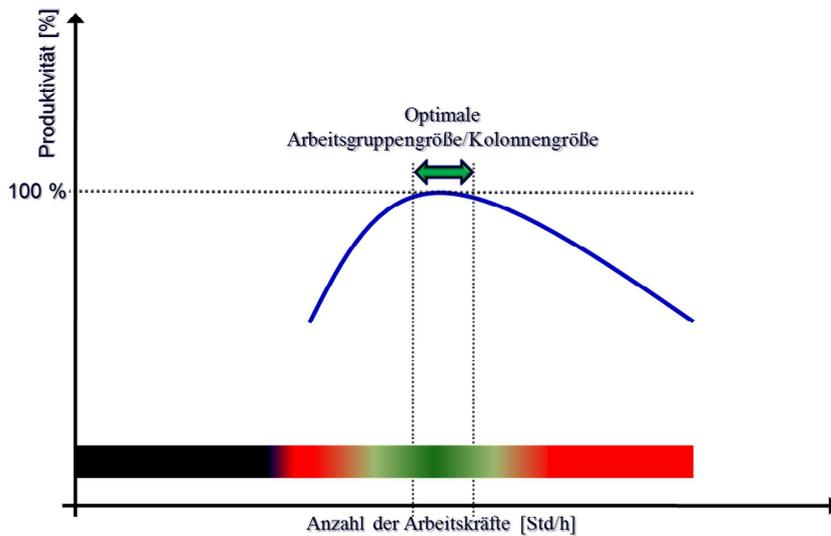


Abbildung 4-2: Verhalten der Produktivität in Abhängigkeit der Arbeitsgruppengröße¹³⁰

Die Auswirkungen von nicht optimalen Arbeitsgruppen – auch bezogen auf die Qualifikation der Arbeitskräfte – sind von *Reister* beschrieben:

- *Erhöhung der ablaufbedingten Wartezeiten und persönlicher Verteilzeiten,*
- *Gegenseitige Behinderung, wenn zu viele Arbeitskräfte an derselben Stelle arbeiten,*
- *geringere Auslastung der Arbeitskräfte, wenn momentan zu wenig Arbeit vorhanden ist,*
- *Unter- oder Überforderung bei falscher Zusammensetzung der Arbeitsgruppe,*
- *schlechtere Zusammenarbeit, wenn ein eingespieltes Team auseinandergerissen oder unzweckmäßig erweitert wird sowie*
- *geringere Leistung, wenn mit Überstunden fehlende Leistungen nachgeholt werden müssen.*¹³¹

Aus dieser Aufzählung ist ersichtlich, dass sich einige Faktoren mit anderen, wie Mindestarbeitsraum, tägliche Arbeitszeit, fachfremder Personaleinsatz überschneiden. Dies kann wiederum je nach Art und Grad der Anpassung zu einer Aggregation und/oder einer Kumulation der Produktivitätsverluste führen.

¹³⁰ HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 66.

¹³¹ REISTER, D.: Nachträge im Bauvertrag. S. 482.

4.2.4 Mindestarbeitsraum

Neben der optimalen Gruppengröße wirkt sich auch die vorhandene Arbeitsfläche bzw. der vorhandene Arbeitsraum auf den effizienten Einsatz der Produktionsfaktoren aus.

In diesem Zusammenhang definiert *Hofstadler* den Begriff der „*Normal-Produktivität*“. Diese entspricht der menschlichen Produktivität, die ein gesunder und für diese Arbeit hinreichend fähiger Arbeiter mindestens im Durchschnitt über die Dauer der Leistungserbringung erbringt. Auch Zeiten für die persönlichen Bedürfnisse und Erholung sind berücksichtigt. Weiters wird erläutert, dass der Mindestarbeitsraum neben der optimalen Arbeitsgruppengröße zu den Grenzgrößen gehört und bei Unterschreitung des Mindestarbeitsraumes Produktivitätsverluste auftreten. Diese Meinung wird auch in der Praxis vertreten, wobei die Auftragnehmer die Verluste höher einschätzen als die Auftraggeber.¹³²

Der Mindestarbeitsraum bezieht sich je nach Vorgang oder Tätigkeit auf die Fläche, Höhe, Länge oder den Raum. Auch der Einsatz von Geräten, Arbeitskräften, Gerätegruppen, /-ketten oder anderer zur Leistungserbringung benötigter Leistungsträger, welche die Vorgänge oder Tätigkeiten ausführen, ändert nichts am Prinzip bzw. der Grenzgröße des Mindestarbeitsraumes.

Wird die Grenzgröße des Mindestarbeitsraumes für das zur Anwendung kommende System – Arbeitskraft und Gerät (soziotechnisches System), Arbeitskräfte, Gerätegruppen etc. – unterschritten, können diese nicht mehr ihre optimale Leistung erbringen und die Produktivität sinkt. Die Arbeitskräfte und Geräte werden in ihrer benötigten Bewegungsfreiheit eingeschränkt. Demzufolge müssen diese zum Beispiel aus einem ungünstigeren Winkel arbeiten, Umwege machen, warten oder andere behindernde Umstände in Kauf nehmen. Aus baubetrieblicher Sicht sinkt dadurch die Produktivität im Vergleich zu einem unbehinderten Arbeitsablauf.

In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass die optimale Anzahl an Fertigungsabschnitten, die Anzahl der Arbeitskräfte und der Mindestarbeitsraum in einer direkten Wechselbeziehung stehen. Ist die optimale Anzahl an Fertigungsabschnitten gefunden, wird die optimale Anzahl an Arbeitskräften für die Fertigungsabschnitte bestimmt. Die optimale Anzahl ist allerdings wiederum über die Mindestarbeitsfläche und die Arbeitsgruppengröße begrenzt. Um ein Minimum der wesentlichen Parameter Vorhaltemenge, Herstellkosten, Produktivitätsverluste, Risiko und zu erbringender Leistung zu finden, muss dieser Prozess als iterativ angesehen werden.

¹³² Vgl. HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 67.

4.2.5 Änderung der Abschnittsgröße

In der Arbeitsvorbereitung sowie in der Planung des Bauablaufes, welche im Vorfeld der Ausführungen stattfinden, werden die für dieses Bauvorhaben mit den vorhandenen Rahmenbedingungen optimalen Abschnittsgrößen ermittelt. In Abschnitt 2.5.3 wurde bereits auf das Prinzip der Fließ- und Taktfertigung eingegangen. Die übergeordnete Unterteilung der Abschnitte erfolgt, je nach Größe des Projektes, beispielsweise in Bauteile, Materialien, Arbeitsschritte oder eine andere Art von Klassifikation (Kellergeschoss, Erdgeschoss, Rohbau, Ausbau, Wände, Decken, Bodenplatten, Aushub, Geländesicherung, Bohren, Injizieren, Spannen etc.). Danach werden diese Abschnitte wiederum in entsprechende Abschnitte unterteilt, die an diverse Bedingungen wie zu erbringende Leistung, Arbeitsgruppengröße, Mindestarbeitsraum etc. gebunden sind. Diese Unterteilung in die Abschnitte ergibt den Arbeitsraum der jeweiligen Kolonne, Gerätegruppe oder Arbeitspartie. Dadurch hat die Größe, Reihen- und Abfolge sowie die Einteilung der Abschnittsgrößen einen wesentlichen Einfluss auf die im Vorfeld entwickelten Arbeitsabläufe, Ressourcen- und Kapazitätenausnutzung.

Die optimale Größe der Fertigungs- oder Arbeitsabschnitte wird nach oben und nach unten begrenzt. Die Anzahl der Arbeitskräfte ist über die zu erbringende Leistung und die vorhandene Bauzeit indirekt vorgegeben. Dadurch ergibt sich die Grenze für kleiner werdende Fertigungsabschnitte einerseits aus die Produktivitätsverlusten (z.B. Mindestarbeitsraum, erhöhte Aufwandswerte aufgrund mehr Arbeitsfugen etc.) und andererseits aus konstruktiven Vorgaben und technologischen Bedingungen (Übergreifungslängen, Stützenraster, keine Fugen etc.). Nach oben hin größer werdende Abschnitte werden häufig durch die Herstellkosten begrenzt, da die Vorhaltemengen mit zunehmender Abschnittsgröße ansteigen.¹³³

Bei einer nachträglichen Änderung können eine oder mehrere dieser Grenzgrößen über- bzw. unterschritten werden. Dahingehend werden sich gegenüber der kalkulierten Produktivität Verluste einstellen. Je nach Störungsanfälligkeit, Parallelität und Interaktion der Tätigkeiten und Arbeitsabläufe kann dies eine erhebliche Störung des geplanten Einsatzes der Produktionsfaktoren darstellen.

Grenzgrößen, die infolge einer nachträglichen Änderung der Abschnittsgröße und aufgrund der Abhängigkeit untereinander ebenfalls erreicht werden, sind unter anderem Arbeitsgruppengröße, Mindestarbeitsraum, Arbeitskräfte pro Kran. Durch den störungsintensiven Charakter dieser Änderung weist diese bei fehlender Anpassung der Bauzeit bzw. des Fertigstellungstermins eine hohe Wahrscheinlichkeit der Aggregation von

¹³³ HOFSTADLER, C.: Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb. S. 92f.

Produktivitätsverlusten auf. Dies erhöht die Reichweite der Störung wesentlich, wodurch die Produktivitätsverluste maßgeblich gesteigert werden.

Zu der beschriebenen Interaktion mit den anderen Grenzgrößen wirken sich nach *Reister* und *Lang*, bezogen auf eine nicht optimale Arbeitsabschnittsgröße, zusätzlich folgende Punkte negativ auf die Produktivität aus:

- Ein Verlust des optimalen Einarbeitungseffektes.
- Eine Erhöhung des Aufwandswertes und des Werkstoffeinsatzes aufgrund steigender Fugen und Ränder.
- Die Rüstzeiten für Betonier-, Schal- und Montagearbeiten erhöhen sich.
- Die Stoffkosten der Schalungssätze steigen an.¹³⁴

Kleinere Arbeitsabschnitte wirken sich negativ auf den Aufwandswert aus und erhöhen den Werkstoffeinsatz und größere Abschnittsgrößen wirken sich auf die Vorhaltemenge aus. Beides hat einen wesentlichen Einfluss auf den geplanten Ressourceneinsatz.

4.2.6 Einarbeitungseffekt

Bis der optimale Einsatz der Produktionsfaktoren erbracht werden kann, wird bekanntlich eine gewisse Einarbeitungszeit benötigt. Dies ergibt sich laut *Lang* aufgrund der mehrfachen Wiederholung eines gleichen oder ähnlichen Arbeitsabschnittes oder Vorganges. Dabei ist zwischen der Einübung, welche sich auf das Erlernen von Fertigkeiten und Fähigkeiten bezieht und als Vorstufe der Einarbeitung gesehen werden kann, und der Einarbeitung zu unterscheiden.¹³⁵

*Die Einarbeitung ist das Überwinden des Ablaufwiderstandes auf der bestimmten Baustelle. Dieser Widerstand kommt durch die technischen und organisatorischen Bauwerksbedingungen, wie z.B. Grundrißgestaltung und Höhenentwicklung, zustande und hemmt die Ausführungen entsprechend.*¹³⁶

¹³⁴ Vgl. REISTER, D.: Nachträge im Bauvertrag. S. 481.; Lang in VYGEN, K. et al.: Bauverzögerung und Leistungsänderung. S. 623.

¹³⁵ Vgl. LANG, A.: Ein Verfahren zur Bewertung von Bauablaufstörungen und zur Projektsteuerung. S. 66f.

¹³⁶ LANG, A.: Ein Verfahren zur Bewertung von Bauablaufstörungen und zur Projektsteuerung. S. 66.

Durch eine mehrfache Wiederholung eines Arbeitsablaufes erhöht sich die Leistungsfähigkeit der Arbeitskräfte. Dies kann nach *Reister* wie folgt dargestellt werden:

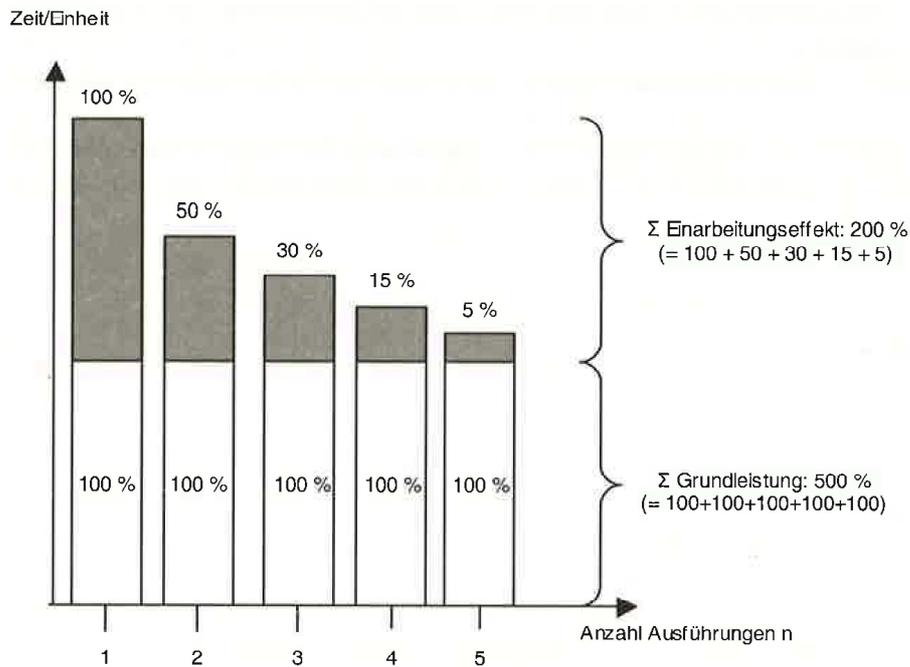


Abbildung 4-3: Reduktion des Aufwandes in Zusammenhang mit der Anzahl der Wiederholungen¹³⁷

Reister unterteilt in Abbildung 4-3 den Aufwand, der für eine Arbeit oder einen Vorgang zu erbringen ist, in zwei Bereiche. Die Grundleistung¹³⁸ oder der Grundaufwand stellen dabei jenen Teil dar, der auch nach der n-ten Wiederholung nicht mehr reduziert werden kann - respektive den unter den vorherrschenden Bedingungen optimalen Einsatz der Produktionsfaktoren. Der zweite Bereich stellt den Einarbeitungseffekt dar. Dieser Bereich kann theoretisch nach der n-ten Wiederholung abgebaut werden, sodass lediglich der Grundaufwand zurückbleibt.

Der Einarbeitungseffekt wird in der Kalkulation durch eine Reduktion der Aufwands- und Leistungswerte berücksichtigt. Tritt eine Störung ein, wird dieser Effekt gehemmt oder im Extremfall gestoppt. Dabei ist von Störungen die Rede, welche durch ihren Charakter als Auswirkung Verzögerungen, Behinderungen, Verschiebungen, Wartezeiten, Wechsel des Einsatzortes oder eine andere Art der Störung der Leistungserbringung zur Folge haben. Inwiefern und inwieweit diese gehemmt oder gestoppt werden, hängt von mehreren Faktoren ab. *Lang* entwickelte ein Kennzahlensystem, um die Produktivitätsverluste infolge des Verlustes des

¹³⁷ REISTER, D.: Nachträge im Bauvertrag. S. 480.

¹³⁸ Anm. sollte der Grundaufwand heißen, da dieser die Einheit des Aufwandswertes Zeit/Enheit aufweist.

Einarbeitungseffektes erfassen zu können. Das System wird hier nicht weiter erläutert, diesbezüglich wird auf *Lang*¹³⁹ oder *Hofstadler*¹⁴⁰ verwiesen. Das System von *Lang* schafft allerdings einen Überblick über die Ein- und Auswirkungen von Unterbrechungen auf den Effekt der Einarbeitung.

Kriterien für die Reduktion des Einarbeitungseffektes nach *Lang*:¹⁴¹

- Zeitpunkt und Länge der Störung,
- Zusammensetzung und Lernfähigkeit der Arbeitskolonne,
- Schwierigkeitsgrad der Tätigkeit (bauwerksspezifische Eigenschaften),
 - Bauten mit geringem Aufwand, geometrisch einfache und gleichbleibende Höhen, Formen, Querschnitte und Geräte
 - Bauten mit normalem Aufwand, veränderliche Höhen, Formen, Querschnitte und Geräte
 - Bauten mit sehr hohem Aufwand, Ingenieurbauten wie Tunnel, Brücken etc.

Je nach Länge der Unterbrechung wird der Einarbeitungseffekt gehemmt oder ganz unterbrochen. Das Kriterium der Arbeitskolonne lässt sich im Wesentlichen auf die Qualifikation und die Motivation der Arbeitskräfte zurückführen. Die bauwerksspezifischen Eigenschaften haben einen wesentlichen Einfluss auf den Grad des Einarbeitungseffektes. Demzufolge haben Gebäude mit komplexen Gebäudeformen und unregelmäßig wechselnden Höhen, Stärken, Querschnitten und Formen einen geringen Einarbeitungseffekt und weisen höhere Aufwands- und Leistungswerte auf als vergleichbare Bauteile in anderen Projekten mit einer höheren Wiederholungsrate.

Den oben genannten Kriterien ist noch jenes der Arbeitsvorbereitung hinzuzufügen. Dieses hat ebenfalls einen Einfluss auf den Einarbeitungseffekt. Eine Arbeitsvorbereitung reduziert den Einarbeitungseffekt in relativer Hinsicht, da sich die Aufwands- und Leistungswerte ebenfalls reduzieren. Dahingehend ist eine Leistungssteigerung schwerer möglich als ohne Arbeitsvorbereitung. Allerdings reduziert sich der Aufwand absolut gesehen deutlich, weshalb eine Arbeitsvorbereitung durchaus als sinnvoll zu erachten ist.

¹³⁹ LANG, A.: Ein Verfahren zur Bewertung von Bauablaufstörungen und zur Projektsteuerung. S. 82ff.

¹⁴⁰ HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 83ff.

¹⁴¹ LANG, A.: Ein Verfahren zur Bewertung von Bauablaufstörungen und zur Projektsteuerung. S. 82ff.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass je nach Art und Intensität der Einwirkung sowie der Art und Komplexität des Gebäudes, Einarbeitungseffekte mehr oder weniger eintreten und mehr oder weniger Auswirkung auf die Produktivität haben. Sind allerdings Einarbeitungseffekte vorhanden und werden diese gehemmt oder gestoppt, haben Einarbeitungseffekte einen störungsintensiven Charakter. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die geplanten Aufwandswerte nicht erreicht werden. Demzufolge finden Umdisponierungen statt und die Produktionsfaktoren werden angepasst. Dies hat zumeist mehrere in diesem Abschnitt aufgezählte Ursachen für Produktivitätsverluste zufolge. Diese kombinieren sich möglicherweise mit anderen Grenzgrößen, was wiederum eine Kumulation oder eine Aggregation hervorrufen kann.

4.2.7 Wechsel/Umsetzen des Einsatzortes

Unabhängig vom Grund der Umsetzung des Einsatzortes, führt diese ebenfalls zu Produktivitätsverlusten. Dabei ist der Verlust der Produktivität wiederum von mehreren Faktoren abhängig. Wird nur der Arbeitsort von einem Abschnitt in einen anderen verlegt, führen die Arbeitskräfte jedoch noch dieselbe Arbeit aus und sind die benötigten Materialien und Geräte vorhanden, wird sich nur die Zeit des Wechsels des Einsatzortes bemerkbar machen. Diese Art des Einsatzortwechsels wird wahrscheinlich des Öfteren vorkommen und hat keine intensiven Auswirkungen.

Sind allerdings größere Wechsel erforderlich und müssen dazu Material und Gerätschaften versetzt werden, nimmt das Umsetzen nicht nur mehr Zeit in Anspruch, sondern kann beispielsweise über die Bindung des Kranes noch andere Arbeiten beeinflussen. Sind die Arbeiter für andere Tätigkeiten eingesetzt als zuvor, ergeben sich neben den Produktivitätsverlusten aus dem Verlust des Einarbeitungseffektes und dem nicht kontinuierlichen Arbeitslauf zusätzliche Produktivitätsverluste, wie nicht optimale Kolonnenbesetzung (für die jeweilige Arbeit), fachfremder Personaleinsatz, eventuell Mindestarbeitsraum, Arbeitskräfte pro Kran etc.

Ursachen für ein unplanmäßiges Umsetzen und einen daraus resultierenden nicht kontinuierlichen Arbeitsfluss, können beispielsweise sein:

- Fehlende, falsche oder kurzfristig geänderte Pläne; diese haben Verzögerungen zur Folge, weshalb entweder die Vorleistungen noch nicht abgeschlossen sind oder das Ausführen der geplanten Leistung noch nicht möglich ist.
- Bereits bestehende Leistungen werden nachträglich geändert; dies hat ebenfalls Auswirkungen auf die Nachfolger, welche ausweichen müssen.
- Zu geringe Krankapazitäten; wenn möglich, werden kranunabhängig Arbeiten ausgeführt.

- Fehlen von Vorleistungen im Allgemeinen; dadurch können die geplanten Leistungen nicht ausgeführt werden, weshalb umdisponiert werden muss.¹⁴²

Als Folge solcher Umdisponierungen werden von *Reister* beispielsweise

- Rüstzeiterhöhung,
- unwirtschaftliche Krantransporte,
- lohnintensiver Umbau von Werkzeug, Geräten, Arbeitsplätzen sowie Sicherheitsmaßnahmen¹⁴³

genannt.

4.2.8 Nicht kontinuierlicher Arbeitsablauf

Die Ursache des nicht kontinuierlichen Arbeitsablaufes umfasst größtenteils die psychologischen Gründe, welche zumeist in einem Motivationsverlust resultieren. Sowohl *Lang* als auch *Reister* sind sich diesbezüglich einig, dass ein diskontinuierlicher Arbeitsablauf sich negativ auf den Arbeitsfluss und den Arbeitswillen auswirkt. Durch das Fehlen klarer Arbeitsziele sowie einer fehlende Übersicht reduziert sich die Leistungsfähigkeit der Arbeitskräfte dahingehend, dass sie den Sinn der Arbeit nicht erkennen oder ihnen die Übersicht über die geleistete bzw. die noch zu leistende Arbeit fehlt.¹⁴⁴

Greune beschreibt den resultierenden Produktivitätsverlust infolge des fehlenden Arbeitsflusses wie folgt:

*Die fehlende Kontinuität im Arbeitsfluss führt dazu, dass die Arbeitskräfte oder die Kolonne im Unklaren darüber sind, welche Tätigkeiten nach Vollendung der derzeit ausgeführten Tätigkeit angeschlossen werden können. Dadurch fehlt es an der erforderlichen Übersicht über die kommenden Arbeiten und Arbeitsziele, die jedoch eine Grundvoraussetzung ist, um die eigene Leistungsfähigkeit über einen Arbeitstag disponieren zu können.*¹⁴⁵

Das Ziel eines jeden Bauablaufes ist ein kontinuierlicher Arbeitsfluss. Dies wird durch eine entsprechende Arbeitsvorbereitung und Bauablaufplanung erreicht. Treten Störungen auf, welche diesen Ablauf beeinträchtigen, müssen sich die Betroffenen auf den neuen Ablauf einstellen. Dahingehend ist der neu disponierte Ablauf ebenfalls ausschlaggebend

¹⁴² Vgl. HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 85.

¹⁴³ Vgl. REISTER, D.: Nachträge im Bauvertrag. S. 480.

¹⁴⁴ Vgl. Lang in VYGEN, K. et al.: Bauverzögerung und Leistungsänderung. S. 629.; REISTER, D.: Nachträge im Bauvertrag. S. 483.

¹⁴⁵ GREUNE, S.: Darlegung und Bewertung von multiplen Bauablaufstörungen. In: Schriftenreihe - Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft Technische Universität Braunschweig, Heft 55/2014. S. 71.

für die Intensität der Produktivitätsverluste aus diskontinuierlichem Arbeitsablauf. Was wiederum bedeutet, dass im Falle einer Umstellung von Abläufen eine ausreichende Zeitspanne für die Planung eines adäquaten Ablaufplanes gegeben ist. Bei sorgfältiger Planung dieser Änderung werden die Produktivitätsverluste auf jene, welche im Abschnitt über das Umsetzen des Arbeitsplatzes erörtert wurden, reduziert.

4.2.9 Tägliche Arbeitszeit, Überstunden und Schichtarbeit

Zu diesem Thema wird hauptsächlich auf die dementsprechende Literatur aus der Arbeitspsychologie verwiesen. Dahingehend sind *Lehmann*¹⁴⁶, *Frieling/Sonntag*¹⁴⁷ und *Eberhard*¹⁴⁸ zu erwähnen. *Eberhard* stellt dabei die aktuellste und *Lehmann* die älteste Quelle dar, was bei einer qualitativen Verwendung bedacht werden sollte.

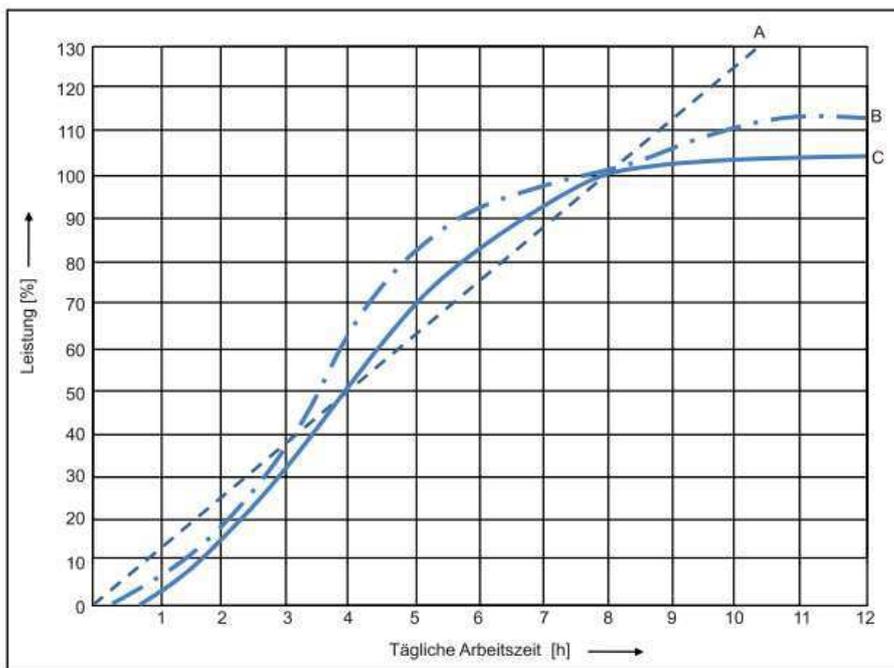


Abbildung 4-4: Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit der täglichen Arbeitszeit nach *Lehmann*¹⁴⁹

Abbildung 4-4 beschreibt den Verlauf der Leistungsfähigkeit über einen Arbeitstag. Die Dauer eines Arbeitstages und die zu erbringende Leistung wurden mit acht Stunden zu 100 % angesetzt. Der Verlauf der drei

¹⁴⁶ LEHMANN, G.: Praktische Arbeitspsychologie.

¹⁴⁷ FRIELING, E.; SONNTAG, K.: Lehrbuch Arbeitspsychologie.

¹⁴⁸ EBERHARD, U.: Arbeitspsychologie.

¹⁴⁹ LEHMANN, G.: Praktische Arbeitspsychologie. S. 391. zitiert in HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 134.

Kurven stellt einen schematischen Verlauf dar, der zur Verdeutlichung der Produktivitätsverluste bzw. der reduzierten Leistungsfähigkeit bei Überstunden herangezogen wird. Auf aktuelle Literatur wird im Weiteren verwiesen.

Kurve A beschreibt einen linearen Verlauf, proportional zur täglichen Arbeitszeit. Dieser Verlauf stellt ein Extrem dar und ist kaum von einem Menschen in der Praxis in dieser Form zu erbringen. Am wahrscheinlichsten tritt ein solches Leistungsbild ein, wenn eine körperlich und geistig äußerst wenig beanspruchende Arbeitsform ausgeführt wird, bei der das Gerät den Takt vorgibt. *Kurve B* beschreibt die Leistungsfähigkeit einer Arbeitskraft bei mäßig anstrengenden Arbeiten mit einer gewissen Rüstzeit (unabhängig der täglichen Arbeitszeit) zu Beginn und am Ende der Kurve. Unter Arbeit wird sowohl die körperliche als auch die geistige Arbeit verstanden. Dabei ist zu Beginn ein etwas flacherer Anstieg, gefolgt von einem steilen und einer wieder abflachenden Verlauf der Kurve bis zur achten Stunde dargestellt. Dieser Verlauf stellt die Anlaufphase, gefolgt von einem konstant hohen Leistungsniveau, dar, das wiederum nach ca. sieben Stunden aufgrund von Ermüdung abflacht. Das Ansteigen der Leistung stellt sich nur bei entsprechend kurzen Arbeitszeiten ein. Nach der achten Stunde stellt sich bei mäßig anstrengenden Arbeiten nochmals eine Leistungssteigerung ein, die aber nach ungefähr elf Stunden keine Steigerungen mehr aufweist. *Kurve C* beschreibt einen vergleichsweise ähnlichen Verlauf wie Kurve B, jedoch mit einer längeren Vorbereitungszeit und einem allgemein flacheren Verlauf. Zusätzlich ist nach acht Stunden kein markanter Anstieg der Leistung zu erkennen, diese scheint zu stagnieren.¹⁵⁰

Es wird darauf hingewiesen, dass die arbeitspsychologische Erkenntnis von *Lehmann* eine qualitative Darstellung repräsentiert und daraus keine zahlenbasierten Werte abzuleiten sind.

Produktivitätsverluste infolge einer erhöhten täglichen Arbeitszeit, sind auf eine höhere Anzahl an Erholungspausen, den Verlust an Motivation und das zunehmende Risiko von Fehlern und sich daraus ergebender Nachbesserungsarbeiten zurückzuführen. Das Ausmaß dieser Auswirkungen kann wie folgt zusammengefasst werden:

- Dauer der erhöhten Arbeitszeit bezogen auf
 - Überstunden je Arbeitstag und
 - Anzahl an Arbeitstagen,
- Mitteilungszeitpunkt der längeren Arbeitszeiten,
 - kurzfristig oder langfristig,

¹⁵⁰ Vgl. LEHMANN, G.: Praktische Arbeitspsychologie. S. 338ff.

- Jahreszeit und Witterungsverhältnisse,
- Art der Arbeit,
 - Schwierigkeitsgrad und Komplexität,
 - Leistung von Gerät oder Arbeitskraft,
- Intensität der körperlichen und geistigen Auslastung,
- Entlohnungssystem (Stundenbasis, Akkordlohn) und Wohnsituation (Firmenquartier oder Zuhause).¹⁵¹

Auch das Thema der Nachtarbeit fällt in den Bereich der täglichen Arbeitszeit. *Greune* erläutert dazu:

*Bei Nachtarbeit muss die Arbeitskraft entgegen der natürlichen Steuerung nachts aktiv sein und tagsüber schlafen. Dies stellt eine zusätzliche Belastung zur normalen Arbeitstätigkeit dar, die zu verminderter Leistungsfähigkeit und zu Müdigkeit der Arbeitskraft führt. Produktivitätsverluste gegenüber einer Tagschichtarbeitskraft sind die logische Folge.*¹⁵²

Die hier aufgezählten Autoren stehen nur beispielhaft für eine große Bandbreite an Autoren, die Studien zum Thema der täglichen Arbeitszeit sowie Überstunden und Schichtarbeit sowohl im deutschsprachigen als auch im englischsprachigen Raum durchgeführt haben. Dahingehend wird auf *Hofstadler*¹⁵³ verwiesen, der einen Vergleich mehrerer Autoren zum Thema „Effektive Leistung bezogen auf die tägliche Arbeitszeit“ erarbeitet hat.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass eine konstante Leistungserbringung über einen gewissen Zeitraum unrealistisch ist und je länger die Arbeitskraft arbeitet, abhängig vom Grad der Anstrengung, nimmt die Leistung nach ca. acht bis zehn Stunden ab. Darüber hinaus hat Nachtarbeit eine verringerte Produktivität gegenüber der Arbeit, die am Tag verrichtet wird. Dies ergibt sich nicht ausschließlich aus den Sichtverhältnissen und anderen Umgebungsbedingungen, sondern ist auch auf den menschlichen Bio-Rhythmus zurückzuführen.

4.2.10 Fachfremder Personaleinsatz

Hinsichtlich diskontinuierlichem Arbeitsfluss, fehlenden Genehmigungen, Vorleistungen oder Ausführungsplänen kann es infolge dessen zur Umdisponierung einzelner Arbeitskräfte oder ganzer Kolonnen kommen. Die

¹⁵¹ HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 79.

¹⁵² GREUNE, S.: Darlegung und Bewertung von multiplen Bauablaufstörungen. In: Schriftenreihe - Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft Technische Universität Braunschweig, Heft 55/2014. S. 74.

¹⁵³ Vgl. HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 466ff.

Arbeitskräfte sind zumeist auf eine oder mehrere Arbeiten spezialisiert. Werden diese nun anderweitig eingesetzt, reduziert sich die Leistung dieser Arbeitskräfte einerseits aufgrund der fehlenden Erfahrung und dem fehlenden Spezialisierungsgrad und andererseits infolge der gesunkenen Motivation aufgrund der fehlenden Qualifikation und der reduzierten gewohnten Leistungsfähigkeit. *Reister* meint dazu: Wird ein

*[...] entsprechend spezialisierter Mitarbeiter in einem anderen Aufgabenbereich und damit fachfremd eingesetzt, so liegt es auf der Hand, dass dieser Mitarbeiter nicht seine volle, sonst übliche Leistung erbringen kann.*¹⁵⁴

4.2.11 Planinhalt, Planvorlauf und Planungsqualität

Da zum Zeitpunkt der Auftragskalkulation noch nicht erforderliche der Detaillierungsgrad der Planung erreicht werden kann, weist die in diesem Zuge stattfindende Arbeitsvorbereitung entsprechende Ungenauigkeiten auf. Diese Ungenauigkeiten werden im Zuge der Ausführung geklärt und angepasst. Baubegleitende Planung ist ein wesentlicher Grund, weshalb die Produktionsfaktoren nicht optimal eingestellt werden können. Je nach Grad der Abweichung zwischen der Planung, welche als Grundlage für die Erstellung der Arbeitsvorbereitung bzw. Grobablaufplanung herangezogen wurde, und der tatsächlichen Ausführungsplanung, ergibt sich eine mehr oder weniger intensive Auswirkung auf den geplanten Ressourceneinsatz. Davon sind sowohl die elementaren als auch die dispositiven Produktionsfaktoren betroffen. Dahingehend sind – bezogen auf das Ausmaß der Störung – sowohl singuläre als auch universale Störungen möglich.

Grundsätzlich ist das Ausmaß der Störung von den drei Kriterien,

- Planvorlauf,
- Planinhalt und
- Planungsqualität,

abhängig. Diese bestimmen im Wesentlichen, wie umfangreich eine Abweichung vom Geplanten ist, wann darauf reagiert werden kann und ob diese klar und unmissverständlich sind oder ob Rücksprachen- und zusätzlicher Informationsbedarf besteht oder nicht. Bei einer geringen Planungsqualität kommt hinzu, dass die Planung einerseits fehleranfällig hinsichtlich der Unübersichtlichkeit bei Nichteinhaltung der entsprechenden darstellungstechnischen Richtlinien, Normen und Leitlinien ist und andererseits inhaltliche Fehler aufweisen kann. Beides hat zur Folge, dass bereits ausgeführte Arbeiten eventuell wieder rückgebaut und er-

¹⁵⁴ REISTER, D.: Nachträge im Bauvertrag. S. 481.

neut ausgeführt werden müssen, Ausbesserungen nötig sind, zusätzliche Arbeiten oder andere Maßnahmen erforderlich werden.¹⁵⁵

Infolgedessen wird nochmals die Reihenfolge der Planung nach *HOAI* aufgezählt. Es ist darauf zu achten, dass die Ausführungsplanung vor der Vergabe abzuschließen ist.¹⁵⁶

- 1. *Grundlagenermittlung*
- 2. *Vorplanung*
- 3. *Entwurfsplanung*
- 4. *Genehmigungsplanung oder Einreichplanung*
- 5. *Ausführungsplanung*
- 6. *Vorbereitung der Vergabe*
- 7. *Mitwirken bei der Vergabe*
- 8. *Bauoberleitung*
- 9. *Objektbetreuung*

Würden die Projektphasen bzw. die Planungsphasen auch in der Praxis so zur Anwendung kommen, würden sich die konstruktiven und planungstechnischen Unklarheiten während der Ausführung erheblich reduzieren.

4.2.12 Nachtragsleistungen

Nachtragsleistungen bzw. Änderungen, welche sich nach der Auftragsvergabe ergeben, stellen eine Störung im geplanten Bauablauf dar. Diese Nachtragsleistungen lassen sich größtenteils auf das Leistungsänderungsrecht¹⁵⁷ zurückführen. Diese Änderungen sind als Einwirkungen auf den Bauablauf oder auf Tätigkeiten und Vorgänge zu erachten und stellen einzelne, kumulierte oder aggregierte Auswirkungen dar. Dahingehend sind Anpassungen erforderlich, die bei Erreichung der Grenzgrößen als Produktivitätsverluste resultieren.

Der derzeitige Preisdruck hat dazu geführt, dass seitens der Auftragnehmer eine gewisse Erwartung bezüglich Nachtragsleistungen vorliegt. Diese werden dennoch als Störungen im Bauablauf erachtet, da Nachtragsleistungen von Seiten der Auftragnehmer als nicht planbar erachtet werden. Inwieweit Nachtragsleistungen miteinzukalkulieren sind, ist nicht eindeutig geklärt. Dahingehend wird in der einschlägigen Literatur von

¹⁵⁵ Vgl. HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 86ff.

¹⁵⁶ SPRINGER FACHMEDIEN WIESBADEN: HOAI 2013-Textausgabe. S. 34.

¹⁵⁷ Siehe dazu Abschnitt 3.2 – Leistungsänderungsrecht.

einer üblichen Anzahl und einem üblichen Ausmaß von Nachtragsleistungen gesprochen. Diesbezüglich gibt es allerdings keine konkreten Zahlen oder Angaben, was das übliche Ausmaß bzw. die übliche Anzahl an Nachtragsleistungen ist. Der Umstand, dass das übliche Ausmaß und die übliche Anzahl nicht eindeutig definiert werden können, ist auf den Charakter der Einzelstückfertigung und auf den Umstand, dass die Projekte unterschiedliche Störungsanfälligkeiten und Störungsintensitäten aufweisen, zurückzuführen.¹⁵⁸

Die Nachtragsleistungen werden seitens der Auftraggeber als nicht planbar eingestuft.

*Das Problem für den Auftragnehmer liegt in dieser Nichtplanbarkeit der Änderungen einerseits, was sowohl in zeitlicher Hinsicht als auch in Hinsicht auf den technischen Inhalt gilt, und der Ausführungsverpflichtung der Änderungsanordnung andererseits begründet.*¹⁵⁹

Dem wird allerdings nur bedingt zugestimmt. Nachtragsleistungen sind verglichen mit anderen Rahmenbedingungen wie der Witterung ebenfalls in Anzahl und Ausmaß unbekannt. Jedoch müssen diese bei der Kalkulation berücksichtigt werden. Im Falle der Witterungen gibt es Richtlinien und Normen, die dies regeln. Im Hinblick auf Nachtragsleistungen gibt es allerdings keine Regelwerke, die ein kalkulierbares von einem nicht kalkulierbaren Maß eindeutig unterscheiden. Dieses Regelwerk würde vor der Herausforderung stehen, eine Einstufung der Störungsintensität und der Störungsanfälligkeit sowie eine Einschätzung der komplexen Wechselwirkung zwischen Einwirkung, Auswirkung und Folgewirkung als auch der daraus resultierenden Kumulation und Aggregation dieser zu entwickeln.

Weiters erläutert Greune:

*Je mehr Nachtragsleistungen ausgeführt werden müssen und je umfangreicher die Änderungen sind, desto größer wird die Beeinflussung des Bauablaufs. Es werden dann zunehmend auch solche Leistungen beeinträchtigt, die inhaltlich von der ursächlichen Planungsänderung nicht betroffen sind.*¹⁶⁰

Das heißt, dass je intensiver die Störung und je anfälliger das Projekt, desto weitreichender sind die Auswirkungen. Somit sind die Nachtragsleistungen neben anderen Rahmenbedingungen als übergeordnete Ursachen für Produktivitätsverluste zu erachten. Diese stellen allerdings trotzdem Grenzgrößen dar und haben die in diesem Abschnitt erläuterten Ursachen für Produktivitätsverluste als Auswirkung. Aufgrund des

¹⁵⁸ Vgl. GREUNE, S.: Darlegung und Bewertung von multiplen Bauablaufstörungen. In: Schriftenreihe - Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft Technische Universität Braunschweig, Heft 55/2014. S. 75f.

¹⁵⁹ GREUNE, S.: Darlegung und Bewertung von multiplen Bauablaufstörungen. In: Schriftenreihe - Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft Technische Universität Braunschweig, Heft 55/2014. S. 76.

¹⁶⁰ GREUNE, S.: Darlegung und Bewertung von multiplen Bauablaufstörungen. In: Schriftenreihe - Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft Technische Universität Braunschweig, Heft 55/2014. S. 76.

Charakters der Einwirkung, treten häufig Kumulationen und Aggregationen von Produktivitätsverlusten auf. Diese sind äußerst schwierig nachzuweisen und beschränken sich nicht auf einzelne Tätigkeiten, Arbeitsabläufe, Abschnitte oder Gewerke. Eine ausreichend große Anzahl an Nachtragsleistungen kann, abhängig von den Eigenschaften des Projektes im Hinblick auf Störungsanfälligkeit und Störungsintensität, über die resultierenden indirekten Störungen und den sogenannten Welleneffekt, das Ausmaß einer globalen Störung annehmen.

In der Literatur werden Nachtragsleistungen bzw. die Anzahl und das Ausmaß dieser zumeist als Ausgangsgrundlage für „Kumulierungswirkungen“¹⁶¹ erachtet. Diese treten unabhängig der Sphäre auf. Eine Aggregation von Produktivitätsverlusten ist das Ergebnis einer Intensivierung der Störung, infolge der Interaktion mit anderen Produktivitätsverlusten und Einwirkungen in Kombination mit dem nicht linearen Verlauf der Produktivitätsverluste.

Somit wurden in Abschnitt 4.2 die Grenzgrößen sowie die daraus resultierenden Produktivitätsverluste bei Über- bzw. Unterschreitung dieser erläutert. Im Folgenden wird die Abgrenzung bezogen auf das Verhalten der gegenseitigen Beeinflussung von Produktivitätsverlusten erläutert.

4.3 Diskrete Produktivitätsverluste

Treten mehrere Produktivitätsverluste gleichzeitig auf, besteht die Möglichkeit der gegenseitigen Beeinflussung. Infolge dieser Beeinflussung können sich die Produktivitätsverluste hochschaukeln (ausgehend von einer Intensitätssteigerung) und dadurch an Intensität zunehmen. Tritt keine gegenseitige Beeinflussung auf, kann die Intensität der einzelnen Produktivitätsverluste aufsummiert werden. Dieses Verhalten wird als Kumulation (Aufsummierung) und Aggregation (Aufschaukelung) bezeichnet.

Ob ein kumulatives oder ein aggregatives Verhalten von Produktivitätsverlusten vorliegt, ist von der gegenseitigen Beeinflussung über Abhängigkeiten und Beziehungen bestimmt. Damit eine Differenzierung zwischen Kumulation und Aggregation durchgeführt werden kann, wurde nach einem Begriff gesucht, welcher dieses Verhalten beschreibt.

4.3.1 Begriffsdefinition

In der Mathematik wird der Begriff *diskret* verwendet, um einen isolierten, in sich abgeschlossenen Bereich (bzw. Menge) zu beschreiben. Dahin-

¹⁶¹ Kumulierungswirkungen bedeutet Aggregation; siehe dazu Abschnitt 4.7.1

gehend wird das Adjektiv diskret in Kombination mit Teilmengen, Wahrscheinlichkeitsräumen, Topologie etc. verwendet.

Beispielsweise wird der diskrete Wahrscheinlichkeitsraum wie folgt definiert:

Ein diskreter Wahrscheinlichkeitsraum (W-Raum) ist ein Paar (Ω, P) , wobei Ω eine nichtleere endliche oder abzählbar-unendliche Menge und P eine auf den Teilmengen von Ω definierte reellwertige Funktion mit folgenden Eigenschaften ist:

- | | |
|--|--------------------------|
| a) $P(A) \geq 0$ für $A \subset \Omega$, | (Nichtnegativität) |
| b) $P(\Omega) = 1$, | (Normiertheit) |
| c) $P(\sum_{j=1}^{\infty} A_j) = \sum_{j=1}^{\infty} P(A_j)$ | (σ -Additivität) |
- falls A_1, A_2, \dots disjunkte Ereignisse sind.¹⁶²*

Die diskrete Topologie ist folgendermaßen definiert:

Für jede Menge X ist $\langle X, P(X) \rangle$ ein topologischer Raum. $P(X)$ heißt die diskrete Topologie auf X . Jedes $P \subseteq X$ ist hier offen und abgeschlossen.¹⁶³

Eine weitere Definition zur diskreten Topologie sowie zur indiskreten Topologie liefern *Deiser et al*:

Nun ist $\{\emptyset, X\}$ für jede Menge X eine Topologie. In diesem topologischen Raum sind \emptyset und X die einzigen abgeschlossenen Mengen. Ein Punkt ist daher in dieser Topologie nur dann abgeschlossen, wenn dieser Punkt das einzige Element von X ist. Die Topologie $\{\emptyset, X\}$ auf X heißt indiskrete Topologie auf X (jeder Punkt liegt in jeder Umgebung jedes anderen Punktes, so dass jeder Punkt jedem anderen Punkt beliebig nahe ist). Die Menge aller Teilmengen von X ist ebenso eine Topologie. Sie heißt die diskrete Topologie auf X (jeder Punkt besitzt eine Umgebung, die keinen weiteren Punkt enthält, so dass kein Punkt einer Menge, die ihn nicht enthält, beliebig nahe ist).¹⁶⁴

Somit beschreibt das Adjektiv diskret in der Mathematik eine Menge aller Teilmengen in welcher jeder Punkt seine eigene Umgebung besitzt, die wiederum keine Punkte einer anderen Teilmenge enthält.

Der Begriff indiskret wird in der Definition von *Deiser et al* ebenfalls erläutert. Dieser Begriff wird allerdings in dieser Arbeit nicht weiter verwendet. Es werden weiterhin die Begriffe *diskret* und *nicht diskret* verwendet.

Die Definitionen des Begriffes „diskret“ bzw. der Abwandlung „Diskretisierung“ werden im Folgenden für das Verhalten von Produktivitätsverlusten und im Weiteren von Einwirkungen angewendet.

¹⁶² HENZE, N.: Stochastik für Einsteiger- Eine Einführung in die faszinierende Welt des Zufalls. S. 179.

¹⁶³ DEISER, O.: Reelle Zahlen - Das klassische Kontinuum und die natürlichen Folgen. S. 520.

¹⁶⁴ DEISER, O. et al.: 12x12 Schlüsselkonzepte zur Mathematik. S. 229.

4.3.2 Baubetriebliche Bedeutung

Produktivitätsverluste, die in sich abgeschlossen sind und mit keinen anderen Produktivitätsverlusten über Grenzgrößen oder andere Beziehungen und Abhängigkeiten in Verbindung stehen, sind als diskret zu betrachten. Stehen diese allerdings in einer Verbindung bzw. beeinflussen sich Produktivitätsverluste gegenseitig, weisen diese ein nicht diskretes Verhalten auf. Somit ist der diskrete Bereich für Produktivitätsverluste durch die Beeinflussung anderer Produktivitätsverluste definiert.

Auf Einwirkungen bezogen bedeutet diskretes Verhalten, dass diese, aus baubetrieblicher Sicht, im diskreten Bereich abgeschlossen sind und sich nicht weiter ausbreiten. Der diskrete Bereich bezieht sich auf eine oder mehrere Tätigkeiten *im Vorgang*. Generell kann der diskrete Bereich aufgrund des Betrachtungsmaßstabes angepasst werden.

Werden beispielsweise mehrere Projekte gestört, kann das einzelne Projekt als diskreter Bereich interpretiert werden. Um die Auswirkungen der gegenseitigen Beeinflussung von unterschiedlichen Projekten zu ermitteln, ist ein vorgangsbezogenes Ablaufschema, wie es in Abschnitt 4.6 erläutert wird, wahrscheinlich zu aufwendig, die gezeigte Systematik ist allerdings identisch.

In dieser Arbeit wird der diskrete Bereich für Einwirkungen auf den Vorgang bezogen.

Im Weiteren wird auf die Bedeutung, Typen, Reichweite und Definition (für diese Arbeit) der Störung eingegangen.

4.4 Die Störung des Bauablaufes

Störungen, die auf den Arbeitsablauf bzw. auf die Produktionsfaktoren in einem Bauprozess einwirken, sind umfangreich. Mindestens so umfangreich wie die Einwirkungen sind die daraus resultierenden Auswirkungen. Je nach Art, Umfang und Intensität der Einwirkung sowie der Störungsanfälligkeit eines Projektes kann aus einer Einwirkung eine oder multiple Auswirkungen entstehen. Ebenso können aus multiplen Einwirkungen mehr oder weniger Auswirkungen entstehen. Dieser Sachverhalt wurde vereinfacht in der folgenden Abbildung 4-5 dargestellt.

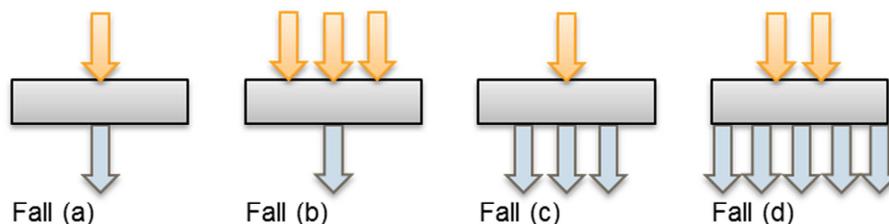


Abbildung 4-5: Singuläre und multiple Ein- und Auswirkungen

Die Anzahl der einwirkenden Störungen sowie der Auswirkungen sind naturgemäß vom Betrachtungsmaßstab abhängig. Abbildung 4-5 Fall (a) beschreibt eine einzelne Einwirkung mit einer einzelnen Auswirkung als Folge. Als Beispiel für eine einzelne Einwirkung mit einer diskreten singulären Auswirkung kann die Verschiebung des Baubeginnes um ein Jahr infolge der nicht erhaltenen Baugenehmigung sein – vorausgesetzt die Auftragskalkulation wird vor der tatsächlichen Ausführung angepasst. Ein anderes Beispiel kann sein, dass aufgrund eines Regenereignisses alle Arbeitskräfte eine gewisse Anzahl an Überstunden erbringen müssen, um alle Arbeiten wie geplant abzuschließen. Ein Ereignis mit weniger Tragweite ist, dass eine Arbeitskraft – die für diesen Zweck bereitgestellt wurde – eine Nachbesserungsarbeit aufgrund eines Mangels an einer Sichtbetonoberfläche ausführt. Wird davon ausgegangen, dass diese Tätigkeit keine nachfolgenden Tätigkeiten beeinflusst, ist die Einwirkung der aufgetretene Mangel und die Auswirkung die erforderliche Ausbesserungsmaßnahme.

Fall (b) stellt den Umstand dar, dass auf ein Projekt mehrere Störungen einwirken (unzureichende Planungsqualität, außergewöhnlich früher Wintereinbruch, große Anzahl an Änderungen, zu wenig Krane bereitgestellt, nicht ausreichend Kapazitäten verfügbar etc.) mit der Folge, dass die Anzahl, die Zuordnung, die Dokumentation und auch die einzelnen Auswirkungen nicht mehr nachvollzogen werden können. Folglich kann der gesamte Prozess als ein massiv gestörter Bauablauf interpretiert werden und dahingehend nur „eine Auswirkung“ – die Störung des gesamten Bauablaufes – aufweisen.

Fall (c) beschreibt die Möglichkeit von mehreren Auswirkungen infolge einer Einwirkung. Dahingehend kann beispielsweise das Regenereignis von Fall (a) herangezogen werden, wobei der Betrachtungsmaßstab geändert wird. Die Einwirkung bleibt dieselbe (Unterbrechung aufgrund starken Regens) mit der Auswirkung, dass die einzelnen Tätigkeiten Schalen und Bewehren im Vorgang der Stahlbetonarbeiten unterbrochen werden. Des Weiteren können die Arbeiten nicht am selben Tag fertiggestellt werden und das Betonieren muss – trotz Überstunden – über das Wochenende verschoben werden. Dadurch werden die Ausschaltzeiten um zwei Tage verlängert und aufgrund einer zu geringen Vorhaltemenge wirkt sich dieses Regenereignis trotz der Ressourcenanpassung auf den folgenden Fertigungsabschnitt aus. Die einzelne Einwirkung als Regenereignis hat in einem Vorgang mehrere Auswirkungen und durch die Ausschaltfristen und die zu geringen Kapazitäten bezogen auf die Vorhaltemenge weitet sich diese Störung als indirekte Störung oder Folgewirkung auf den nächsten Fertigungsabschnitt aus.

Ein weiteres Beispiel für eine Einwirkung und mehrere Auswirkungen wäre, dass sich die Wandstärke sowie der Bewehrungsgrad aufgrund von statischen Anforderungen erhöht, wodurch die Tätigkeiten Schalen, Bewehren und Betonieren betroffen sind. Einwirkung ist demzufolge eine

Änderung bzw. eine Anpassung mit der Auswirkung, dass mehrere Tätigkeiten betroffen sind. Ob nun mehrere Tätigkeiten oder ein Vorgang betroffen sind, ist wiederum vom Betrachtungsmaßstab abhängig. Wird der Vorgang der Stahlbetonarbeiten betrachtet, ist dieses Beispiel unter Fall (a) einzuordnen.

Fall (d) stellt eine Mischung aus Fall (b) und Fall (c) dar. Mehrere Einwirkungen haben auch mehrere Auswirkungen zufolge. Auch dies ist wieder vom Betrachtungsmaßstab abhängig. Hier ist allerdings darauf zu achten, dass die Einwirkungen und die Auswirkungen denselben Betrachtungsmaßstab aufweisen.

Was unter Einwirkung zu verstehen ist, wie der Begriff der Störung in dieser Arbeit definiert ist und welche Arten von Störungen es gibt sowie die begrifflichen Definitionen zur Reichweite einer Störung und was unter Störungsanfälligkeit zu verstehen ist, wird in den folgenden Abschnitten behandelt.

Aus den aufgezählten Beispielen ist ersichtlich, dass der Betrachtungsmaßstab bezogen auf die Ein- und Auswirkungen eine Rolle spielt. Wichtiger als die Anzahl und der Betrachtungsmaßstab der Ein- und Auswirkung, ist jedoch die Intensität und die Reichweite der Störung. Darauf wird in den folgenden Abschnitten eingegangen.

4.4.1 Die Begriffe Störung und Soll-Ist-Abweichung

Bevor die Begriffe der Störung und der Soll-Ist-Abweichung weiter verwendet werden, wird die Bedeutung dieser Ausdrücke für diese Arbeit erläutert.

In der Literatur finden sich zahlreiche Definitionen zu beiden Ausdrücken. Beispielsweise sehen *Kappellmann/Schiffers* die Störung als neutralen Begriff, der nichts über den Verursacher aussagt. Sie definiere die Störung als eine

*[...] unplanmäßige Einwirkung auf den vom Auftragnehmer vertragsgemäßig geplanten Produktionsprozess.*¹⁶⁵

Hingegen definiert die *ÖNORM B 2110* unter *Punkt 3.7.2. Störung der Leistungserbringung* die Störung als

*Leistungsabweichung, deren Ursache nicht aus der Sphäre des Auftragnehmers (AN) stammt und die keine Leistungsänderung ist*¹⁶⁶

Leistungsänderungen sind wiederum Leistungsabweichungen, die direkt vom Auftraggeber angeordnet wurden.¹⁶⁷

¹⁶⁵ KAPELLMANN, K. D.; SCHIFFERS, K.-H.: Vergütung, Nachträge und Behinderungsfolgen beim Bauvertrag. S. 564.

¹⁶⁶ ÖNORM B 2110: Allgemeine Vertragsbedingungen für Bauleistungen. S. 9.

Somit ist aus diesen beiden Definitionen schon zu erkennen, dass dieser Begriff, bezogen auf die Sphärenabhängigkeit, unterschiedlich interpretiert wird.

Für die baubetriebliche Betrachtung der Produktivitätsverluste wird in dieser Arbeit der theoretische Hintergrund von Soll-Ist-Abweichungen detailliert behandelt. Diesbezüglich wird für den weiteren Verlauf unter Störung eine reine Soll-Ist-Abweichung verstanden. Weiters wird keine Unterscheidung zwischen Auftraggeber, Auftragnehmer oder einer Vermischung von Auftraggeber und Auftragnehmer bedingter Verursachung vorgenommen.

In dieser Hinsicht stellen Soll-Ist-Abweichungen aus baubetrieblicher Sicht bezogen auf den Ressourceneinsatz, bei gleichbleibendem Output, eindeutig Produktivitätsverluste dar. Aus dieser baubetrieblichen Betrachtung kann aufgrund der Vermischung der Sphären kein Anspruch auf Vergütung erfolgen. Für diesen Anspruch müssen diese Soll-Ist-Abweichungen bzw. die Störungen eindeutig einer Sphäre zugerechnet werden. Dieser Voraussetzung wird hier nicht entsprochen.

In den in dieser Arbeit aufgezeigten Beispielen zu Produktivitätsabweichungen werden Störungen aus der Sphäre des Auftraggebers, des Auftragnehmers und aus einer Vermischung der Sphären genannt. Dabei werden auch eventuelle Zuordnungen zur Sphäre gemacht. Diese dienen lediglich als Verknüpfung mit der Praxis. Die theoretische Abhandlung von Soll zu Ist bleibt im Vordergrund und die Anspruchsgrundlage der Vergütung ist kein Gegenstand dieser Arbeit.

4.4.2 Störungstypen

Roquette/Viering/Leupertz unterteilen Störungen in drei übergeordnete Kategorien. Dabei gehen die Autoren auf den zeitlichen Aspekt einer Störung ein, bei dem die Arbeiten schneller, verzögert oder ganz unterbrochen ablaufen. Dahingehend unterscheiden sie die drei Störungstypen¹⁶⁸

- Beschleunigung,
- Verzögerung,
- Unterbrechung.

Eine Beschleunigung bzw. eine Verzögerung haben eine schnellere, bzw. eine langsamere Prozessabwicklung zufolge. Bei einer Unterbre-

¹⁶⁷ Vgl. ÖNORM B 2110: Allgemeine Vertragsbedingungen für Bauleistungen. S. 9.

¹⁶⁸ Vgl. ROQUETTE, A. J.; VIERING, M.; LEUPERTZ, S.: Handbuch Bauzeit. S. 267.

chung hingegen ist der Arbeitsfortschritt bezogen auf die betrachtete Arbeit null. Weiters wird in dem genannten Buch eine übersichtliche Zusammenfassung der Störungstypen sowie der diesbezüglich anstehenden Kosten und dazugehörigen Beispiele angeführt.

Hofstadler erweitert die Störungstypen Beschleunigung, Verzögerung und Unterbrechung um die der

- Behinderung und der
- Verschiebung.

Weiters beschreibt *Hofstadler* die *Verzögerung* als eine Verlängerung der Ausführungsdauer eines Vorganges, welcher nicht am kritischen Weg liegt, und die Behinderung als eine Verzögerung am kritischen Weg. Die *Unterbrechung* stellt einen vorübergehenden Arbeitsstillstand während der Ausführung und die *Verschiebung* ein Arbeitsstillstand zu Baubeginn dar. Die Beschleunigung beschreibt *Hofstadler* als eine Erhöhung der Arbeitsgeschwindigkeit – bezogen auf die vereinbarte Geschwindigkeit.¹⁶⁹

Diese fünf Arten von Störungstypen, Beschleunigung, Verzögerung, Unterbrechung, Behinderung und Verschiebung, stellen im Wesentlichen Auswirkungen einer Störung unabhängig der Sphäre dar. Aus diesem Grund wurde diese Unterteilung in diese Arbeit aufgenommen.

4.4.3 Ausmaß einer Störung

Je nachdem wie viele Abläufe, Prozesse, Vorgänge oder Tätigkeiten infolge einer Störung betroffen sind, können Störungen nach *Hofstadler* bezogen auf die Reichweite wie folgt unterteilt werden:¹⁷⁰

- Singuläre Störung
Diese Störung beschränkt sich bei der Beeinträchtigung auf einen Vorgang bzw. eine Tätigkeit (Aufrichten des Dachstuhles, Verputzen, Malen, Bewehren, Betonieren, usw.).
- Lokale Störung
Die Beeinträchtigung bezieht sich auf einen Fertigungsabschnitt.
- Partielle Störung
Dabei werden Vorgänge gestört, welche sich zeitlich vor oder nach dem gestörten Vorgang befinden, oder Vorgänge, die zeitlich parallel ablaufen.

¹⁶⁹ Vgl. HOFSTADLER, C.: Im Zuge des Anti-Claim-Management Seminars, Teil 4: Leistungsumfang und -ziel sowie Leistungsabfindungen. Vortrag. S. 27ff.

¹⁷⁰ Vgl. HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 53.

- Interdisziplinäre Störung
Hier beschränkt sich die Störung nicht auf ein Gewerk, sondern beeinflusst auch andere Gewerke.
- Globale Störung
Dabei werden einzelne Phasen wie Erdbau, Rohbau, Ausbau usw. in ihrer Gesamtheit beeinträchtigt.
- Universale Störung
Das gesamte Projekt wird gestört, dementsprechend alle Phasen, wie Erdbau, Rohbau, Ausbau usw.
- Multiple Störung
Andere Projekte werden negativ beeinflusst.

Diese Einteilung wird als sinnvoll erachtet und bis auf die multiplen Störungen so von *Hofstadler* übernommen. Der Begriff der multiplen Störungen wird hier in abgewandelter Form verwendet und bezieht sich auf die Anzahl an Einwirkungen. Dabei wird die Anzahl der Einwirkungen nur dahingehend definiert, dass sie größer als eins sein muss.

Die Störungen können sich auch überlagern und beispielsweise eine lokale, partielle Störung hervorrufen, welche sich auf den Fertigungsabschnitt bezieht, aber sich auf parallel stattfindende Tätigkeiten auswirkt. Ebenso wäre eine partiell interdisziplinäre Störung möglich, die vorhergehende Arbeiten aus anderen Gewerken behindert.

Aus dieser Einteilung ist ersichtlich, dass eine Störung sich selten auf eine einzelne Tätigkeit oder einzelne Vorgänge bezieht. Dabei kann die Störung, wie am Beispiel des Schlechtwetterereignisses gezeigt wurde, eine große Einwirkung darstellen und sich dadurch zeitlich direkt auf mehrere Tätigkeiten, Gewerke und Phasen auswirken. Eine Störung kann sich jedoch auch auf eine einzelne Tätigkeit auswirken und über ressourcenbedingte, zeitlich oder örtlich bedingte Abhängigkeiten das Ausmaß einer universalen Störung erreichen.

Diesbezüglich wird im Folgenden die Störungsintensität erläutert.

4.4.4 Störungsintensität und Störungsanfälligkeit

Wie aus der Praxis bekannt ist und aus der Vielzahl an unterschiedlichen Rahmenbedingungen sowie aus dem Charakter der Einzelstückfertigung abgeleitet werden kann, haben dieselben Störungen je nach Bauvorhaben unterschiedliche Auswirkungen. Dabei weisen manche Störungen in manchen Projekten weitreichendere Ausmaße auf, als bei anderen Projekten. Dahingehend wurden von *Dreier* einige Kriterien formuliert, die dieses Verhalten begründen.

Der Störungsgrad bzw. die Störungsintensität setzt sich aus dem Störungseinfluss und der Störungsanfälligkeit zusammen. Die Störungsan-

fälligkeit kann vorab aus den Projekteigenschaften hergeleitet werden. Für die Störungsanfälligkeit wichtige Eigenschaften sind vor allem:

- technische Komplexität des Bauvorhabens,
- kurze unzureichende Bauzeit,
- hochgradig optimierte Produktionsfaktoren,
- unflexible und witterungsanfällige Bauverfahren und -abläufe,
- kurzer Planvorlauf,
- diffizile Rahmenbedingungen (schwieriges Bauverfahren, Vorleistungen, technologische Bedingungen,...),
- hoher Kapazitäteneinsatz.

Über diese Parameter kann im Vorfeld die Anfälligkeit für Störungen ermittelt werden. Eine hohe Störungsanfälligkeit allein bedeutet noch nicht, dass deshalb eine Störung eintritt. Es bedeutet lediglich, dass wenn eine Störung eintritt, diese umfangreichere Auswirkungen aufweist.¹⁷¹

Der Störungseinfluss ist auf die Einwirkung(en) bezogen und nicht direkt von den Projekteigenschaften abhängig. Je stärker die Störung und dadurch auch der Störungseinfluss, desto stärker ist auch die Auswirkung.

Somit können Projekte mit einer geringen Störungsanfälligkeit und einem starken Störungseinfluss immer noch weitreichende Auswirkungen aufweisen und umgekehrt. *Dreier* formuliert das wie folgt:

Der Störungsgrad bzw. die Störungsintensität ist bei eintretenden Störungseinflüssen um so höher, je gravierender die Störungsanfälligkeit ist. So werden Störungen bei punktuellen Baustellen (z. B. Hochhäuser) und Linienbaustellen (z. B. Tunnelbauten) erheblicher sein, als bei Flächenbaustellen (z. B. Einkaufszentren).¹⁷²

Die Kombination aus Intensität einer Störung und den Projekteigenschaften, welche sich in der Störungsanfälligkeit widerspiegeln, ergeben somit die Reichweite und das Ausmaß einer Störung.

4.5 Reaktion auf die Störung des Bauablaufes

Im vorhergehenden Abschnitt wurde der Begriff der Störung erörtert. In diesem Abschnitt werden die Möglichkeiten erläutert, wie auf eine solche sphärenunabhängige Soll-Ist Abweichung reagiert werden kann.

¹⁷¹ DREIER, F.: Nachtragsmanagement für gestörte Bauabläufe aus baubetrieblicher Sicht. S. 53f.

¹⁷² DREIER, F.: Nachtragsmanagement für gestörte Bauabläufe aus baubetrieblicher Sicht. S. 54.

Der gesamte Bauprozess wird über den Einsatz der elementaren und dispositiven Produktionsfaktoren bestimmt. Die Ergiebigkeit des Einsatzes der Produktionsfaktoren kann über die Kennzahl der Produktivität¹⁷³ beschrieben werden. Ausgehend vom Prinzip der Produktivität lassen sich, um auf Störungen im Bauablauf zu reagieren, vier Gruppen ableiten.

Die Produktivität ist über das Verhältnis von Input zu Output definiert. Diesbezüglich lassen sich zwei der vier Faktoren zur Beeinflussung der Produktivität direkt aus dieser Definition ableiten. Die Produktivität kann zum einen über den dafür eingesetzten *Ressourceneinsatz*¹⁷⁴ (Input) oder über das Produktionsergebnis Output direkt beeinflusst werden.

Diese beiden Faktoren können wiederum von anderen Faktoren beeinflusst werden. Diese Beeinflussung wirkt sich wieder auf die Produktivität aus. Dahingehend werden zwei Faktoren, welche aus baubetrieblicher Sicht als wichtig erachtet werden, angeführt. Zu diesen beiden Faktoren zählt zum einen die zu Verfügung stehende Zeit zur Durchführung der Tätigkeit, des Vorganges oder des gesamten Bauvorhabens und zum anderen der baubetrieblich geplante Fertigungsablauf zur Erstellung des Produktionsergebnisses. Diese beeinflussen die Produktivität indirekt über den Ressourceneinsatz oder das Produktionsergebnis.

Der Ressourceneinsatz wird maßgebend von der Zeit, die für die Erbringung der *Leistung*¹⁷⁵ zur Verfügung steht, bestimmt. Je nach vorhandener Fertigungszeit werden mehr oder weniger Ressourcen benötigt, um die Leistung zu erbringen. Somit wird über die Anpassung des Fertigstellungstermins bzw. der Fertigungszeit der zu erbringenden Leistung die Produktivität ebenfalls beeinflusst.

Der Fertigungsablauf bestimmt im Wesentlichen, wieviel produziert wird. Wird der Fertigungsablauf dahingehend optimiert, dass dieser eine hohe Parallelität aufweist, wird die Outputmenge bei gleichbleibendem Ressourceneinsatz erhöht. Es ändert sich lediglich der zeitliche Ablauf der Fertigung. Dementsprechend wirkt sich die Anpassung des Fertigungsablaufes auf die Quantität des Outputs aus.

¹⁷³ Vgl. HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 9.

¹⁷⁴ Als Ressourceneinsatz werden alle sowohl elementaren als auch dispositiven Produktionsfaktoren verstanden.

¹⁷⁵ Unter Leistung wird im Folgenden das zu erbringende Produktionsergebnis, mit dem erforderlichen Ressourceneinsatz, in einer bestimmten Zeiteinheit verstanden.

Zusammenfassend die Auflistung der genannten Faktoren zur Beeinflussung des infolge einer Soll-Ist-Abweichung gestörten Bauablaufes:

- Anpassung des Ressourceneinsatzes (Input)
- Anpassung der Fertigungszeit
- Anpassung des Produktionsergebnisses (Output)
- Anpassung des Fertigungsablaufes

Die Anpassung des Inputs und des Outputs ergeben sich aus dem Verhältnis, welches die Produktivität des Ressourcen-, Faktoreinsatzes oder Inputs einerseits und des Produktionsergebnisses oder Outputs andererseits beschreibt. In diesen beiden Faktoren spiegelt sich der Mehrverbrauch an Ressourcen – sowohl in materieller Hinsicht als auch auf die Lohnstunden und die Betriebsmittel bezogen – wider. Neben der Fertigungszeit und dem Fertigungsablauf existiert eine Vielzahl an Möglichkeiten, wie Input und Output angepasst bzw. beeinflusst werden können. Die Anpassung der Fertigungszeit und des Fertigungsablaufes werden aus baubetrieblicher Sicht als wesentliche Faktoren angesehen, weshalb diese explizit angeführt sind.

Im Folgenden werden die vier genannten Faktoren erläutert und die Auswirkung sowie die weiteren Folgen beschrieben.

4.5.1 Anpassung des Ressourceneinsatzes (Input)

Wird die erforderliche Leistung nicht erbracht, da entweder der Aufwand für die zu erbringende Leistung gestiegen ist, eine kalkulatorische Fehleinschätzung getroffen wurde oder eine andere Art einer Soll-Ist-Abweichung vorliegt, können beispielsweise die *Ressourcen*¹⁷⁶ angepasst werden. Um eine Soll-Ist-Abweichung auszugleichen, stellt die Anpassung des Ressourceneinsatzes eine häufige Methode dar.

Gleichzeitig ergibt sich bei der Ressourcenanpassung eine gewisse Wahrscheinlichkeit, dass neue Grenzgrößen über- bzw. unterschritten werden, welche wiederum Ursache(n) für neuerliche Produktivitätsverluste darstellen. Somit ergibt sich je nach Störungsanfälligkeit und Intensität der Störung, dass sich die Auswirkungen, welche aus einer Einwirkung resultieren, wiederum Einwirkung(en) für andere Auswirkung(en) darstellen. Diesbezüglich sind die indirekten Einwirkungen ebenfalls zu berücksichtigen.

¹⁷⁶ Unter Ressourcen werden alle elementaren und dispositiven Produktionsfaktoren verstanden.

Zu den Faktoren des Ressourceneinsatzes können jene der elementaren und Teile der dispositiven Produktionsfaktoren gezählt werden.

- Faktor Arbeit
- Faktor Betriebsmittel
- Faktor Stoff
- Faktor der dispositiven Produktionsfaktoren

Das Zusammenspiel dieser Faktoren wird in Abschnitt 2.3 verdeutlicht. Aufgrund der Interaktion der Produktionsfaktoren ist es nur bedingt möglich, an einem der elementaren oder dispositiven Elemente eine Disponierung vorzunehmen, ohne die anderen Elemente zu beeinflussen.

Der Vorteil der Ressourcenanpassung liegt darin, dass diese sowohl im kleinen als auch im großen Maße möglich ist und eine erhebliche Bandbreite und Flexibilität aufweist. Allerdings muss bei einer Disponierung im Bereich der Ressourcen darauf geachtet werden, dass die dafür erforderlichen Mittel ebenfalls vorhanden sind. Respektive müssen bei einer Anpassung der Betriebsmittel die erforderlichen Stoffe und Arbeitskräfte zur Verfügung stehen.

Des Weiteren muss zwischen einer Leistungsänderung im Sinne einer Ressourcenanpassung und einem Produktivitätsverlust unterschieden werden. Bleibt der Quotient von Output zu Input auch infolge einer Leistungsänderung unverändert, so ergeben sich keine Produktivitätsverluste im Sinne eines Mehraufwandes an Ressourcen bei gleichbleibendem Produktionsergebnis. Müssen allerdings, bei gleich bleibendem Output, die Ressourcen angepasst werden, so ändert sich der Mitteleinsatz (Input), wodurch sich gegenüber der geplanten Leistung ein Produktivitätsverlust einstellt.

Diesbezüglich beschreibt *Reister*, dass zusätzliche und geänderte Leistungen von Produktivitätsverlusten abzugrenzen sind. Dem wird von Seiten des Autors zugestimmt. Weiters erläutert *Reister* dies mit einem Beispiel, bei welchem sich der Baugrund ändert und demzufolge für die Leistungserbringung ein Zeitverlust eintritt. Dies sei jedoch nicht als Produktivitätsverlust zu verstehen, sondern als geänderte Leistung.¹⁷⁷

Davon distanziert sich der Autor der vorliegenden Arbeit klar. Im vertragsrechtlichen Sinn mag diese Interpretation sehr wohl zutreffen. Bezogen auf die baubetriebliche Betrachtung jedoch nicht. Das Leistungsziel hat sich nicht geändert, somit bleibt der Output derselbe. Lediglich der Aufwand zur Erreichung dieses Zieles steigt und somit sinkt die Produktivität. Werden Ressourcenanpassungen vorgenommen, um die Fertigungszeit einzuhalten, steigt der Mitteleinsatz. Liegt diese Arbeit nicht

¹⁷⁷ Vgl. REISTER, D.: Nachträge im Bauvertrag. S. 475.

am kritischen Weg und werden dadurch auch keine nachfolgenden Tätigkeiten beeinträchtigt, macht sich diese Leistungsänderung lediglich durch einen Mehrverbrauch an Fertigungszeit bemerkbar.

Werden durch die Ressourcenanpassung Grenzgrößen über- bzw. unterschritten bzw. direkte Ursachen für Produktivitätsverluste hervorgerufen, so sind zusätzlich zu der verringerten Produktivität noch weitere Produktivitätsverluste die Folge. Die aufgrund des Mehraufwandes entstandene reduzierte Produktivität ist nicht gleichzusetzen mit einer Grenzgrößenüber- bzw. -unterschreitung oder mit einer ablaufbedingten Einwirkung, die Produktivitätsverluste zur Folge hat, wie diese in Abschnitt 4.2 beschrieben wurden. Diese Art von Produktivitätsverlust weist den Charakter einer direkten Ursache auf, da die Einwirkung (Änderung des Baugrundes) und nicht die Rahmenbedingungen die Auswirkungen bestimmen. Diese Art von Produktivitätsverlusten (Abweichung von Soll-Aufwand zu Ist-Aufwand) wird als evident erachtet, weshalb diese nicht im genannten Abschnitt erläutert wurde und auch nicht weiter erläutert wird.

Werden aufgrund der Änderung des Baugrundes noch weitere Tätigkeiten beeinflusst, wird dieser Produktivitätsverlust bzw. werden diese Produktivitätsverluste als indirekte Einwirkung weitergegeben. Je nach Diskretisierung der Einwirkung und der resultierenden Produktivitätsverluste sind Kumulationen oder Aggregationen dieser Produktivitätsverluste möglich. Dies ist wiederum von der Intensität der Störung und der Störungsanfälligkeit des Projektes und der Art der hervorgerufenen Produktivitätsverluste abhängig.

4.5.1.1 Faktor Arbeit

Unter dem Faktor der menschlichen Arbeit werden die objektbezogenen Arbeiten wie beispielsweise Schalarbeiten, Bewehrungsarbeiten, Mauerarbeiten, Installationsarbeiten, Fliesen- und Bodenlegerarbeiten, Zimmermannsarbeiten etc. verstanden. Eine Disposition in diesem Bereich erfolgt zumeist über die Anzahl von Arbeitskräften. Folglich werden mehr oder weniger Arbeitskräfte eingesetzt.

Die Anpassungen der Arbeitskräfte in Bezug auf eine Beschleunigung oder Verzögerung werden auch Forcierung (Verdichtung) oder Verdünnung genannt.

Eine Forcierung wirkt sich wiederum auf den Mindestarbeitsraum, die Arbeitskräfte pro Kran, die nicht optimale Kolonnenbesetzung und auf die Motivation der Arbeitskräfte aus. Darüber hinaus ist auf die Qualifikation der Arbeitskräfte zu achten.

Grundsätzlich reduziert sich bei einer Verdünnung der Arbeitskräfte die Leistungsfähigkeit, da weniger Ressourcen vorhanden sind. Grundsätzlich deshalb, da bei den derzeitigen Lohnkosten davon ausgegangen

werden kann, dass die Anzahl an Arbeitskräften nicht derart überschätzt wird, dass eine derartige Aggregation der Produktivitätsverluste vorliegt (Mindestarbeitsraum, Arbeitskräfte pro Kran, tägliche Arbeitszeit etc.), welche tatsächlich durch einen Abbau der Arbeitskräfte eine Leistungssteigerung hervorruft.

Dasselbe Prinzip liegt bei einer Forcierung vor. Muss der Bauablauf beschleunigt werden, sind die Grenzgrößen zu beachten. Je nach Grad der Über- bzw. Unterschreitung kann das diskrete Verhalten dieser beeinflusst werden. Das hat zur Folge, dass die Produktivitätsverluste mit anderen aggregieren und dadurch die Produktivitätsverluste steigen. Infolgedessen werden eventuell mehr Ressourcen benötigt als ohne Aggregation der Produktivitätsverluste.

Dahingehend sind die möglichen Produktivitätsverluste bzw. Grenzgrößen sowie das diskrete oder nicht diskrete Verhalten der möglichen Produktivitätsverluste zu kennen und im Hinblick auf eine Forcierung oder Verdünnung zu berücksichtigen.

4.5.1.2 Faktor Betriebsmittel

Da alle für die Erstellung des Bauwerks erforderlichen Geräte, Maschinen, Werkzeuge, Logistik- und Kommunikationsanlagen, Transport- und Verkehrsmittel etc. inklusive der dafür benötigten Betriebsstoffe zu den Betriebsmitteln gezählt werden, ist die Auswirkung einer Anpassung der Betriebsmittel stark an die Abhängigkeit der Geräte gebunden. Es besteht eine starke Interaktion zwischen dem Faktor der Betriebsmittel und dem Faktor Arbeit. Je nach zu verrichtender Arbeit ist der Faktor Betriebsmittel oder der Faktor Arbeit ausschlaggebend für den Grad der Auswirkung der Anpassung.

Beispielsweise leitet sich die Anzahl der Krane im Idealfall aus der Anzahl der Arbeitskräfte ab. Auch die benötigten Werkzeuge und Geräte werden indirekt über den Faktor Arbeit bestimmt. Auf einer Hochbaubau-stelle ist das produktive Arbeiten der Arbeitskräfte über deren Anzahl sowie über die Anzahl der Krane bestimmt. Eine Anpassung des einen hat oder sollte eine Anpassung des anderen zur Folge haben.

Ein weiteres Beispiel ist der Aushub. Die Leistungsfähigkeit des Aushubs auf der Baustelle wird über die Transportkette und die Leistungsfähigkeit der Bagger oder Schürfgeräte sowie die Transportleistung der Transportgeräte bestimmt. Der Faktor Arbeit ist sehr wohl zu berücksichtigen, allerdings nicht im selben Umfang wie im zuvor genannten Beispiel.

Bei geräteintensiven Tätigkeiten wirkt sich demnach der Betriebsmittel-faktor stärker aus als bei arbeitsintensiven Tätigkeiten. Dahingehend wird noch erwähnt, dass Schalungssysteme ebenfalls zu den Geräten zählen.

Das Umstellen eines Verfahrens während der Bauausführung stellt eine Betriebsmittelanpassung dar. Die Gründe für eine Umstellung können vielfältiger Natur sein wie z.B. zu geringe Leistung, Kranabhängigkeit, zu geringe Qualität, technologische Gründe wie etwa, dass die materialtechnischen Eigenschaften den Einsatz nicht oder nicht mehr zulassen etc. Weitere Gründe für die Umstellung des Verfahrens können auch qualitative Anforderungen, Änderung der Witterungsbedingungen oder Rahmenbedingungen sein.

Diese Art von Anpassung gehört zu jenen, die eine intensive Auswirkung auf die betriebsmittelbezogenen Ressourcen aufweisen und somit auch für den Faktor Arbeit eine mehr oder weniger intensive Abweichung darstellen können.

In diesem Zusammenhang ist das Beispiel der Umstellung von Gleitschalung auf Kletterschalung zu nennen. Ist für die Durchführung eines Bauvorhabens der Einsatz einer Gleitschalung vorgesehen und der Fertigungsablauf auch dahingehend konzipiert worden, stellt die Umstellung von Gleitschalung auf Kletterschalung durchaus eine massive Einwirkung dar. Eine solche Betriebsmittelanpassung kann aus technologischen Gründen, wie die Erhöhung des Bewehrungsgrades, erforderlich werden. Eventuell ist das Arbeiten in der Nacht durch geänderte Rahmenbedingungen im Zuge der Bauausführung nicht mehr möglich, weshalb sich eine Gleitschalung als unwirtschaftlich erweist.¹⁷⁸ Die Qualitätsanforderungen werden aufgrund statischer oder technologischer Bedingungen nicht mehr erfüllt oder andere Voraussetzungen werden nicht eingehalten. Der Grund für die Umstellung steht an dieser Stelle nicht im Vordergrund, sondern die Auswirkung.

Die Auswirkungen einer solchen oder auch anderer, Verfahrensumstellungen beschränken sich zumeist nicht auf einen lokalen oder partiellen Bereich, sondern sind von globaler Natur. Das bedeutet, dass andere Gewerke in den einzelnen Ausbauphasen davon betroffen sind. Auch universale Störungen sind denkbar, wenn sich beispielsweise der Bauablauf so verzögert, dass folgende Ausbauphasen in eine andere Jahreszeit verschoben werden (sekundäre Produktivitätsverluste).

Da die Umstellung der Systeme zumeist Zeit benötigt, bedeutet dies einen zeitlichen Verzug. Dahingehend kann die Fertigungszeit angepasst werden, (Abschnitt 4.5.2), das Produktionsergebnis kann angepasst werden, (Abschnitt 4.5.3), der Fertigungsablauf, (Abschnitt 4.5.4) oder die Ressourcen werden wiederum angepasst. Demzufolge ergeben sich wieder dieselben Ursachen für Produktivitätsverluste aufgrund der Ein-

¹⁷⁸ Gleitschalungen gehören in die Kategorie der kontinuierlich fortlaufenden Schalsysteme worin auch gleichzeitig einer ihrer größten Vorteile liegt.

wirkung der Anpassung. Diese sind allerdings, bezogen auf den Grund der Verfahrensumstellung, indirekter Natur.

In den unterschiedlichsten Ausbauphasen können Geräte und Werkzeuge zur Anwendung kommen, die eventuell hochwertiger und leistungsfähiger sind als die geplanten Geräte und Werkzeuge. Das stellt ebenfalls eine Anpassung des Faktors der Betriebsmittel und dadurch eine Anpassung der Ressourcen dar.

4.5.1.3 Faktor Stoff

Die Anpassung der Stoffe kann beispielsweise über die Verwendung eines anderen Materials, einer anderen Rezeptur, ablauftechnisch bessere Qualität, Umstellung auf Halbfertig- und/oder Fertigteile oder einer anderen Anpassung von Rohstoffen erfolgen. Diesbezüglich wird der baubetriebliche Aspekt und nicht der der Rohstoffkosten betrachtet.

Beispielsweise kann bei Verzug der Bauablauf derart umgestellt werden, dass Stiegen, Rampen oder andere Bauteile als Fertigteil vorab im Werk produziert werden und nicht wie geplant vor Ort. Beschleuniger, sowohl im Ortbeton als auch im Estrich, können eingesetzt werden. In der Phase des Ausbaus können Produkte zur Anwendung kommen, welche einen schnelleren Einbau gewährleisten.

- Qualitätsänderung
- Materialänderung
- Halbfertig- und Fertigteile

Die Anpassung des Faktors Stoff beeinflusst wiederum Faktoren der Betriebsmittel und Arbeit. Eine Umstellung auf Halbfertig- oder Fertigteile erfordert beispielsweise die benötigten Betriebsmittel. Gleichzeitig werden weniger Arbeitskräfte und Fertigungszeit vor Ort benötigt. Diese Anpassung kann ebenfalls mit einer Anpassung des Fertigungsablaufes einhergehen.

4.5.1.4 Dispositive Produktionsfaktoren

Unter den dispositiven Produktionsfaktoren sind jene mit steuernden Funktionen zu verstehen.¹⁷⁹

Die Planungsleistungen und die geistige Arbeit zur Anpassung des Bauablaufes sind in die Kategorie der dispositiven Produktionsfaktoren einzustufen. Dahingehend können Ressourcenanpassungen für die Pla-

¹⁷⁹ Siehe dazu Abschnitt 2.3.5

nung neuer Fertigungsabläufe erforderlich sein. Eine Anpassung an Personen¹⁸⁰ mit steuernden und weisenden Funktionen wirkt sich ebenfalls auf den Bauablauf aus und ist ebenfalls in diese Kategorie einzustufen.

4.5.2 Anpassung der Fertigungszeit

Unter dem Begriff der Fertigungszeit werden die Dauern von Tätigkeiten sowie von Vorgängen verstanden, welche zur Erzeugung des Produktes oder Teilen davon benötigt werden. Die Fertigungszeit ist wiederum vom Betrachtungsmaßstab abhängig. Beispielsweise können einzelne Tätigkeiten, Vorgänge, Abläufe, Fertigungsabschnitte, ein gesamtes Gebäude, ein Gebäudekomplex etc. betrachtet werden. Dahingehend kann, je nach Betrachtungsmaßstab, unter Fertigungszeit eine Zeitspanne von der Dauer einer einzelnen Tätigkeit bis zur Gesamtbauzeit verstanden werden.

Weiters ist zu berücksichtigen, dass Tätigkeitszeit und Vorgangszeit bzw. -dauer die lohnstundenbasierten Dauern der Ausführung der betrachteten Arbeit darstellen. Das bedeutet, dass die dafür aufgewendeten Ressourcen bezogen auf die Arbeitskräfte (Faktor Arbeit des Ressourceneinsatzes) bereits berücksichtigt sind.

Erfolgt eine Anpassung der Fertigungszeit, wird darunter eine tatsächliche Verschiebung des Fertigstellungstermins in Zeitstunden, Tagen, Wochen etc. verstanden. Dahingehend bedeutet eine Anpassung der Fertigungszeit nicht die Steigerung des Ressourceneinsatzes, bezogen auf die Arbeitskräfte und die dadurch resultierende Erhöhung der Lohnstunden sowie der Tätigkeits- und Vorgangsdauer, sondern eine tatsächliche Verschiebung des Fertigstellungstermins in Zeiteinheiten.

Die Auswirkung der Anpassung (Verlängerung oder Verkürzung) der Fertigungszeit kann unterschiedliche Reichweiten aufweisen. Die Reichweite ist davon abhängig, ob aufgrund der Anpassung, andere Tätigkeiten und/oder Vorgänge beeinflusst werden oder nicht respektive, ob sich die Auswirkung der Anpassung diskret verhält oder nicht. Liegt ein gestörter Vorgang am kritischen Weg, werden durch die Anpassung des Fertigstellungstermins die nachfolgenden Tätigkeiten beeinflusst. Dadurch verschiebt sich der Fertigstellungszeitpunkt des gesamten Bauwerks. Dies ist wiederum eine indirekte Einwirkung für betroffene Tätigkeiten, was bedeutet, dass diese ebenfalls eine Soll-Ist-Abweichung erfahren. Ob diese Soll-Ist-Abweichung Auswirkungen hat, muss für die jeweilige Tätigkeit ermittelt werden.

¹⁸⁰ Z.B. Bauleiter, Bautechniker, Polier, Vorarbeiter, Fachkräfte, etc.

Ein Beispiel dafür wäre das Eintreten eines unvorhersehbar intensiven Schlechtwetterereignisses in Form von starken Regenfällen. Die Folge ist eine Unterbrechung der Arbeiten. Wird die Bauzeit in entsprechenden Zeiteinheiten adäquat verlängert, sind dadurch keine Ressourcenanpassungen erforderlich. Infolge des Regenereignisses wird der Arbeitsfluss gestört. Diesbezüglich sind, zusätzlich zu der Zeit der Unterbrechung, je nach Umfang und Intensität, die Fertigungszeiten um die entsprechenden Zeiteinheiten zu erweitern. Infolgedessen sind keine Ressourcenanpassungen erforderlich, was wiederum keine neuerlichen Produktivitätsverluste hervorruft.

Wird allerdings die Fertigungszeit nicht oder nicht adäquat angepasst bzw. verlängert, muss die Leistung über die Erhöhung des Ressourceneinsatzes (Forcierung) gesteigert werden. Dahingehend besteht die Möglichkeit, dass zuzüglich zum Einarbeitungseffekt und nicht kontinuierlichen Arbeitsfluss, je nach Grad der Anpassung und der Störungsanfälligkeit des Bauablaufes, Grenzgrößen erreicht werden und infolge dessen weitere Produktivitätsverluste entstehen. Diese Grenzgrößen können beispielsweise der Mindestarbeitsraum, Arbeitskräfte pro Kran, optimale Arbeitsgruppengröße, tägliche Arbeitszeit etc. sein.

Dieses Beispiel verdeutlicht neben dem Einfluss der Fertigungszeit auch die Interaktion mit dem Ressourceneinsatz. Über die vorhandene Fertigungs- oder Bauzeit wird der erforderliche Ressourceneinsatz ermittelt. Die Anpassung der Fertigungszeit kann sich dadurch auf den Mitteleinsatz und den Input auswirken. Wird jedoch die Fertigungszeit adäquat (unter Berücksichtigung der entstandenen Produktivitätsverluste) angepasst, sind keine Ressourcenanpassungen erforderlich.

4.5.3 Anpassung des Produktionsergebnisses (Output)

Der Output oder das Produktionsergebnis kann über die Quantität oder die Qualität ermittelt werden. Dabei wird die Quantität als harter und die Qualität als weicher Faktor betrachtet. Das bedeutet, dass die Quantität über Mengeneinheiten eindeutig messbar ist und die Qualität entweder über subjektives Empfinden beurteilt oder über definierte Mindestanforderungen (Porigkeit, Farbe, Dichte, Abweichungen etc.) ermittelt wird.

Die Reduktion der Quantität und der Qualität stellt generell im Bauwesen keine Option dar und ist äußerst unüblich. Das Bau-Soll ist bereits festgelegt und bleibt, bis auf die zur Erreichung des Bau-Solls erforderlichen Änderungen, unverändert.

Unter der Anpassung des Outputs wird vielmehr die infolge einer Umstellung des Bau- bzw. Fertigungsablaufes stattfindende Veränderung des Outputs verstanden.

4.5.4 Anpassung des Fertigungsablaufes

Der Fertigungsablauf bestimmt sowohl die zeitliche als auch die räumliche Abfolge der Fertigungsabschnitte bzw. in weiterer Folge der Erstellung des Bauwerkes.¹⁸¹ Die beiden wesentlichen Fertigungsablaufstypen der Takt- und Fließfertigung sind in Abbildung 2-5 bzw. in Abbildung 2-6 dargestellt und in Abschnitt 2.5.3 erläutert.

Wird der Bauablauf dahingehend optimiert, dass der Parallelisierungsgrad erhöht wird und die zeitlichen und räumlichen Abstände zwischen den Abläufen verringert werden, wird der Output, bezogen auf den Fertigungsabschnitt oder auf das gesamte Bauwerk, gesteigert.

Die Änderung der Reihenfolge im Fertigungsablauf kann, infolge einer Einwirkung, ebenfalls eine Steigerung des Outputs zur Folge haben.

Sind beispielsweise Pläne ausständig, ohne die die weitere Fertigung nicht möglich ist, ist eine Änderung der Fertigungsreihenfolge durchaus sinnvoll. Diese Umdisponierung kreiert durchaus andere Produktivitätsverluste (Verlust des Einarbeitungseffektes, nicht kontinuierlicher Arbeitsfluss etc.). Allerdings ist auch ohne Anpassung der Ressourcen die Produktivität – im Vergleich zu einer Unterbrechung des Bauablaufes – gesteigert.

Die Umstellung bzw. eine Anpassung des Fertigungsablaufes kann auch in Kombination mit einer Ressourcenanpassung erfolgen. Dahingehend steigert sich sowohl der Input als auch der Output. Je nach Optimierung dieser Anpassung steigert sich der Output – im Verhältnis zum Input – mehr, wodurch die Produktivität gesteigert wird. Ist eine relative Steigerung des Outputs zum Input nur aufgrund der Anpassung des Fertigungsablaufes gegeben, so ist der Anstieg der Produktivität auf die Umstellung des Fertigungsablaufes zurückzuführen.

Wird beispielsweise von Takt- auf Fließfertigung umgestellt, erfolgt dies zumeist in Kombination mit einer Ressourcenanpassung. Durch die parallele Abfolge der Tätigkeiten und das Ausführen derselben Tätigkeiten, wird der Einarbeitungseffekt gesteigert und die Ausbringungsmenge steigt relativ zur Einsatzmenge.

Durch die Anpassung des Fertigungsablaufes bzw. der Fertigungsreihenfolge oder anderer Disponierungen im Bauablauf kann die Outputmenge beeinflusst werden. Dies kann mit und ohne Ressourcenanpassung sowie mit und ohne Anpassung des Fertigungstermins erfolgen.

¹⁸¹ HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 88.

4.6 Ablaufschema einer Einwirkung auf den Bauablauf

Im Zuge dieses Abschnittes wurden sowohl die Themen der Einwirkung, der Störung im Allgemeinen und der Störung des Bauablaufes, die resultierenden Typen einer Störung sowie deren Reichweite beschrieben als auch die Begriffe der Diskretisierung, der Produktivitätsverluste und der Grenzgrößenüberschreitung behandelt. Des Weiteren wurden die Möglichkeiten der Anpassung auf eine Soll-Ist-Abweichung erläutert.

Dahingehend wurde ein Ablaufschema entwickelt, welches ausgehend von einer Einwirkung auf eine Tätigkeit oder einen Vorgang die resultierenden Auswirkungen in Form der Störungstypen darstellt, sowie die Möglichkeiten der Reaktion bzw. der Anpassung der Produktivität inklusive deren Auswirkungen aufzeigt. Die einzelnen Punkte dieses Schemas werden im Folgenden genauer erläutert und deren Zusammenhänge und Interaktionen dargelegt. Ziel dieser Darlegung der Auswirkung, der möglichen Anpassungsformen sowie der Zusammenhänge und Interaktionen infolge einer Einwirkung auf eine Tätigkeit oder einen Vorgang ist, die resultierende Kumulation bzw. die resultierende Aggregation der entstandenen Produktivitätsverluste aufzuzeigen. Des Weiteren wird infolge der entstandenen Kumulationen bzw. Aggregationen die Beeinträchtigung weiterer Abläufe und Tätigkeiten im entwickelten Ablaufschema überprüft. Im Falle einer Beeinflussung externer – nicht im eigenen Vorgang enthaltener Tätigkeiten – werden diese Kumulationen und Aggregationen zu indirekten Einwirkungen für externe Tätigkeiten. Für die externen Tätigkeiten und Vorgänge folgt wiederum derselbe Ablauf der Einwirkung wie für die direkt gestörte Tätigkeit bzw. den direkt gestörten Vorgang, welche diese Beeinträchtigung in erster Ebene hervorgerufen hat.

Darüber hinaus sind zwei wesentliche Konzepte des Ablaufschemas in Abbildung 4-6 zu erkennen. Zum einen wird zwischen der Kumulierung und der Aggregation unterschieden und zum anderen werden die Kumulierungs- und Aggregationswirkungen der Einwirkung, der Auswirkung und der Folgewirkungen, bezogen auf die Auswirkungen auf andere Tätigkeiten, separat betrachtet. Dies wird als wichtige Grundlage für die Ermittlung von kumulierten und aggregierten Produktivitätsverlusten im Bereich des Claim Managements erachtet.

Im ersten Schritt wird diesbezüglich ein rein baubetrieblicher Ablauf einer Störung betrachtet. Folglich enthält das Ablaufschema Vorgänge und Möglichkeiten, welche sich rein auf das Prinzip der Produktivität bzw. der Beeinflussung der Produktionsfaktoren beziehen. Ob diese Möglichkeiten in der Praxis zur Anwendung kommen, wird in diesem ersten Schritt nicht berücksichtigt, da ausschließlich das Prinzip der Einwirkung mit deren Auswirkungen und Folgewirkungen auf die Produktionsfaktoren sowie im Weiteren auf die Produktivität behandelt und erläutert wird.

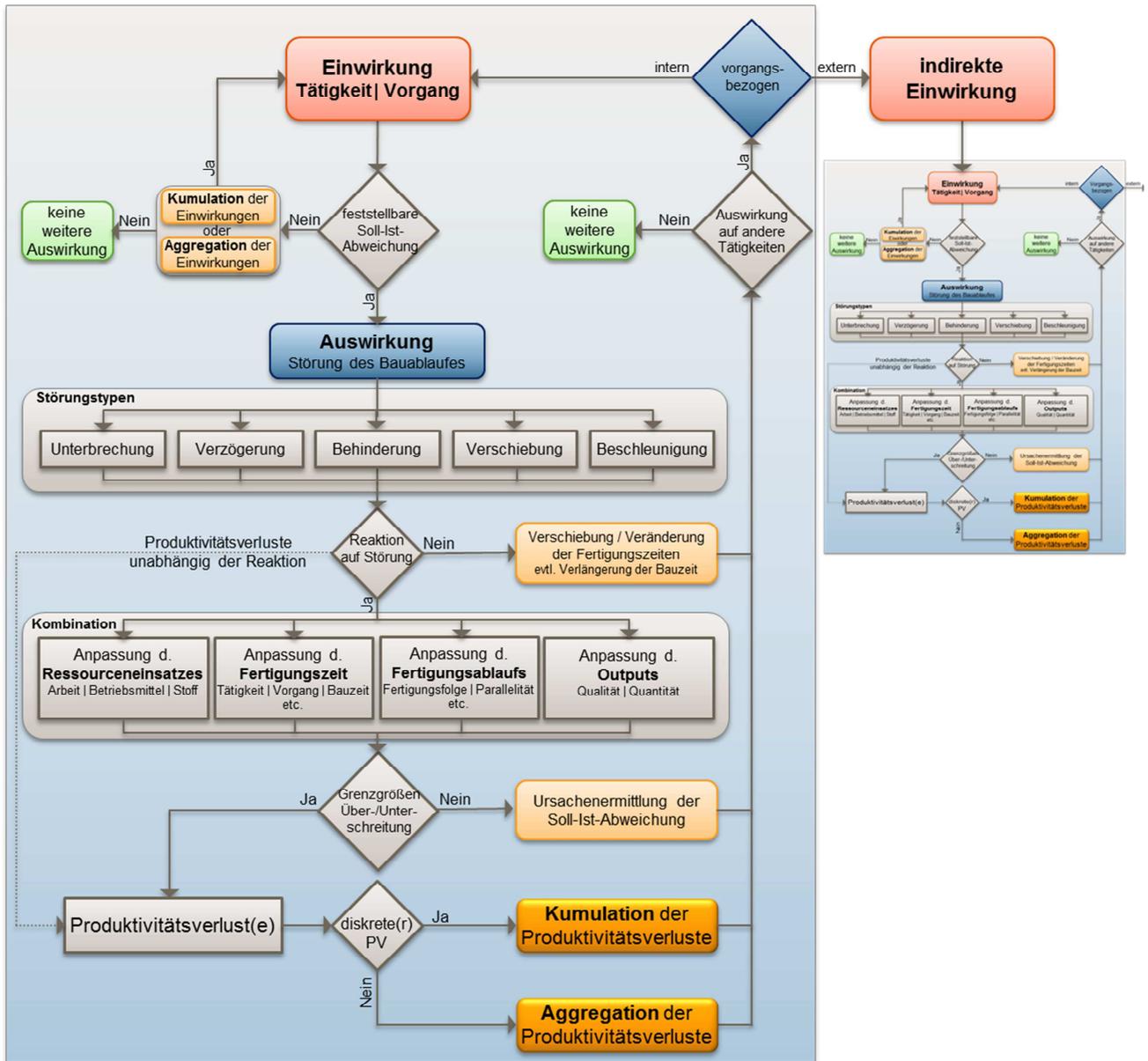


Abbildung 4-6: Ablaufschema einer Einwirkung nach dem Prinzip der Produktivität

In Abbildung 4-6 sind die Auswirkungen, einschließlich der Art der Auswirkung, mit den möglichen Anpassungsformen, deren Zusammenhängen und Interaktionen infolge einer Einwirkung auf eine Tätigkeit inklusive der resultierenden Kumulation und Aggregation der Produktivitätsverluste dargestellt.

Einwirkung und feststellbare Soll-Ist-Abweichung

Die Einwirkung auf eine Tätigkeit ist sphärenunabhängig zu verstehen. Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass es sich um eine singuläre, auf eine Tätigkeit beschränkende Einwirkung handelt.

In der ersten Schleife des Ablaufschemas wird ermittelt, ob die Einwirkung eine feststellbare Soll-Ist-Abweichung aufweist. Hat die Einwirkung beispielsweise keine Aufwandswerterhöhung oder sonstigen Einfluss auf den Bauablauf, wie beispielsweise das Verschieben einer Aussparung ohne weitere Anpassung der Bewehrung etc. zur Folge und sind sonstige Auswirkungen aufgrund dieser singulären Einwirkung spürbar, kann dies als nicht spürbare Einwirkung interpretiert werden.

Folglich wird im nächsten Schritt die Kumulation bzw. die Aggregation dieser Einwirkung mit anderen bereits vorherrschenden Einwirkungen überprüft. Tritt keine Kumulation oder Aggregation auf, sind von dieser singulären Einwirkung keine Auswirkungen zu erwarten. Treten allerdings Kumulationen und Aggregationen auf, ist diese als neue kumulierte oder aggregierte Einwirkung (als eine Gesamtheit) zu betrachten. Dahingehend wird wiederum eine feststellbare Soll-Ist-Abweichung überprüft. Dieser Vorgang ist solange zu wiederholen, bis sich entweder keine weiteren Auswirkungen mehr ergeben oder eine feststellbare Soll-Ist-Abweichung mit Auswirkung auf den Bauablauf in Form einer Störung eintritt.

Das Ablaufschema in Abbildung 4-6 ist so konzipiert, dass eindeutig zwischen Kumulation und Aggregation der Einwirkung sowie der Kumulation und Aggregation der Produktivitätsverluste als Auswirkung unterschieden werden muss.

Diese eindeutige Unterscheidung zwischen der Kumulation und Aggregation von Einwirkungen und der Kumulation und Aggregation von Auswirkungen wird vorgenommen, um in weiterer Folge die Auswirkungen der einzelnen Einwirkungen besser differenzieren zu können. Ein Überblick über die Kumulation und Aggregation der Einwirkungen wird in Kapitel 5 gegeben.

Auswirkung in Form einer Störung des Bauablaufes

Die Auswirkung in Form einer Störung des Bauablaufes hat, wie in Abschnitt 4.4 beschrieben, mehrere Störungstypen zur Folge. Diese Störungstypen, Unterbrechung, Verzögerung, Behinderung, Verschiebung und Beschleunigung, beschreiben die Art sowie die Folgen einer Störung. Je nach Störungstyp wird entschieden, ob und im Weiteren wie auf diese Art von Störung reagiert wird.

Reaktion auf die Störung

Wird nicht auf die Störung reagiert, verschiebt sich der Fertigstellungszeitpunkt der betroffenen Tätigkeit. Liegt ein Vorgang am kritischen Weg, hat das eine Verschiebung der Bauzeit zur Folge. Liegt der Vorgang nicht am kritischen Weg, wird infolge dessen die Fertigungszeit – die für die Tätigkeit benötigte Zeit in Zeiteinheiten – verschoben. Dahingehend ist im nächsten Schritt zu überprüfen, ob eine solche Verschiebung Auswirkungen auf andere Tätigkeiten und Vorgänge hat. Ist dies der Fall,

wirkt sich diese Verschiebung entweder als interne – auf Tätigkeiten im Vorgang selbst – Einwirkung oder auf externe Tätigkeiten in anderen Vorgängen als indirekte Einwirkungen aus.

Wird auf die Störung des Bauablaufes infolge einer feststellbaren Soll-Ist-Abweichung reagiert, besteht die Möglichkeit der Anpassung der Produktionsfaktoren.

Anpassung der Produktionsfaktoren bzw. der Produktivität

Wird auf die Störung reagiert, so stehen für dieses Ablaufschema die vier Anpassungsmöglichkeiten

- des Ressourceneinsatzes,
- der Fertigungszeit,
- des Fertigungsablaufes und
- des Outputs

zur Auswahl. Die Bedeutung, Eigenschaften und Folgen dieser Anpassungen wurden in Abschnitt 4.5 beschrieben und erläutert.

Die Anpassung des Ressourceneinsatzes (Input) und des Outputs lassen sich direkt auf das Verhältnis der Produktivität zurückführen. Die Anpassung der Fertigungszeit sowie des Fertigungsablaufes wurden als wesentlich – im Sinne der baubetrieblichen Betrachtung – erachtet, weshalb diese neben den beiden elementaren Bedingungen zur Beeinflussung der Produktivität angeführt sind.

Diese vier Anpassungsmöglichkeiten können jeweils alleine oder in Kombinationen auftreten. Je nach Grad der Anpassung und Anpassungsvariante sind die Grenzgrößen zu untersuchen.

Speziell bei der Anpassung des Outputs ist der Unterschied zwischen der rein baubetrieblichen Betrachtung und der Praxis erheblich. Das Bau-Soll steht mit dem Vertrag fest. Dahingehend wird am Output in qualitativer und quantitativer Hinsicht keine Veränderung vorgenommen. Der Output ändert sich über die Umstellung des Verfahrens oder der Anpassung des Fertigungsablaufes und nicht direkt über eine Mengenänderung. Auch ist die Anpassung der Qualität keine in der Praxis übliche und empfehlenswerte Anpassung.

Grenzgrößen Über-/ Unterschreitung

Nachdem eine Anpassungsvariante festgelegt wurde, ist diese auf die Grenzgrößenüber- bzw. -unterschreitung zu untersuchen. Die Einteilung, Bedeutung und Unterscheidung der Grenzgrößen wurde in Abschnitt 4.2 beschrieben.

Werden keine Grenzgrößen erreicht und sind auch keine direkten Ursachen für Produktivitätsverluste gegeben, so treten keine Produktivitätsverluste infolge dieser Störung auf. Diesbezüglich wird wiederum die

Auswirkung auf interne und externe Tätigkeiten überprüft. Treten keine Produktivitätsverluste infolge einer Einwirkung auf, sollten der Grund und die Auswirkung der Soll-Ist-Abweichung über eine Ursachenermittlung detaillierter untersucht werden.

Wird beispielsweise aufgrund einer Aufwandswerterhöhung einer Tätigkeit die benötigte Zeit zur Durchführung der Arbeit erhöht, besteht die Möglichkeit, dass die Fertigungszeit um den entsprechenden Anteil erweitert wird. Infolge der zeitlichen Erweiterung sind keine Ressourcenanpassungen erforderlich, wodurch keine neuerlichen Grenzgrößen erreicht bzw. bestehende verändert werden. Infolgedessen treten keine weiteren Produktivitätsverluste aufgrund der Anpassung auf. Somit sollte ermittelt werden, an welcher Stelle sich diese Soll-Ist-Abweichung auswirkt. Dahingehend sind wiederum die internen sowie die externen Auswirkungen des Vorganges zu untersuchen.

Werden Grenzgrößen erreicht, sind diese einer genaueren Betrachtung zu unterziehen.

Produktivitätsverluste

Infolge der Grenzgrößen Über- bzw. Unterschreitung treten die in Abschnitt 4.2 beschriebenen Produktivitätsverluste auf.

Produktivitätsverluste können auch unabhängig von der Anpassung der Produktionsfaktoren auftreten. In diesem Zusammenhang sind die in Abschnitt 4.1 beschriebenen direkten Ursachen für Produktivitätsverluste zu erwähnen. Produktivitätsverluste, wie nicht kontinuierlicher Arbeitsfluss und der Verlust des Einarbeitungseffektes, ergeben sich zumeist aufgrund einer Unterbrechung. Diese treten unabhängig von der Anpassung der Produktionsfaktoren auf.

Sowohl die über die Grenzgrößen Über- bzw. Unterschreitung als auch die zufolge der direkten Ursachen eintretenden Produktivitätsverluste sind in weiterer Folge auf ihr diskretes und nicht diskretes Verhalten zu untersuchen.

Die Anpassung der Produktionsfaktoren und die Untersuchung der Grenzgrößenüber- bzw. -unterschreitung mit den resultierenden Produktivitätsverlusten ist als ein iterativer Prozess anzusehen.

Diskretes und nicht diskretes Verhalten

Ist ein Produktivitätsverlust in sich abgeschlossen und beeinflusst dieser keinen anderen Produktivitätsverlust, so ist er als diskret zu betrachten. Der diskrete Produktivitätsverlust weist in weiterer Folge ein kumulatives Verhalten auf.

Werden allerdings andere Produktivitätsverluste beeinflusst, so ist dieses Verhalten nicht als diskret zu erachten. Dahingehend tritt eine Aggregation der Produktivitätsverluste auf. Damit sich Produktivitätsverluste gegenseitig beeinflussen können und somit ein nicht diskretes Verhalten

aufweisen, müssen respektive mindestens zwei Produktivitätsverluste vorherrschen. Es besteht allerdings auch die Möglichkeit, dass sich ein Produktivitätsverlust alleine beeinflusst, wie beispielsweise bei einer Ressourcenanpassung des Mindestarbeitsraumes. Sinkt die Produktivität durch eine Anpassung so, dass mehr Arbeitskräfte benötigt werden, reduziert sich die Fläche erneut aufgrund dieser Anpassung.

Die genaue Definition des Begriffs der Diskretisierung sowie seine Bedeutung sind in Abschnitt 4.3 beschrieben.

Kumulation und Aggregation der Produktivitätsverluste

Weisen Produktivitätsverluste ein diskretes Verhalten auf, so beeinflussen sich diese nicht gegenseitig. Dies hat zur Folge, dass die aufgetretenen Produktivitätsverluste über ein Additionsverfahren summiert und somit kumuliert werden. Somit besteht die kumulierte Summe der Produktivitätsverluste aus der Summe der einzelnen Produktivitätsverluste.

Beeinflussen sich die Produktivitätsverluste allerdings gegenseitig, so entsteht eine Aggregation dieser. Eine Aggregation hat zur Folge, dass aus der gegenseitigen Beeinflussung eine neue aggregierte Gesamtheit entsteht. Diesbezüglich ist die Summe der Ausgangsparameter – der zu Beginn vorhandenen Produktivitätsverluste –, welche wiederum eine kumulierte Summe darstellt, nicht gleich der aggregierten Gesamtheit. In der aggregierten Gesamtheit der Produktivitätsverluste sind Anteile der gegenseitigen Beeinflussung bereits berücksichtigt.

Treten multiple Störungen auf, sind sowohl Kumulationen als auch Aggregationen möglich. Dabei ist der kumulative Anteil in der aggregierten Gesamtheit mit zu berücksichtigen.

Der Begriff der Kumulation sowie der Aggregation wird im Folgenden Abschnitt 4.7 erläutert.

Auf eine Analyse des diskreten oder nicht diskreten Verhaltens sowie der Kumulation und Aggregation der Produktivitätsverluste folgt nun eine Untersuchung ihrer Auswirkung auf andere Tätigkeiten.

Auswirkungen auf andere Tätigkeiten

Haben die Anpassungen des Bauablaufes bzw. die eventuell resultierenden Produktivitätsverluste keine weiteren Auswirkungen auf andere Tätigkeiten oder Vorgänge, sind Reichweite und Auswirkung der Einwirkung abgeschlossen. Wirken sich diese allerdings auf vorgangsbezogene interne Tätigkeiten oder auf externe Tätigkeiten in anderen Vorgängen aus, so stellen sie wiederum Einwirkungen für die betroffenen Tätigkeiten und Vorgänge dar.

Vorgangsbezogen intern bedeutet in diesem Zusammenhang, dass andere Tätigkeiten im bereits betroffenen Vorgang beeinflusst werden. Eine vorgangsbezogene externe Beeinflussung liegt vor, wenn Tätigkeiten

von andern Vorgängen oder andere Vorgänge im gesamten, gestört werden.

Beschränkt sich die Auswirkung nicht auf die betroffene Tätigkeit, so ist dieses Ablaufschema so lange durchzuführen – sowohl für direkte als auch für indirekte Einwirkungen –, bis keine Auswirkungen mehr vorliegen.

Indirekte Einwirkung

Eine indirekte Einwirkung ergibt sich aufgrund einer Auswirkung. Diese Auswirkung ist je nach Reichweite der Störung direkter oder ebenfalls indirekter Natur. Unabhängig davon stehen indirekte Einwirkungen nicht direkt mit der Einwirkung, von der die Störung ausgeht, in Verbindung.

4.7 Die Eigenschaft der Kumulation und Aggregation von Produktivitätsverlusten

Der Produktionsprozess im Bauwesen ist durch einen komplexen Ablauf mit unterschiedlichsten Vorgängen und Tätigkeiten auf mehreren Ebenen gleichzeitig geprägt. Zusätzlich ändert sich der Ort der Erzeugung von Baustelle zu Baustelle sowie von Tätigkeit zu Tätigkeit stetig. Dahingehend ist ein Überschneiden dieser Tätigkeiten und Vorgänge als normal zu erachten. Aufgrund des parallelen Ablaufes und der Überschneidungen können die aus Störungen resultierenden Produktivitätsverluste mehrere Tätigkeiten gleichzeitig beeinflussen.

Außerdem können Produktivitätsverluste aufgrund ihrer unterschiedlichen Eigenschaften, Grenzgrößen und Auswirkungen eine gegenseitige Beeinflussung bewirken.

In diesem Zusammenhang ist die Diskretisierung einer Einwirkung und eines Produktivitätsverlustes maßgebend. Tritt keine Beeinflussung auf, ist dies als Kumulation zu verstehen. Werden hingegen andere Einwirkungen oder Produktivitätsverluste beeinflusst, treten abhängig vom Grad der Beeinflussung Aggregationen auf.

Das Prinzip der Kumulation sowie der Aggregation ist bezogen auf die Einwirkung und die Auswirkung, mit Produktivitätsverlusten als Ergebnis, dasselbe. Trotzdem ist zwischen der Kumulation und der Aggregation von Einwirkungen und von Auswirkungen zu unterscheiden. Produktivitätsverluste können sowohl infolge einer singulären Einwirkung kumulieren oder aggregieren als auch infolge einer kumulierten Summe oder aggregierten Gesamtheit von Einwirkungen.

In diesem Abschnitt wird der Sachverhalt der Kumulierung bzw. der Aggregation von Auswirkungen, respektive von Produktivitätsverlusten, behandelt. Dahingehend werden zuerst die beiden Begriffe definiert sowie deren Verwendung in dieser Arbeit festgelegt und in weiterer Folge das Prinzip der Kumulation und der Aggregation erläutert.

4.7.1 Begriffsdefinition zu Kumulation und Aggregation

Die Begriffe der Kumulation und Aggregation haben eine ähnliche Bedeutung. Allerdings sind diese nicht als sinngleich zu verstehen. Beide Begriffe können als Anhäufung aufgefasst werden. Allerdings ist der Prozess der Aufsummierung der beiden Begriffe unterschiedlich. Diesbezüglich ist Kumulation als Anhäufung durch eine reine Aufsummierung und Aggregation als Reaktion und Generation der Faktoren mit der Anhäufung als Produkt zu verstehen.

Infolge der Literaturrecherchen sowohl im deutschsprachigen als auch im angloamerikanischen Raum wurde ersichtlich, dass zwischen Kumulation und Aggregation kein Unterschied gemacht wird. Treten multiple

Produktivitätsverluste auf, werden diese häufig als kumulativ bezeichnet. Dahingehend wird keine Unterscheidung zwischen diskretem und nicht diskretem Verhalten sowie der nicht linearen Wechselbeziehungen untereinander vorgenommen.

Aufgrund dessen wurde eine Literaturrecherche bezüglich der Verwendung dieser Begriffe durchgeführt. Dabei wurden der Ursprung der Begriffe, sowie die allgemein gängigen Definitionen dieser untersucht. Weiters wurde die Verwendung der Begriffe in unterschiedlichen Fachbereichen analysiert. Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden in den folgenden Unterabschnitten behandelt.

4.7.1.1 Verwendung von Kumulation und Aggregation in der einschlägigen Literatur

Recherchiert man zum Thema Produktivitätsverluste in der angloamerikanischen und englischen Literatur, stößt man auf den Ausdruck „cumulative impact“.

Long/Carter zitieren mehrere Definitionen zu „cumulative impact“, unter anderem die der *Veteran Affairs Board of Contract Appeals (VABCA)*:

„Cumulative impact is referred to as the „ripple effect“ of changes on unchanged work that causes a decrease in productivity is not always analyzed in terms of spatial and temporal relationships.[...]“¹⁸²

In der angloamerikanischen und englischen Literatur gibt es eine Vielzahl von Definitionen zum Terminus „cumulative impact“, wodurch dieser Fachausdruck eine relativ eindeutige Verwendung findet. Allerdings werden diesbezüglich wiederum nur die Kumulierungswirkungen der Einwirkung beschrieben.

Das Prinzip der Kumulation sowie der Aggregation bleibt sowohl bei Einwirkungen als auch bei Auswirkungen bzw. Produktivitätsverlusten dasselbe. Dahingehend sind in der angloamerikanischen Literatur Begriffe wie „compounding effect“ und „synergetic impacts“ zu nennen. Diese können als sinnähnlich mit dem Begriff der Anreicherung verstanden werden.

Begriffe wie kumulierte oder kumulative Folgen, kumulative Kosten, Kumulierungswirkungen, kumulative Einwirkungen und andere Abwandlungen und Kombinationen lassen sich in Literaturquellen zum Thema Produktivitätsverluste im deutschsprachigen Raum finden. Diese Bezeichnungen leiten sich oft von dem englischen Begriff übernommenen „cumulativ“ ab.

¹⁸² LONG, R. J.; CARTER, R. C.: Cumulative Impact Claims. S. 2f.

Der Einfluss einer Ablaufstörung im Bauwesen bringt eine Art Welleneffekt mit sich. Die Gesamtheit einer solchen Störung und die Auswirkungen des sich ergebenden Welleneffektes sind nur schwer mittels einer rein additiven Methode zu ermitteln. Durch das verflochtene Gefüge von zahlreichen, sowohl zeitlich als auch räumlich, ineinander übergehenden Abläufen eines Bauablaufes, welches mit der Größe und Komplexität erheblich ansteigt, sind nicht alle Auswirkungen erkennbar, erfassbar oder ermittelbar. Werden die Einwirkungen betrachtet, entspricht durch das reine Aufsummieren der Einzeleinflüsse das Ergebnis nicht gleich dem Ergebnis des Gesamteinflusses. Dieses Prinzip gilt auch für Produktivitätsverluste. Die Summe der einzelnen Verluste muss nicht dem Gesamtverlust entsprechen.

Dahingehend unterscheiden sich die Begriffe der Kumulation und der Aggregation.

Im weiteren Verlauf werden die Begriffe Kumulation und Aggregation auf ihre Interpretation in der Fachliteratur bezüglich des „rein additiven“ und „additiv-aggregierenden“ Verhaltens untersucht.

4.7.1.2 Bedeutung von Kumulation

Da der Begriff in der einschlägigen deutschsprachigen Literatur nicht weiter definiert ist, wurden Definitionen aus anderen Fachbereichen analysiert.

Der Ursprung des Substantivs Kumulation den Ursprung ist im Lateinischen zu suchen und leitet von *cumulare* ab. *Cumulare*, von *cumulus* – haufen, bedeutet so viel wie anhäufen, ansammeln oder steigern.¹⁸³ Dahingehend lautet die Definition für Kumulation wie folgt:

*„Im engeren Sinn Steigerung eines Wirkstoffeffekts im Organismus dadurch, daß dem Organismus von neuem ein Stoff zugeführt wird, dessen früherer eingenommene Dosen noch nicht völlig ausgeschieden sind, sich die Mengen u. Wirkungen also addieren. [...]“*¹⁸⁴

Der Vorgang der Aufhäufung im Bereich der Biologie und der Medizin wird in der Brockhaus Online-Enzyklopädie ähnlich beschrieben:

¹⁸³ Vgl. FALBE, J.; REGITZ, M.: Römpp Chemie Lexikon. S. 2394.

¹⁸⁴ FALBE, J.; REGITZ, M.: Römpp Chemie Lexikon. S. 2394.

„**Kumulation** [spätlateinisch, zu *cumulare* »aufhäufen«] die, -/en, Biologie, Medizin: Zunahme der Konzentration eines Arzneistoffs im Organismus bei wiederholter Gabe gleicher Dosen in festem zeitlichem Abstand (Dosierungsintervall), innerhalb dessen dieser noch nicht vollständig aus dem Körper entfernt wurde. Kumulationsgefahr und damit auch das Risiko des Auftretens zu starker oder unerwünschter Wirkungen besteht v. a. [...]“¹⁸⁵

Zudem definiert der *Duden Deutsches Universalwörterbuch A-Z* das Substantiv Kumulation und die dazugehörigen Adjektive und Verben wie folgt:

Ku|mu|la|ti|on, die; -, -en <aus gleichbed. lat. *cumulatio*, zu *cumulare*, vgl. *kumulieren*>: 1. Anhäufung, Sammlung u. Speicherung. 2. vergiftende Wirkung kleiner, aber fortgesetzt begebenen Dosen bestimmter Arzneimittel (Med.). **ku|mu|la|ti|v** <zu ↑...iv> [sich] anhäufend, steigernd. [...] **ku|mu|lie|ren** <aus gleichbed. lat. *cumulare* zu *cumulus*, vgl. *Kumulus*>: a) anhäufen, anhäufen [u. steigern, verstärken]; b) einem Wahlkandidaten mehrere Stimmen geben.[...]“¹⁸⁶

Abschließend wird die Definition der *bildungssprachlichen* Verwendung des Terminus Kumulation nach der *Brockhaus Online-Enzyklopädie* zitiert:

Kumulation [spätlateinisch, zu *cumulare* »aufhäufen«] die, -/en, bildungssprachlich für: Anhäufung, Sammlung und Speicherung.¹⁸⁷

Zudem lässt sich in derselben Online-Enzyklopädie des BROKHAUS Wissensservice eine Definition des katholischen Kirchenrechtes finden, welches besagt, dass bei einer Mehrheit von Strafen, die Kirchenstrafen zu kumulieren sind.¹⁸⁸ Dies ist, für diese Arbeit, allerdings nur bedingt von Interesse.

Die Verwendung des Terminus *kumulativ* in der Mathematik wird für den weiteren Verlauf als wichtig erachtet. Diesbezüglich werden das Adverb *kumuliert*, das Adjektiv *kumulativ* oder das Substantiv *Kumulation* in der Mathematik meist als Begriffe für das schrittweise Aufsummieren verwendet. Dahingehend entspricht die Endsumme der einzelnen Teilschritte der Gesamtsumme. Dies wird zum Beispiel in der Statistik verwendet, um auftretende Häufigkeiten darzustellen.

¹⁸⁵ BROCKHAUS WISSENSSERVICE: Kumulation (Biologie, Medizin). <https://tugraz.brockhaus-wissensservice.com/brockhaus/kumulation-biologie-medizin>. Datum des Zugriffs: 15.Jänner.2015

¹⁸⁶ DUDEN: Duden - Das Große Fremdwörterbuch. S. 773.

¹⁸⁷ BROCKHAUS WISSENSSERVICE: Kumulation (bildungssprachlich). <https://tugraz.brockhaus-wissensservice.com/brockhaus/kumulation-bildungssprachlich>. Datum des Zugriffs: 12.Jänner.2015

¹⁸⁸ Vgl. BROCKHAUS WISSENSSERVICE: Kumulation (katholisches Kirchenrecht). <https://tugraz.brockhaus-wissensservice.com/brockhaus/kumulation-katholisches-kirchenrecht>. Datum des Zugriffs: 15.Jänner.2015

Die Definition der *kumulierten Häufigkeit*, welche in empirischen Verteilungsfunktionen zur Anwendung kommt, zeigt diese Aufsummierung von zuvor definierten Ereignissen in einem ereignisabhängigen, unregelmäßigen Intervall.

„a. Für $i=1, \dots, k$ heißt $\sum_{x \leq x_i} H_n(x)$ die **kumulierte absolute Häufigkeit von x_i** .

b. Für $i=1, \dots, k$ heißt $\sum_{x \leq x_i} h_n(x)$ die **kumulierte relative Häufigkeit von x_i** .¹⁸⁹

Dabei stellt die absolute oder die relative Häufigkeit die Anzahl des Eintreffens des Einzelereignisses dar. Die kumulierte absolute oder kumulierte relative Häufigkeit ergibt dabei die Summe der zuvor eingetroffenen Ereignisse inklusive dem aktuellen Ereignis. Die Gesamtsumme, die Summe der einzeln auftretenden Häufigkeiten sowie die kumulierten Häufigkeiten für $i = k$ sind ident.¹⁹⁰

Ein weiteres Beispiel, für die Verwendung der Kumulation in der Mathematik, ist die kumulative Gesamtprüfzeit im *cttot-Test* nach *Epstein*. Die Gesamtprüfzeit ist wie folgt definiert:¹⁹¹

$$T(x_i) = \sum_{j=1}^i D_j \text{ für } (i = 1, \dots, n) \quad (\text{Gl. 4-1})$$

Für die kumulative Gesamtprüfzeit werden, wie für die kumulative Häufigkeit, die Teilergebnisse addiert. Zu erkennen ist, dass auch hier mit dieser Summierung die Gesamtheit erfasst wird.

Um die Verwendung der Begriffe im Bauwesen zu erfahren, wurde fachspezifische Literatur für Baubetrieb und Bauwirtschaft sowie Literatur für Baurecht zur weiteren Recherche herangezogen. Diesbezüglich wurde nach folgenden Kriterien recherchiert und anschließend aus dem Kontext heraus interpretiert:

- Verwendung der Substantive Kumulation oder Kumulierung mit sämtlichen Kombinationen von Substantiven, Pronomen oder Adjektiven,
- Verwendung des Verbes kumulieren oder einem Lexem dieses Verbes sowie
- Verwendung des Adjektives kumuliert und den dazugehörigen Deklinationen

¹⁸⁹ BÜCHTER, A.; HENN, H.-W.: Elementare Stochastik - Eine Einführung in die Mathematik der Daten und des Zufalls. S. 29.

¹⁹⁰ BÜCHTER, A.; HENN, H.-W.: Elementare Stochastik - Eine Einführung in die Mathematik der Daten und des Zufalls. S. 28ff.

¹⁹¹ HARTUNG, J.; ELPELT, B.; KLÖSNER, K.-H.: Statistik - Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik. S. 778

Fischer/Maron/Schwiers verwenden den Begriff Kumulation unter anderem in folgenden Formen:

- *Bauleistungssummen und Anteile aufkumulieren*
- *kumulierte Anteile*
- *Kumulierung der Einzelvertragsstrafen*
- *in kumulierter Form darstellen*¹⁹²

Die Autoren verwenden den Terminus kongruent mit der Mathematik für die Summierung von schrittweisen Ereignissen.

*Unter kumuliert ist hierbei zu verstehen, dass in jeder neu aufgestellten Abschlagsrechnung die gesamte, bisher erbrachte Leistung sowie die bereits bezahlten Abschläge enthalten sind.*¹⁹³

In § 1295 ABGB Abs 2 kommt der Begriff der Kumulation wie folgt zur Anwendung:

*Ist der Schadenseintritt auf das gleichzeitige Zusammenwirken mehrerer schädigender Ereignisse zurückzuführen, von denen jedes für sich allein den Schaden herbeigeführt hätte (kumulative Kausalität), haften die mehreren Schädiger ebenfalls solidarisch (SZ57/25; ÖBI 1984, 164 = SZ57/51).*¹⁹⁴

Duve zitiert den Ausdruck der kumulativen Kausalität aus § 1295 ABGB wie folgt:

*Führen erst zwei Störungen zusammen zu der hindernden Auswirkung, liegt kumulative Kausalität vor, bzw. addierende Kausalität, wenn der Umfang der Auswirkung als Summe der verschiedenen Ereignisse hervorgerufen wird.*¹⁹⁵

Weiter werden in §1295 ABGB noch die Begriffe der alternativen und der überholenden Kausalität erläutert. In § 1295 ABGB wird die addierende Kausalität nicht weiter erwähnt¹⁹⁶, was darauf schließen lässt, dass *Duve* die kumulative und die addierende Kausalität gleichsetzt. Somit wird Kumulation als ein Synonym für Summierung verwendet.

Im Bereich des Baubetriebs und der Bauwirtschaft verwendet *Kumlehn* Deklinationen des Adjektivs kumuliert wie folgt:

- *Aus kumulierten Kostenbestandteilen*¹⁹⁷
- *Zum Ende der Nutzungsdauer kumulierte Verteilung von Anschaffungskosten*¹⁹⁸

¹⁹² FISCHER, P.; MARONDE, M.; SCHWIERS, J. A.: Das Auftragsrisiko im Griff. S. 69, 122, 168

¹⁹³ FISCHER, P.; MARONDE, M.; SCHWIERS, J. A.: Das Auftragsrisiko im Griff. S. 168.

¹⁹⁴ DITTRICH, R.; TADES, H.: Das Allgemeine bürgerliche Gesetzbuch - Taschenkommentat. S. 596.

¹⁹⁵ DUVE, H.: Nachweis von Bauablaufstörungen. In: 1. Grazer Baubetriebs- & Baurechtsseminar - Behandlung und Nachweisführung von Mehrkostenforderungen, 1. Ausgabe/2008. S. 60.

¹⁹⁶ Vgl. DITTRICH, R.; TADES, H.: Das Allgemeine bürgerliche Gesetzbuch - Taschenkommentat. S. 593ff.

¹⁹⁷ Vgl. KUMLEHN, F.: Bewertung gestörter Bauabläufe der Höhe nach : Geht mit § 642 BGB für Auftragnehmer alles einfacher?. In: Baumarkt + Bauwirtschaft, 2004. S. 2.

Diesbezüglich wird interpretiert, dass der Autor den Terminus Kumulation in Kombination mit den Anschaffungskosten als Synonym zur stufenweisen Summierung von diversen Kosten verwendet. Allerdings geht nicht eindeutig hervor, ob der Prozess zur Ermittlung der kumulierten Kostenbestandteile durch eine reine Addition oder durch eine „aggregierte Addition“ – unter Berücksichtigung etwaiger Aggregationen – erfolgt. Somit ist nicht eindeutig nachvollziehbar, ob die kumulierten Kostenbestandteile entweder ein Konglomerat aus vielen – nicht eindeutig zuordenbaren – Kostenbestandteilen sind oder einzelne Teile der Kosten summiert wurden.

In *Greune* kommt Kumulation beispielsweise als Adjektiv und als Adverb zur Anwendung.

Als Verb:

- *kumulierte Auswirkung,*
- *kumulierte Folge,*
- *kumulierten Kosten,*
- *kumulierte Mengenleistung,*
- *kumulierte Wirkung,*
- *kumulierte Lohnstunden etc.*¹⁹⁹

Als Adjektiv:

- *kumulative Bewertung*
- *kumulative Beeinträchtigung*
- *kumulative Folge*²⁰⁰

Diese Begriffe werden sowohl im Singular als auch im Plural verwendet. Diesbezüglich wird oft kumulative bzw. kumulierte Folge aus dem englischen „cumulative impact“ direkt übersetzt.

*„Ein möglicher Zusammenhang wird damit begründet, dass die Produktivitätsminderung nicht die Folge einer einzelnen konkreten Nachtragsleistung sei, sondern vielmehr die kumulierte Folge aller im Projektverlauf angefallenen Nachtragsleistungen. Dieser Effekt wird daher als kumulierte Auswirkung (cumulative impact) bezeichnet.“*²⁰¹

¹⁹⁸ Vgl. KUMLEHN, F.: Implizite Bestandteile des Baugeräteverrechnungssatzes – Mehrfach unbestimmtes Preisermittlungssystem bei Nachträgen. In: Schriftenreihe - Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft Technische Universität Braunschweig, Heft 51/2011. S. 51.

¹⁹⁹ GREUNE, S.: Darlegung und Bewertung von multiplen Bauablaufstörungen. In: Schriftenreihe - Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft Technische Universität Braunschweig, Heft 55/2014. S. 77, 139, 143, 177, 184.

²⁰⁰ Vgl. GREUNE, S.: Darlegung und Bewertung von multiplen Bauablaufstörungen. In: Schriftenreihe - Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft Technische Universität Braunschweig, Heft 55/2014. S. 5, 128, 157, 189.

²⁰¹ GREUNE, S.: Darlegung und Bewertung von multiplen Bauablaufstörungen. In: Schriftenreihe - Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft Technische Universität Braunschweig, Heft 55/2014. S. 77.

Dahingehend wird interpretiert, dass „*kumulierte Folge*“ verwendet wird, um Auswirkungen des Welleneffektes – des Prozesses der „Anreicherung“ – durch eine Vielzahl von Störungen zu beschreiben. So kann auch die Verwendung des Terminus Kumulierung in Kombination mit Wirkung interpretiert werden.

Die Verwendung von kumulativ und kumuliert als Adjektiv oder Adverb in Verbindung mit Werten, Mengenleistung, Stundenverbrauch oder anderen faktischen Angaben kann als eine reine Addition der Teilmengen und somit als Summierung angesehen werden. Bei dieser Verwendung wird der Ausdruck mehr zur Beschreibung des Ergebnisses herangezogen und nicht zur Beschreibung des Prozesses der Anreicherung.

Bei den kumulierten Kosten kann sowohl der Prozess als auch die rein mathematische Addition der einzelnen Teilsommen gemeint sein.

Es ist zu erkennen, dass der Terminus Kumulierung sowohl für die reine Summenbildung als auch für den Prozess des Anhäufens und der Anreicherung verwendet wird. Allerdings ist es aus Sicht des Verfassers wichtig, eine klare Unterscheidung dieser beiden Eigenschaften durch unterschiedliche Begriffe zu haben.

Zusätzlich stehen die einzelnen Abläufe und Prozesse in einer Beziehung zueinander, die keine gleichmäßige, lineare Wechselwirkung aufweist. Ein Ablauf kann auf einen weiteren Ablauf eine wesentlich größere Auswirkung haben als umgekehrt.

Ausgehend von dieser Ungleichheit in der Beziehung und Wechselwirkung der Abläufe trifft das Kommutativgesetz der Addition ($a + b = b + a$) für das Verhalten von Produktivitätsverlusten nicht zu. In diesem Zusammenhang ist ein rein additives Verhalten nicht zutreffend.

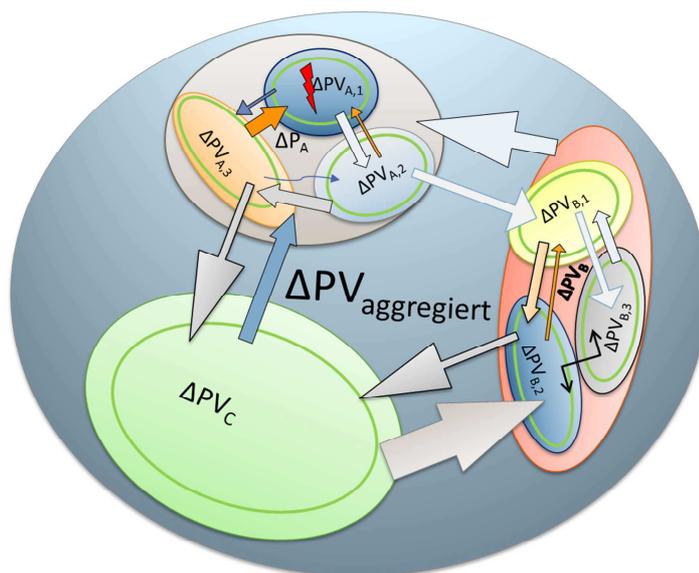


Abbildung 4-7: Schematische Darstellung der einzelnen Produktivitätsverluste ΔPV_i und des gesamten Produktivitätsverlustes $\Delta PV_{\text{aggregiert}}$

Abbildung 4-7 verdeutlicht, dass ein anderer Ausdruck im Bereich des Bauwesens für den Prozess der Anhäufung von Produktivitätsverlusten durch die Entstehung eines „Welleneffektes“ erforderlich ist. Zudem wird eine zusätzliche Abgrenzung zum additiven Verfahren der mathematischen Summierung benötigt.

In Tabelle 4-1 sind die Ergebnisse der Literaturrecherche über die Verwendung des Begriffes der Kumulation dargestellt. Dabei sind die Autoren, das Jahr sowie der verwendete Begriff bzw. die verwendeten Begriffe angeführt. Weiters ist angegeben, ob die Begriffe zur Beschreibung einer Aufschaukelung oder einer Summierung verwendet und ob diese in weiterer Folge in einer additiven oder zusammenfassenden Weise angewendet wurden.

Nr.	Autoren	Jahr	Fachbereich	Verwendung	zur Beschr. des Prozesses der Aufschaukelung	Summierung	beides möglich	additive Verwendung		zusammenfassende Verw.	
								ja	nein	ja	nein
				kumulative Kausalität							
	Barth, P.; Dokalik, D.; Potyka, M.	2014	Taschenrechner zum ABGB	kumulierte Häufigkeit	x			x			x
	Büchter, A.; Henn H.-W.	2005	Mathematik / Stochastik	kumulative Gesamprüfung		x			x		
	Hartung, J.; Elpelt, B.; Klönsner, K.-H.	2005	Mathematik / Stochastik	kumulativer Vorgang					x		x
	Saint-Mont, U.	2011	Mathematik / Statistik	kumulative Forschung					x		x
				kumuliert man					x		x
				Niveau kumuliert					x		x
	Falk, M. et al.	2014	Mathematik / Statistik	Fehlerkumulierung					x		x
				kumulative Erfassung					x		x
				Summen aufkumulieren					x		x
				kumulierte Anteile					x		x
	Fischer, P. et al.	2008	Bauwesen / Risikoanalyse	Kumulierung v. Vertragsstrafen in kumulierter Form					x		x
				kumulierte Rechnungssumme					x		x
	Duwe, H.	2008	Bauwesen / Baurecht	kumulative Kausalität					x		x
		2004	Bauwesen / Ablaufstörung	kumulierte Kostenbestandteile					x		x
	Kumlehn, F.	2011	Bauwesen / Kalkulation	kumulierte Anschaffungskosten					x		x
				kumulierte Folge					x		x
				kumulierte Auswirkung					x		x
				kumulative Bewertung					x		x
				kumulierten Kosten					x		x
				kumulierten Werte					x		x
	Greune, S.	2014	Bauwesen / Ablaufstörung	kumulierte Wirkung					x		x
				kumulierte Stundenverbrauch					x		x
				kumulativen Beeinträchtigung					x		x
				kumulierte Mengenleistungen					x		x
				kumulierte Lohnstunden					x		x
	Wisser, J.; Koraimann, T.		Bauwesen / Baurecht	kumulierung von Qualität					x		x
	Kurbos, R.		Bauwesen / Baurecht	kumulativ berücksichtigen					x		x
	Dullinger, K.		Bauwesen / Baurecht	kumulativ anwenden					x		x

Tabelle 4-1: Überblick über das Ergebnis der Verwendung des Begriffes der Kumulation in der Literatur

4.7.1.3 Bedeutung von Aggregation

Durch die zuvor erwähnten Beziehungen, Vernetzungen und Interaktionen der Abläufe untereinander, werden vielmehr neue Bindungen, neue, veränderte Abläufe geschaffen. Diese neue Zusammensetzung lässt sich eventuell besser mit dem Begriff der Aggregation beschreiben.

Die allgemeine Definition von Aggregation unterscheidet sich gering von der Definition der Kumulation:

Aggregation die, 1) allg.: Anhäufung, Angliederung.
2) Chemie Zusammenlagerung von Atomen Molekülen und/oder Ionen zu einem größeren Verband (Aggregat).²⁰²

Weiters ist das Substantiv Aggregation in der aktuelleren *Brockhaus Online-Enzyklopädie* beschrieben: Es hat seinen Ursprung ebenfalls im Lateinischen. Aggregation bedeutet das Zusammenhäufen oder allgemein auch die Anhäufung bzw. Angliederung.²⁰³

Neben der allgemeinen und der Bedeutung im Bereich der Chemie finden sich in der *Brockhaus Wissensmedia* Definitionen der Aggregation auch im Bereich der Verhaltensforschung, der Volkswirtschaft und Wirtschaftswissenschaften.

Beispielsweise wird Aggregation in der Volkswirtschaft definiert als:

*die Zusammenfassung gleichartiger Einzelgrößen (Wirtschaftssubjekte, wirtschaftliche Transaktionen) zu Gesamtgrößen, um wirtschaftliche Bestandsgrößen (z. B. Geld- und Sachvermögen) oder Stromgrößen (z. B. Konsum und laufende Ersparnis) in gesamtwirtschaftlicher Dimension erfassbar zu machen. Die Gleichartigkeit wird dabei auf die für den jeweiligen Untersuchungsgegenstand relevanten Merkmale beschränkt. So werden Wirtschaftssubjekte u. a. nach ihrem Erwerbscharakter (z. B. Unternehmen, private und öffentliche Haushalte), nach ihrem arbeitsvertraglichen Status (z. B. Arbeiter, Angestellte, Selbstständige), nach regionalen (z. B. Stadt, Land) oder sektoralen Gesichtspunkten (z. B. Industrie, Landwirtschaft, Dienstleistungen) oder in funktionaler Hinsicht (z. B. Konsumenten und Produzenten) zusammengefasst (aggregiert).*²⁰⁴

Im *Duden*²⁰⁵ weicht die Definition kaum von der des Brockhaus ab.

Das *Gabler Volkswirtschafts-Lexikon* erläutert den Terminus Aggregation etwas ausführlicher und unterteilt diesen in die drei Kategorien Wirtschaftstheorie, Statistik und Ökonometrie. In der ersten Kategorie, der Wirtschaftstheorie, wird die Aggregation als eine „Zusammenfassung mehrerer Einzelgrößen zur Gewinnung von Zusammenhängen“ gese-

²⁰² STRZYSCH, M.; WEIß, J.: DER BROCKHAUS - IN FÜNF BÄNDEN. S. 69.

²⁰³ Vgl. BROCKHAUS WISSENSSERVICE: Aggregation (allgemein). <https://tugraz.brockhaus-wissensservice.com/brockhaus/aggregation-allgemein>. Datum des Zugriffs: 15.Jänner.2015

²⁰⁴ BROCKHAUS WISSENSSERVICE: Aggregation (Volkswirtschaftslehre). <https://tugraz.brockhaus-wissensservice.com/brockhaus/aggregation-volkswirtschaftslehre>. Datum des Zugriffs: 15.Jänner.2015

²⁰⁵ Vgl. DUDEN: Duden - Das Große Fremdwörterbuch. S. 55.

hen. Die Statistik verwendet den Begriff entweder als „*Übergang von enger definierten zu umfassender definierten Variablen*“ oder als „*Übergang von eng abgegrenzten zu umfassenderen Kenngrößen*“ zur Beschreibung von „*Gesamtheiten*“. In der Ökonometrie, der letzten der drei Kategorien, wird Aggregation zur „*Schätzung makroökonomischer Relationen*“ unter Zugrundelegung des „*Durchschnittsverhaltens von Gruppen*“ gebraucht.²⁰⁶

Zudem wird in der Mathematik der Terminus verwendet, um eine Verdichtung oder eine Anreicherung zu beschreiben. Beispielsweise gebrauchen Falk et al Aggregation als Ausdruck für die Verdichtung bzw. das Zusammenfassen von Daten.²⁰⁷

Auch Saint-Mont verwendet die Aggregation bzw. das Aggregieren als einen Prozess des Zusammenfassens in etwas Gesamtheitliches, alles Umfassendes in Bezug auf die Volkswirtschaft:

*[...] die Rohdaten fast genauso perfektionistisch zu aggregieren, sich etwa auf die Suche nach der „endgültigen, alles umfassenden Gesamtrechnung“ der Volkswirtschaft zu machen, die alles zu einem einzigen, riesigen, in sich stimmigen Gesamtbild vereinigt.*²⁰⁸

In der Bauwirtschaft wird der Ausdruck Aggregation bis jetzt nur selten verwendet. In Bezug auf Bauablaufstörungen wurde bei der Literaturrecherche bis auf die von Hofstadler/Kummer keine weitere Verwendung gefunden. Die Autoren vergleichen das rein additive Verhalten von zwei auftretenden Produktivitätsverlusten mit dem der Aggregation.

*Eine reine Addition berücksichtigt – im Gegensatz zur Aggregation – nicht die gegenseitigen Wechselbeziehungen und Überlagerungen der Einzelproduktivitätsverluste.*²⁰⁹

Wie zuvor im Abschnitt über Kumulation beschrieben, wird mit dem Terminus Aggregation die fehlende Ungleichheit in der Beziehung der beiden Prozesse und die Wechselwirkung zwischen den Prozessen berücksichtigt.

Resümierend kann aus den dargelegten Beispielen von Medizin über Mathematik und Volkswirtschaftslehre bis hin zur Chemie und der Bauwirtschaft gesagt werden, dass der Terminus Aggregation, mit seinen grammatikalischen Abwandlungen, als Synonym für einen Prozess verwendet wird, der einzelne Moleküle, Teile, Bereiche, Mengen und Prozesse in etwas Übergeordnetes zusammenfasst.

²⁰⁶ Vgl. GABLER: Volkswirtschafts-Lexikon. S. 8.

²⁰⁷ Vgl. FALK, M. et al.: Statistik in Theorie und Praxis - Mit Anwendungen in R. S. 12, 391, 401.

²⁰⁸ SAINT-MONT, U.: Statistik im Forschungsprozess - Eine Philosophie der Statistik als Baustein einer integrativen Wissenschaftstheorie. S. 593

²⁰⁹ HOFSTADLER, C.; KUMMER, M.: Systematischer Umgang mit Produktivitätsrisiken in der Auftragskalkulation. In: 12. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium - Risiken im Bauvertrag - baubetriebliche, bauwirtschaftliche und rechtliche Aspekte, 1. Auflage/2014. S. 69.

Entgegen dieser Interpretation wird im historischen Wörterbuch für Philosophie die Aggregation folgendermaßen erläutert:

Aggregation (von lat. *aggregare*, gesellen, häufen, aus *ad gregem agere*, zur Herde scharen) ist ein Ausdruck, der in verschiedenen Wissenschaften häufig in negativem Sinne von äußerlicher, *summenhafter* (im Gegensatz zu ganzheitlicher) Gruppierung verwendet wird. [...]²¹⁰

Diese Definition von Aggregation trifft aus Sicht des Verfassers mehr auf die Kumulation zu.

Das Zusammenfassen von einzelnen Teilbereichen im Prozess der Aggregation, welches nicht auf rein mathematischer Natur basiert, in etwas Übergeordnetes lässt Spielraum für die Beziehungen zwischen den einzelnen Prozessen. Ob durch dieses Zusammenfassen Informationen verloren gehen, verdichtet werden oder wie die Informationen nach der Aggregation dargestellt werden, ist vom Verfahren und der Darstellung abhängig. Wenn eine Information nach der Aggregation durch zum Beispiel eine Zahl ausgedrückt wird, bedeutet das nicht, dass die Informationen, die zu dieser Zahl geführt haben, nicht mehr vorhanden sind. Ob und in welcher Form die Information noch vorhanden ist, hängt von der Ausführung und Speicherung ab.

Tabelle 4-2 beschreibt, wie Tabelle 4-1 in Abschnitt 4.7.1.2, das Ergebnis der Literaturrecherche über die Verwendung des Begriffes der Aggregation.

²¹⁰ RITTER, J.; EISLER, R.: Historisches Wörterbuch der Philosophie. S. 102f.

■	Autor	Jahr	Fachbereich	Begriff	zur Beschr. des Prozesses der Anreicherung		beides möglich	additive Verwendung		zusammenfassende Verw.	
					Anreicherung	Summierung		ja	nein	ja	nein
■											
■	Büchtem. A.; Henn H.-W.	2005	Mathematik / Stochastik	Informationen aggregieren	X				X	X	
■	Hartung, J.; Elpelt, B.; Klönsner, K.-H.	2005	Mathematik / Stochastik	Risikoaggregation	X				X	X	
■	Saint-Mont, U.	2011	Mathematik / Statistik	Aggregation v. Informationen aggregierte Ebene Rohdaten aggregieren	X				X	X	
■	Falk, M. et al.	2014	Mathematik / Statistik	die Aggregation aggregierte Ergebnisse	X				X	X	
■	Hofstadler, C.; Kummer, M.	2014	Bauwesen / Bauablaufsteuerung	Aggregation v. Daten die Aggregation	X				X	X	

Tabelle 4-2: Überblick über das Ergebnis der Verwendung des Begriffes der Aggregation in der Literatur

4.7.2 Verwendung der Begriffe

Die Begriffe Kumulation und Aggregation bedeuten beide im übergeordneten Sinne „anhäufen“. Bei genauerer Betrachtung ist der Prozess der Anhäufung allerdings ein anderer. Die Kumulation entsteht infolge einer Aufsummierung im mathematischen Sinne. Die Aggregation hingegen beschreibt mehr den Prozess der Anhäufung in Kombination mit einer Beeinflussung und Reaktion der Faktoren untereinander. Eine Kumulation kann als reine Addition der einzelnen Teilsummen interpretiert werden. Bei der Aggregation ist der Prozess als Reaktion und Generierung von sich beeinflussenden Faktoren mit der Anreicherung als Produkt zu interpretieren.

Auch sagt eine Aggregation von Produktivitätsverlusten infolge von einer oder mehreren Einwirkungen nichts über die Wechselwirkung der Prozesse untereinander aus. Diese können gleichförmig und gleichmäßig oder ungleich sein. Demgegenüber steht das additive Verfahren der Kumulation. Dahingehend kann über das Kommutativgesetz der Addition eine gleichförmige Beziehung interpretiert werden, da das Kommutativgesetz der Addition eine solche voraussetzt. Dies kann allerdings für die baubetrieblichen Beziehungen der Tätigkeiten und Vorgänge untereinander nicht vorausgesetzt werden.

Sowohl bei Einwirkungen als auch bei Produktivitätsverlusten und der Generierung von Folgewirkungen ist eben dieser Sachverhalt zu unterscheiden. Beeinflussen sich die Einwirkungen oder die Produktivitätsverluste untereinander und generieren diese über eine Art Aufschaukelung eine andere Wirkung als ohne die Aufschaukelung, ist dies als Aggregation zu verstehen. Tritt keine Beeinflussung auf, können die einzelnen Einwirkungen oder die einzelnen Produktivitätsverluste aufsummiert werden.

Diesbezüglich wird der Begriff der Aggregation wie folgt definiert:

Die Aggregation beschreibt den Prozess einer individuellen Aufschaukelung von sich beeinflussenden Faktoren mit der Generation der Anhäufung als Produkt. Dabei entspricht die aggregierte Gesamtheit nicht der Summe der Eingangsfaktoren.

Der Begriff der Kumulation wird weiterhin als Summierung von Teilmengen verwendet. Diesbezüglich bestehen keine direkten Beziehungen der Faktoren untereinander und die Endsumme entspricht der Aufsummierung der einzelnen Teilsummen.

Die Kumulation beschreibt das schrittweise Aufsummieren von sich nicht beeinflussenden Faktoren. Dabei entspricht die kumulierte Summe der Summe der Eingangsfaktoren.

4.7.3 Das Prinzip der Kumulation von Produktivitätsverlusten

Produktivitätsverluste, die in sich abgeschlossen sind und mit keinen anderen Produktivitätsverlusten über Grenzgrößen oder andere Beziehungen in Verbindung stehen, sind als diskret zu betrachten. Dahingehend ist es möglich, die Auswirkung solcher diskreten Produktivitätsverluste als (Teil-)Summe zu bestimmen. Dadurch, dass sich die Produktivitätsverluste gegenseitig nicht beeinflussen, ist die Summe der einzelnen Produktivitätsverluste gleich der Summe der gesamten, kumulierten Produktivitätsverluste.

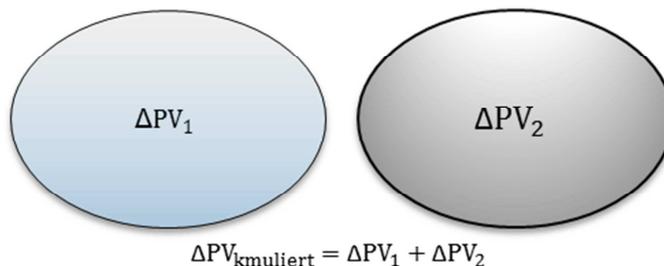


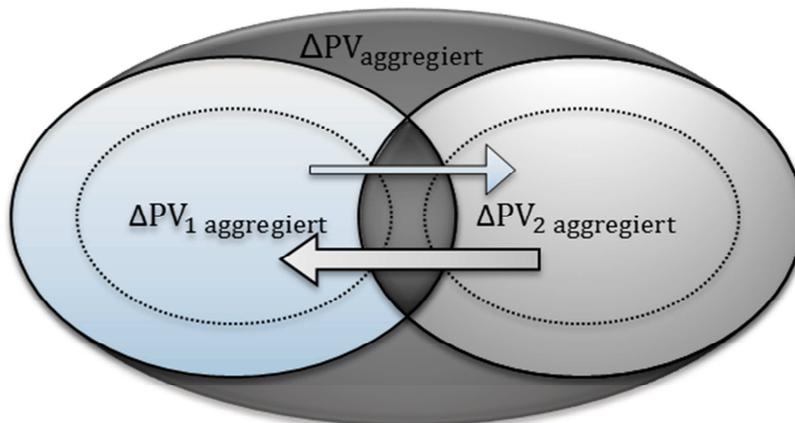
Abbildung 4-8: Prinzip der Kumulation

In Abbildung 4-8 sind zwei diskrete, in sich abgeschlossene Produktivitätsverluste ΔPV_1 und ΔPV_2 dargestellt. Da keine gegenseitige Beeinflussung der Produktivitätsverluste stattfindet, entspricht die kumulierte Summe $\Delta PV_{\text{kumuliert}}$ der Summe von ΔPV_1 und ΔPV_2 . Tritt keine weitere Beeinflussung infolge der verursachenden Soll-Ist-Abweichung ein, entspricht die Differenz der geplanten Produktivität und den kumulierten Produktivitätsverlusten $\Delta PV_{\text{kumuliert}}$ ($\Delta PV_1 + \Delta PV_2$) dem Mehraufwand an Ressourcen.

4.7.4 Das Prinzip der Aggregation von Produktivitätsverlusten

Die Definition der Aggregation in Abschnitt 4.7.2 beschreibt den Prozess der Anreicherung. Diesbezüglich ist die Anreicherung so zu interpretieren, dass sich die Produktivitätsverluste gegenseitig beeinflussen und sich dadurch verstärken. Folglich entsteht ein betragsmäßig größerer Produktivitätsverlust als die kumulierte Summe der Produktivitätsverluste.

Dieser Sachverhalt ist in Abbildung 4-9 dargestellt und beschreibt ausgehend von zwei sich beeinflussenden Produktivitätsverlusten das Prinzip der Aggregation. Die beiden strichliert eingezeichneten Produktivitätsverluste stellen die in Abbildung 4-8 beschriebenen Produktivitätsverluste ΔPV_1 und ΔPV_2 vor der gegenseitigen Beeinflussung dar. Über die Beeinflussung, welche als eine Art Reaktion gedeutet werden kann, steigen die Produktivitätsverluste an.



$$\Delta PV_{\text{aggregiert}} = (\Delta PV_1 \cdot \varphi_{11} + \Delta PV_1 \cdot \varphi_{12} + \Delta PV_2 \cdot \varphi_{21} + \Delta PV_2 \cdot \varphi_{22}) \cdot \varphi_{\text{ges}}$$

Abbildung 4-9: Prinzip der Aggregation

Diese gegenseitige Beeinflussung wird über die Pfeile in der Abbildung 4-9 angedeutet. Da die gegenseitige Beeinflussung nicht als linear betrachtet werden kann, respektive ein Produktivitätsverlust nicht dieselbe Wirkung auf den anderen hat und umgekehrt, sind die Pfeile unterschiedlich in ihrer Größe.

Die Beeinflussung bzw. die Reaktion unter den Produktivitätsverlusten kann beispielsweise die Folge einer Ressourcenanpassung sein. Angenommen, aufgrund einer Aufwandswerterhöhung wird eine Forcierung erforderlich: Diese erfolgt über eine Erhöhung der Anzahl der Arbeitskräfte und durch eine Erhöhung der täglichen Arbeitszeit von acht auf zehn Stunden am Tag. Ausgehend davon, dass der Mindestarbeitsraum bereits unterschritten war, wirken sich die zusätzlichen Arbeitskräfte, relativ gesehen, intensiver aus als bei einer, auf die Mindestfläche bezogen, optimalen Produktivität. Bei Erhöhung der täglichen Arbeitszeit (von acht auf zehn Stunden) erbringen die Arbeitskräfte in den beiden letzten Stunden eine geringere Arbeitsleistung als in den Stunden davor (vorausgesetzt wird eine körperlich anstrengende Arbeit). Diese beiden Arten der Grenzgrößenüberschreitung sind in Abschnitt 4.2.4 sowie in Abschnitt 4.2.9 beschrieben.

Werden die beiden Produktivitätsverluste getrennt voneinander betrachtet, ergibt sich ein Produktivitätsverlust infolge des Mindestarbeitsraumes und infolge von Überstunden. Wird für dieses Beispiel davon ausgegangen, dass aufgrund der verringerten Produktivität in der neunten und zehnten Stunde eine weitere Arbeitskraft benötigt wird, reduziert sich wiederum die Produktivität infolge des Mindestarbeitsraumes. Umgekehrt sind die Überstunden eventuell deshalb erforderlich, weil infolge der verringerten Produktivität aufgrund des unterschrittenen Mindestarbeitsraumes eine Anpassung der täglichen Arbeitszeit erforderlich wird.

Das angeführte Beispiel soll demonstrativ die Beziehungen und die Beeinflussung der Produktivitätsverluste untereinander aufzeigen.

Es ist auch möglich, dass die Beeinflussung der Produktivitätsverluste einseitig ist und ein Produktivitätsverlust den anderen beeinflusst, allerdings nicht umgekehrt. Ein Beispiel dafür ist die Reduktion der Produktivität aufgrund eines nicht kontinuierlichen Arbeitsflusses und einer Grenzgrößenüberschreitung wie Mindestarbeitsraum, Temperatur, optimale Kolonnenbesetzung etc. Der Produktivitätsverlust infolge des nicht kontinuierlichen Arbeitsflusses kann wiederum den Produktivitätsverlust infolge des Mindestarbeitsraumes beeinflussen, jedoch beeinflusst der Mindestarbeitsraum nicht den nicht kontinuierlichen Arbeitsfluss.

Die resultierende Steigerung der Produktivitätsverluste aufgrund der Reaktion mit- und untereinander, wird über die Flächen $\Delta PV_{1 \text{ aggregiert}}$ und $\Delta PV_{2 \text{ aggregiert}}$ dargestellt. Diese sind über die durchgezogenen Linien begrenzt und überschneiden sich. Diese Überschneidung stellt den Bereich der gemeinsamen Beziehung bzw. die gemeinsame „Basis“ dar. Dieser gemeinsame Bereich der Produktivitätsverluste entsteht aufgrund der gemeinsamen Abhängigkeiten. Über den Bereich dieser Basis reagieren die Produktivitätsverluste miteinander. Dieser Bereich der Überschneidung kann, je nach Produktivitätsverlust, vorherrschender Störunganfälligkeit und Störungsintensität kleiner oder größer ausfallen. Der Bereich der Überschneidung ist in Abbildung 4-9 als dunkelgraue Fläche zwischen den beiden sich schneidenden Ellipsen dargestellt.

Da die Wechselbeziehung der miteinander reagierenden Produktivitätsverluste auch auf mehreren Ebenen ablaufen kann, ist diese schwer einzuschätzen. Außerdem ist eine Abschätzung der Intensität der Auswirkung im Vorhinein aufgrund der komplexen Charakteristik der Grenzgrößen in Kombination mit der gegenseitigen Wechselbeziehung schwer zu kalkulieren.

Aus den Gründen der schwer einschätzbaren Reaktionen und Wechselbeziehungen der Produktivitätsverluste untereinander ist der umschließende Bereich mit $\Delta PV_{\text{aggregiert}}$ nicht gleich der Summe aus $\Delta PV_{1 \text{ aggregiert}}$ und $\Delta PV_{2 \text{ aggregiert}}$.

Um dieses Verhalten der Aggregation von Produktivitätsverlusten, welche bezogen auf ihre Auswirkungen kein diskretes Verhalten aufweisen, zu beschreiben, ist die folgende Formel entwickelt worden:

$$\Delta PV_{\text{aggregiert}} = \left(\mathbf{1}_n^T \cdot \left(\begin{bmatrix} \Delta PV_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \Delta PV_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \Delta PV_n \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \varphi_{11} & \varphi_{12} & \dots & \varphi_{1n} \\ \varphi_{21} & \varphi_{22} & \dots & \varphi_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \varphi_{n1} & \varphi_{n2} & \dots & \varphi_{nn} \end{bmatrix} \right) \cdot \mathbf{1}_n \right) \cdot \varphi_{\text{ges}} \quad (\text{Gl. 4-2})$$

Aus dieser Definition für das Verhalten von zwei Produktivitätsverlusten lässt sich die in Abbildung 4-9 dargestellte Gleichung ableiten.

$$\Delta PV_{\text{aggregiert}} = (\Delta PV_1 \cdot \varphi_{11} + \Delta PV_1 \cdot \varphi_{12} + \Delta PV_2 \cdot \varphi_{21} + \Delta PV_2 \cdot \varphi_{21}) \cdot \varphi_{\text{ges}}$$

Dabei beschreiben die Parameter ΔPV_1 bis ΔPV_n die entstandenen Produktivitätsverluste. Die aggregierte Gesamtheit der einzelnen Produktivitätsverluste $\Delta PV_{i, \text{aggregiert}}$ entspricht dabei:

$$\Delta PV_{i, \text{aggregiert}} = \sum_{j=1}^n \Delta PV_i \cdot \varphi_{ij} \quad (\text{Gl. 4-3})$$

Die aggregierte Gesamtheit der Produktivitätsverluste lässt sich in einer anderen Schreibweise durch die folgende Gleichung darstellen:

$$\Delta PV_{\text{aggregiert}} = \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \Delta PV_i \cdot \varphi_{ij} \right) \cdot \varphi_{\text{ges}} \quad (\text{Gl. 4-4})$$

Diese Definition ist eine Möglichkeit zur Beschreibung des Verhaltens der Aggregation von Produktivitätsverlusten im Bauwesen. Die Schwierigkeit dieser Definition liegt in der Ermittlung der Parameter. Für die Ermittlung der Produktivitätsverluste ΔPV_i , wie sie auch bei der Kumulation zur Anwendung kommen, wird auf die entsprechende Literatur verwiesen.²¹¹

Die Faktoren φ_{ij} beschreiben den Grad der Beeinflussung des Produktivitätsverlustes i durch den Produktivitätsverlust j . Weiters ist die Bedingung $\varphi_{ij} \neq \varphi_{ji}$ zu berücksichtigen. Diese Bedingung ist über die nicht lineare Beziehung gegeben. Falls $\varphi_{ij} = \varphi_{ji}$, stellt dieser Fall eine Ausnahme dar, in welchem aufgrund der Rahmenbedingungen dieselben Werte auftreten. Jedoch ist dies nicht auf eine lineare Beziehung zurückzuführen. Den Faktoren φ_{ij} für $i=j$ kommt eine etwas andere Bedeutung zu als für $i \neq j$. Diese Faktoren mit $i=j$ stellen die Beeinflussung der Produktivitätsverluste durch sich selbst dar.

Der Faktor φ_{ges} ist ebenfalls ein Faktor zur Berücksichtigung der Aggregation. Dieser Faktor dient der Beschreibung der gesamtheitlichen Aggregation der Produktivitätsverluste in Abhängigkeit der Abschätzbarkeit der einzelnen Beziehungen bezogen auf die gegenseitige Reaktion und der Eintrittswahrscheinlichkeit.

Tritt beispielsweise eine Vielzahl von sich gegenseitig beeinflussenden Produktivitätsverlusten auf, steigen die möglichen Kombinationen der Beeinflussbarkeit potentiell an. Diesbezüglich wird auch die Einschätzung der Beziehungen schwieriger. Es stellt sich die Frage, welche Beziehung welchen Einfluss hat und umgekehrt. Daher wurde der Faktor φ_{ges} eingeführt, um als Maß für diese Ein- bzw. Abschätzbarkeit zu dienen.

Diesbezüglich ist auch der Zeitpunkt der Ermittlung zu erwähnen. Wird die Auswirkung des gesamten Ausmaßes einer Einwirkung im Vorhinein,

²¹¹ HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste.

respektive ex ante oder während der Ausführung, inter actio ermittelt, ist die genaue Beeinflussbarkeit schwer abzuschätzen. Dies ist wiederum auf den Charakter der instationären Ausführung auf der Baustelle zurückzuführen. Wie, wo, wann und in welchem Umfang gehandelt wird, ist im Vorhinein oft schwer abzuschätzen. Das bedeutet, je unklarer die Beziehungen gedeutet werden können, desto größer wird der Faktor φ_{ges} ausfallen.

Wird eine ex post Ermittlung durchgeführt, sind die Feststellbarkeit und die Zurechenbarkeit stark von der Dokumentation abhängig. Dies kann wiederum mit dem Korrekturfaktor φ_{ges} berücksichtigt werden. Ist eine lückenlose Dokumentation sowie eine geringe Anzahl an sich beeinflussenden Produktivitätsverlusten vorhanden und können die Beeinflussungen untereinander auch zugeordnet werden, findet eine Annäherung von

$$\varphi_{ges} = \lim_{n \rightarrow \infty} (1)^{\frac{1}{n}} \quad (\text{Gl. 4-5})$$

statt. Respektive nähert sich φ_{ges} Eins an.

Somit ist der Faktor φ_{ges} von der Abschätzbarkeit und Einschätzung der Beziehungen untereinander abhängig. Dahingehend ist dieser Faktor von der Anzahl der Produktivitätsverluste, der Störungsanfälligkeit und der Störungsintensität in der ex ante Betrachtung und der Dokumentation und der Zurechenbarkeit in der ex post Betrachtung abhängig. Im Allgemeinen bedeutet das, dass φ_{ges} in einer ex ante Betrachtung größer ausfallen wird als in einer ex post Betrachtung mit hinreichend genauer Dokumentation.

Auf das Beispiel des Mindestarbeitsraumes und der täglichen Arbeitszeit bezogen ergibt sich die resultierende aggregierte Gesamtheit $\Delta PV_{\text{aggregiert}}$ wie folgt: ΔPV_1 ist der Produktivitätsverlust infolge des Mindestarbeitsraumes und ΔPV_2 die Reduktion der Produktivität infolge der Überstunden. Der Faktor φ_{12} beschreibt die Beeinflussung des Produktivitätsverlustes Mindestarbeitsraum durch den der Überstunden und φ_{21} die Beeinflussung der Überstunden durch den des Mindestarbeitsraumes. φ_{11} und φ_{22} beschreiben den Einfluss des Produktivitätsverlustes auf sich selbst. Reduziert sich die Produktivität aufgrund der Anpassung des eigenen Produktivitätsverlustes selbst, ist dies in φ_{ij} für $i=j$ zu berücksichtigen. Um beim Beispiel des Mindestarbeitsraumes zu bleiben, kann infolge einer Ressourcenanpassung von beispielsweise sechs auf acht Arbeitskräfte die Produktivität aufgrund des verringerten Platzverhältnisses so groß sein, dass eine zusätzliche Arbeitskraft nötig wird, um die geforderte Leistung zu erbringen. Die neunte Arbeitskraft verringert den Arbeitsraum, was wiederum eine Reduktion bedeutet und als produktivitätsinterne Beeinflussung interpretiert werden kann.

Im folgenden Abschnitt wird anhand eines Anwendungsbeispiels gezeigt, wie die beschriebene Aggregation schrittweise bestimmt werden kann und wie sich $\Delta PV_{\text{aggregiert}}$ über die Parameter φ_{ij} bestimmen lässt.

4.8 Anwendungsbeispiel

Das folgende Beispiel wurde im Zuge eines Beitrags²¹² von *Kummer* ausgearbeitet, um den Unterschied zwischen additivem und aggregativem Verhalten zu verdeutlichen.

Die additive Methode kann als erster Schritt einer iterativen Berechnung interpretiert werden. Die Produktivitätsverluste werden mit den vorherrschenden Bedingungen ermittelt, aber keine weitere Interaktion berücksichtigt. Die Ermittlung der additiven Produktivitätsverluste erfolgt wie jene der kumulativen Produktivitätsverluste, allerdings mit dem Unterschied, dass keine Untersuchung bezüglich einer gegenseitigen Beeinflussung und eventuellen Aufschaukelung erfolgt. Ist eine gegenseitige Beeinflussung vorhanden, werden die tatsächlich auftretenden Produktivitätsverluste mit der additiven Berechnungsmethode unterschätzt.

Das Anwendungsbeispiel bezieht sich auf ein Hochbauprojekt, bei welchem die Fertigungszeit für die Stahlbetonarbeiten einer sehr kurzen Bauzeit entspricht. Es wird angenommen, dass ausschließlich die Anzahl der Arbeitskräfte erhöht wird, um die erforderliche tägliche Leistung zu erbringen. Des Weiteren kann aufgrund der beengten Platzverhältnisse die Anzahl der Krane nicht weiter erhöht werden. Dahingehend werden die Auswirkungen der Forcierungsmaßnahme aufgrund der verkürzten Bauzeit sowie der zu geringen Anzahl der Krane auf den Gesamtaufwandswert der Stahlbetonarbeiten AW_{STB} [Std/m³] untersucht. In weiterer Folge werden über die Mittellohnkosten und die anfallenden Lohnstunden die gesamt anfallenden Lohnkosten ermittelt.

Infolge der erhöhten Anzahl an Arbeitskräften werden im Weiteren die Grenzgrößenüber- bzw. -unterschreitung und die daraus resultierenden Produktivitätsverluste der Arbeitskräfte pro Kran sowie des Mindestarbeitsraumes betrachtet. Um die Übersichtlichkeit des Beispiels zu erhalten, wird davon ausgegangen, dass ausschließlich diese beiden Grenzgrößen über- bzw. -unterschritten werden.

4.8.1 Arbeitskräfte pro Kran

Der erhöhte Aufwandswert in [%] infolge der verringerten Krankapazität ist in folgendem Kurvenverlauf in Abbildung 4-10 dargestellt. Dabei ermittelt sich die Kran-Kapazitätsreduktion KK_{RED} [%] aus der im betrachteten Projekt vorhandenen Anzahl an Kranen $ANZ_{K,VOR}$ [-] und die für das betrachtete Projekt optimale Anzahl an Kranen $ANZ_{K,OPT}$ [-] über folgende Gleichung:²¹³

²¹² KUMMER, M.: Arbeitsblatt: Aggregierte Berücksichtigung von Produktivitätsverlusten. S. 6ff.

²¹³ HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 265, 343, 501.

$$KK_{RED} = \left(1 - \frac{ANZ_{K,VOR}}{ANZ_{K,OPT}}\right) \cdot 100\% \quad (\text{Gl. 4-7})$$

Der Kurvenverlauf in Abbildung 4-10 wird über folgende Gleichung beschrieben:²¹⁴

$$\Delta AW_{ERH} = -0,000093 \cdot KK_{RED}^3 + 0,013934 \cdot KK_{RED}^2 + 0,410561 \cdot KK_{RED} \quad (\text{Gl. 4-6})$$

Mit Hilfe des im Zuge einer Expertenbefragung²¹⁵ ermittelten Kurvenverlaufes und der Gleichung, welche diesen Verlauf beschreibt, kann der prozentuale Anstieg des Aufwandswertes ΔAW_{ERH} ermittelt werden. Dieser stellt den Anstieg infolge der singulären Betrachtung der Grenzgrößenüberschreitung infolge der Anzahl der Arbeitskräfte pro Kran dar.

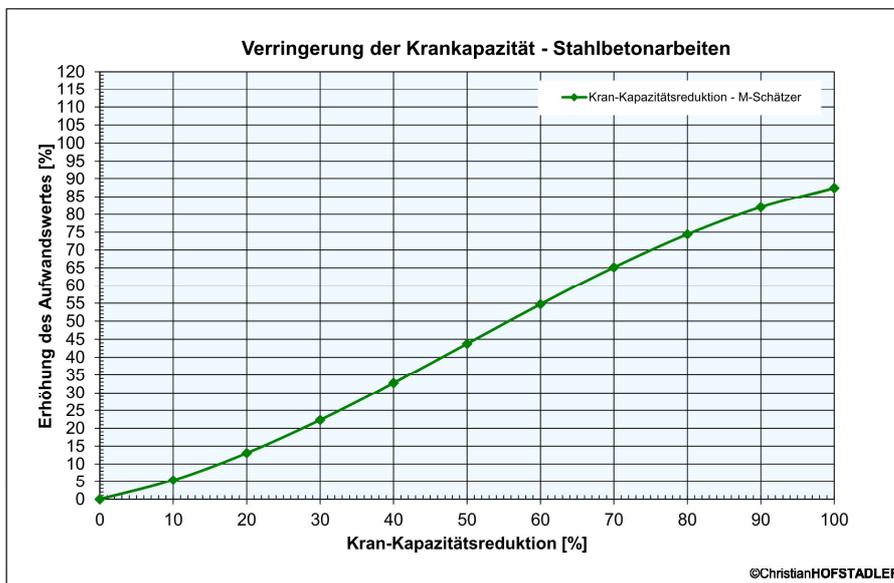


Abbildung 4-10: Verlauf der Aufwandswerverhöhung – Verringerte Krankapazität – Stahlbetonarbeiten²¹⁶

4.8.2 Mindestarbeitsraum

Die Aufwandswerverhöhung infolge der Reduktion des Mindestarbeitsraumes ist in Abbildung 4-11 dargestellt. Der Verlauf dieser Kurve ist wiederum das Ergebnis einer Expertenbefragung, welche in *Hofstadler*²¹⁷ detailliert beschrieben ist.

²¹⁴ HOFSTADLER, C.; KUMMER, M.: Systematischer Umgang mit Produktivitätsrisiken in der Auftragskalkulation. In: 12. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium - Risiken im Bauvertrag - baubetriebliche, bauwirtschaftliche und rechtliche Aspekte, 1. Auflage/2014. S. 73.

²¹⁵ HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 93ff.

²¹⁶ HOFSTADLER, C.; KUMMER, M.: Systematischer Umgang mit Produktivitätsrisiken in der Auftragskalkulation. In: 12. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium - Risiken im Bauvertrag - baubetriebliche, bauwirtschaftliche und rechtliche Aspekte, 1. Auflage/2014. S. 73. In Anlehnung an HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste.

²¹⁷ HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. 93ff.

Die Reduktion der Arbeitsfläche AE_{RED} in [%] ergibt sich wiederum aus der im betrachteten Projekt vorhandenen Arbeitsfläche AF_{VOR} [m^2] und der für dieses Projekt ermittelten Mindestarbeitsfläche AF_{MIN} [m^2] (siehe Gleichung (Gl. 4-8))²¹⁸.

$$AF_{RED} = \left(1 - \frac{AF_{VOR}}{AF_{OPT}}\right) \cdot 100\% \quad (\text{Gl. 4-8})$$

Der Verlauf der Kurve in Abbildung 4-11 wird über die folgende Gleichung (Gl. 4-9) beschrieben:

$$\Delta AW_{ERH} = -0,000018 \cdot AF_{RED}^3 + 0,00661 \cdot AF_{RED}^2 + 0,30707 \cdot AF_{RED} \quad (\text{Gl. 4-9})$$

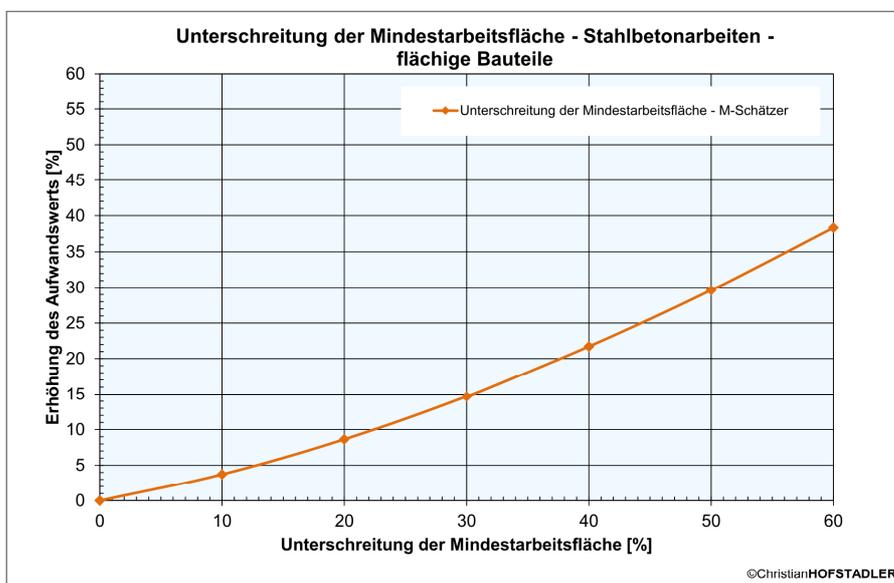


Abbildung 4-11: Verlauf der Aufwandswerterhöhungen – Unterschreitung der Mindestarbeitsfläche – Stahlbetonarbeiten – flächige Bauteile²¹⁹

4.8.3 Deterministische Ermittlung der aggregierten Produktivitätsverluste

Die Berechnung der Aggregation wird in mehreren Schritten durchgeführt, welche in den folgenden Tabellen dargestellt sind. Dabei bleiben die Grunddaten (Zeile 1-10 und Zeile 14-17) abgesehen vom aggregierten Aufwandswert (D8 und H8) unverändert. Die Anzahl der erforderlichen Arbeitskräfte (Mittelwert, Zeile 11) ergibt sich aus dem Produkt der erforderlichen Leistung bei normaler Bauzeit und dem Aufwandswert der Stahlbetonarbeiten, dividiert durch die tägliche Arbeitszeit. Um die An-

²¹⁸ HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 249, 320, 373,423.

²¹⁹ HOFSTADLER, C.; KUMMER, M.: Systematischer Umgang mit Produktivitätsrisiken in der Auftragskalkulation. In: 12. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium - Risiken im Bauvertrag - baubetriebliche, bauwirtschaftliche und rechtliche Aspekte, 1. Auflage/2014. S. 74. In Anlehnung an HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste.

lauf-, Hauptbau- und Auslaufphase eines Projektes zu berücksichtigen, wird ein Trapezmodell mit einem Arbeitskräftefaktor von 0,8 (Zeile 12) angenommen. Daraus resultiert die maximale Anzahl an AK (Zeile 13). Des Weiteren sind die Mittellohnkosten (Zeile 14), die vorhandene Arbeitsfläche (Zeile 15) sowie die vorhandene Anzahl an Kranen (Zeile 17) als unveränderliche Parameter zu betrachten. Die tägliche bzw. erforderliche Leistung (Zeile 6 und Zeile 16) ergibt sich über die 25 %ige Bauzeitverkürzung.

Gegenstand	Lfd. Nr.	Eingangsgröße	Einheit	25 %ige Bauzeitverkürzung - Krankapazitätsreduktion	
				Addition	Aggregation
	0	A	B	C	D
Grunddaten	1	Bauzeitverkürzung	[%]	25,00	25,00
	2	Normale Bauzeit	[d]	400,00	400,00
	3	Verkürzte Bauzeit	[d]	300,00	300,00
	4	BT_M	[m ²]	38.275,00	38.275,00
	5	Erforderliche Leistung - Normale Bauzeit	[m ² /d]	95,69	95,69
	6	Erforderliche Leistung	[m ² /d]	127,58	127,58
	7	Tägliche Arbeitszeit	[h/d]	8,00	8,00
	8	AW	[Std/m ²]	6,00	8,36
	9	Kranproportionalitätsfaktor	[AK/Kran]	18,00	18,00
	10	Normale Anzahl an AK	[AK]	71,77	71,77
	11	Anzahl AK erforderlich - MW	[AK]	95,69	133,29
	12	Arbeitskräftefaktor - Trapezmodell	[-]	0,80	0,80
	13	Maximale Anzahl an Arbeitskräften	[AK]	119,61	166,62
Krankapazität	14	Mittellohnkosten	[€/Std]	34,00	34,00
	15	Vorhandene Arbeitsfläche	[m ²]	3.500,00	3.500,00
	16	Tägliche Leistung	[m ² /d]	127,58	127,58
	17	$ANZ_{K,VOR}$	[Krane]	5,00	5,00
	18	$ANZ_{K,OPT}$	[Krane]	6,64	9,26
	19	KK_{RED}	[%]	24,76	45,98
	20	$AW_{ERH,KK}$	[%]	17,29	39,30
	21	$\Delta AW_{ERH,KK}$	[Std/m ²]	1,04	2,36
Mindestarbeitsfläche	22	AF_{VOR}	[m ²]		
	23	AF_{MIN}	[m ²]		
	24	AF_{RED}	[%]		
	25	$AW_{AF,ERH,MS}$	[%]		
	26	$\Delta AW_{AF,ERH}$	[Std/m ²]		
Neue Werte	27	AW_{ERH}	[%]	17,29	39,30
	28	AW_{ERH}	[Std/m ²]	1,04	2,36
	29	Neuer AW	[Std/m ²]	7,04	8,36
Lohn	30	Lohnstundensumme	[Std]	269.360,09	319.901,46
	31	Lohnkosten	[€]	9.158.243,05	10.876.649,77

Tabelle 4-3: Erster und zweiter Berechnungsschritt zur Ermittlung der aggregierten Produktivitätsverluste unter Berücksichtigung von KK_{RED} ²²⁰

Im Folgenden werden die einzelnen Schritte bei der Berechnung des aggregierten Gesamtproduktivitätsverlustes $\Delta PV_{aggregiert}$ bzw. des aggregierten Gesamt-Aufwandswertes $\Delta AW_{ERH,aggregiert}$ beschrieben. Der Gesamt-Produktivitätsverlust $\Delta PV_{aggregiert}$ in [%] berechnet sich aus dem Reziprokwert der Gegenüberstellung (Ist – Soll) des erhöhten Aufwandswertes AW_{ERH} .

²²⁰ Vgl. KUMMER, M.: Arbeitsblatt: Aggregierte Berücksichtigung von Produktivitätsverlusten. S. 11.

$$\Delta PV_{\text{aggregiert}} = \frac{\frac{1}{AW_{\text{SOLL}}} - \frac{1}{AW_{\text{ERH,IST}}}}{\frac{1}{AW_{\text{SOLL}}}} \cdot 100\% \quad (\text{Gl. 4-10})$$

Um die Übersichtlichkeit der Berechnung zu erhalten, wird die Berechnung des aggregierten Gesamt-Aufwandswertes in sieben Teilschritte gegliedert, diese Schritte werden detailliert erläutert und die unterschiedlichen Ergebnisse diskutiert. Diese einzelnen Schritte wurden zu Folge der auftretenden Produktivitätsverluste: verringerte Krankkapazität (Schritt eins und zwei), Mindestarbeitsraum (Schritt drei und vier) und der Kombination der beiden Produktivitätsverluste (Schritt fünf und sechs) gegliedert.

Diesbezüglich beschreiben Schritt *eins* und *zwei* die Ermittlung der eigenen Beeinflussung des Produktivitätsverlustes Arbeitskraft pro Kran und die Schritte *drei* und *vier* die Ermittlung der eigenen Beeinflussung des Produktivitätsverlustes Mindestarbeitsraum.

Für den *fünften* und *sechsten* Schritt werden die Ermittlungen für beide Produktivitätsverluste gleichzeitig durchgeführt.

Im *siebten* Schritt werden die Ergebnisse aus den Schritten 1-6 zur Ermittlung des Gesamtproduktivitätsverlustes $\Delta PV_{\text{aggregiert}}$ über die Gleichung (Gl. 4-2) verwendet.

Schritt eins:

Im *ersten* Schritt der Berechnung (Tabelle 4-3 – Spalte C) wird – um die infolge der verringerten Bauzeit erhöhte tägliche Leistung (Zelle C6) erbringen zu können – die erforderliche Anzahl an Arbeitskräften von 72 (Zelle C10) auf 96 (Zelle C11) erhöht. Unter Berücksichtigung der Anlauf-, Hauptbau- und Auslaufphase (Trapezmodell) ergibt sich eine maximale Anzahl an Arbeitskräften von 120 (Zelle C13).

Über die maximale Anzahl an Arbeitskräften wird die für dieses Projekt optimale Anzahl an Kranen ermittelt. Dahingehend werden die 120 Arbeitskräfte durch den Kranproportionalitätsfaktor (Zelle C9) dividiert, was eine optimale Anzahl an Kranen $ANZ_{K,OPT}$ von 6,64 (Zelle C18) ergibt.

Mit Hilfe der in Abschnitt 4.8.1 erläuterten Gleichung (Gl. 4-7) wird die reduzierte Krankkapazität ermittelt (Zelle C19). Im Folgenden wird der Wert der reduzierten Krankkapazität KK_{RED} in die Gleichung (Gl. 4-6) eingesetzt und der erhöhte Aufwandswert infolge der Grenzgrößenüberschreitung (Arbeitskräfte pro Kran) in Prozent (Zelle C20) sowie in [Std/m³] (Zelle C21) ermittelt.

Da im ersten Schritt keine Interaktion zwischen den Produktivitätsverlusten berücksichtigt wird, ist die additive Ermittlung abgeschlossen und die Ergebnisse der erhöhten Aufwandswerte in Prozent (Zelle C27) und in [Std/m³] (Zelle C28) sowie der neue Gesamtaufwandswert der Stahlbetonarbeiten in [Std/m³] (Zelle C29) dargestellt.

Die Lohnkosten (Zelle C31) sind über das Produkt der Summe der Lohnstunden (Zelle C30) und der Mittellohnenkosten (Zelle C14) berechnet worden.

Schritt zwei:

Der *zweite* Schritt (Tabelle 4-3 – Spalte D) stellt die Ermittlung der Aufschaukelung infolge der eigenen Beeinflussung des Produktivitätsverlustes (Arbeitskräfte pro Kran) dar.

Dies entspricht dem Produkt aus ΔPV_i und φ_{ij} für $i = j = 1$ der Gleichung (Gl. 4-2).

Durch die im ersten Schritt ermittelte Aufwandswerterhöhung auf 7,04 Std/m³ ist – um die erforderliche Leistung (Zelle D6) erbringen zu können – eine weitere Erhöhung der Anzahl der Arbeitskräfte erforderlich.

Die Berechnung der Produktivitätsverluste erfolgt ident wie im ersten Schritt. Durch die Aufwandswerterhöhung ergibt sich eine neue erforderliche Anzahl an Arbeitskräften, welche wiederum eine Erhöhung der optimalen Anzahl an Kranen (Zelle D18) zur Folge hat. Diese Erhöhung wirkt sich über KK_{RED} (Zelle D19) auf die Aufwandswerterhöhung $AW_{ERH,KK}$ (Zelle D20 und D21) aus.

Über die eigene Beeinflussung des Produktivitätsverlustes wird eine Aufschaukelung erzeugt. Diese Berechnung der Aufschaukelung erfolgt über einen iterativen Rechenvorgang. Dieser Rechenvorgang wird so lange iterativ durchgeführt, bis eine Anpassung der Anzahl an Arbeitskräften keine Änderung des Aufwandswertes mehr zur Folge hat.

Die Werte in Tabelle 4-3 – Spalte D entsprechen dabei dem Ergebnis der iterativen Berechnung. Die einzelnen Schritte sind nicht dargestellt. Es ergibt sich die optimale Anzahl an Kranen zu 9,26 (Zelle D18), eine maximale Anzahl an Arbeitskräften von 167 (Zelle D13) und eine Aufwandswerterhöhung von 39,30 % (Zelle D27) bzw. von 2,36 Std/m³ (Zelle D28).

Der Gesamtaufwandswert der Stahlbetonarbeiten erhöht sich dadurch auf 8,36 Std/m³ (Zelle D29).

Schritt drei und vier:

Im *dritten* (Tabelle 4-4 – Spalte E) und *vierten* (Tabelle 4-4 – Spalte F) Schritt werden die Produktivitätsverluste infolge der Mindestarbeitsfläche ermittelt. Dabei bleiben die Eingangsparameter unverändert und auch das Prinzip der Berechnung (dritter Schritt – additiv, vierter Schritt aggregativ) bleibt ident zum ersten und zweiten Schritt.

Gegenstand	Lfd. Nr.	Eingangsgröße	Einheit	25 %ige Bauzeitverkürzung - Unterschreitung der Mindestarbeitsfläche	
				Addition	Aggregation
				E	F
	0	A	B		
Grunddaten	1	Bauzeitverkürzung	[%]	25,00	25,00
	2	Normale Bauzeit	[d]	400,00	400,00
	3	Verkürzte Bauzeit	[d]	300,00	300,00
	4	BT_M	[m ³ /d]	38.275,00	38.275,00
	5	Erforderliche Leistung - Normale Bauzeit	[m ³ /d]	95,69	95,69
	6	Erforderliche Leistung	[m ³ /d]	127,58	127,58
	7	Tägliche Arbeitszeit	[h/d]	8,00	8,00
	8	AW	[Std/m ²]	6,00	6,00
	9	Kranproportionalitätsfaktor	[AK/Kran]	18,00	18,00
	10	Normale Anzahl an AK	[AK]	71,77	71,77
	11	Anzahl AK erforderlich - MW	[AK]	95,69	95,69
	12	Arbeitskräftefaktor - Trapezmodell	[-]	0,80	0,80
Mindestarbeitsfläche	13	Maximale Anzahl an Arbeitskräften	[AK]	119,61	119,61
	14	Mittellohnkosten	[€/Std]	34,00	34,00
	15	Vorhandene Arbeitsfläche	[m ²]	3.500,00	3.500,00
	16	Tägliche Leistung	[m ³ /d]	127,58	127,58
	17	$ANZ_{K,VOR}$	[Krane]	5,00	5,00
Krankapazität	18	$ANZ_{K,OPT}$	[Krane]		
	19	KK_{RED}	[%]		
	20	$AW_{ERH,KK}$	[%]		
	21	$\Delta AW_{ERH,KK}$	[Std/m ²]		
Neue Werte	22	AF_{VOR}	[m ²]	36,58	36,58
	23	AF_{MIN}	[m ²]	30,00	30,00
	24	AF_{RED}	[%]	-21,92	-21,92
	25	$AW_{AF,ERH,MS}$	[%]	0,00	0,00
	26	$\Delta AW_{AF,ERH}$	[Std/m ²]	0,00	0,00
Lohn	27	AW_{ERH}	[%]	0,00	0,00
	28	AW_{ERH}	[Std/m ²]	0,00	0,00
	29	Neuer AW	[Std/m ²]	6,00	6,00
Lohn	30	Lohnstundensumme	[Std]	229.650,00	229.650,00
	31	Lohnkosten	[€]	7.808.100,00	7.808.100,00

Tabelle 4-4: Dritter und vierter Berechnungsschritt zur Ermittlung der aggregierten Produktivitätsverluste unter Berücksichtigung der Unterschreitung der AF_{MIN} ²²¹

Dabei entspricht die Ermittlung der aggregierten Aufwandswerterhöhung (Zelle F25) infolge der Unterschreitung des Mindestarbeitsraumes dem Produkt aus ΔPV_i mit ϕ_{ij} für $i = j = 2$ der Gleichung (Gl. 4-2).

Es wird von der im Durchschnitt benötigten Anzahl an Arbeitskräften (Zelle E11 und F11) ausgegangen. Weiters wird die Mindestarbeitsfläche AF_{MIN} für Stahlbetonarbeiten für dieses Anwendungsbeispiel mit 30 m² (Zelle E23 und F23) angenommen.

Diese wird im ersten Berechnungsschritt des Produktivitätsverlustes aufgrund des Mindestarbeitsraumes bzw. dem vierten Gesamtberechnungsschritt nicht unterschritten. Die vorhandene Fläche je Arbeitskraft (Zelle E22 und F22) ist größer als die Mindestarbeitsfläche.

Da keine Unterschreitung des Mindestarbeitsraumes vorliegt, treten auch keine Produktivitätsverluste aufgrund einer eigenen Beeinflussung auf.

²²¹Vgl. KUMMER, M.: Arbeitsblatt: Aggregierte Berücksichtigung von Produktivitätsverlusten. S. 11.

Somit ist die Ermittlung – auch für die Aggregation infolge der eigenen Beeinflussung – abgeschlossen.

Schritt fünf und sechs:

Beim *fünften* Schritt (Tabelle 4-5 – Spalte G) werden die Schritte zwei und vier kombiniert.

Gegenstand	Lfd. Nr.	Eingangsgröße	Einheit	25 %ige Bauzeitverkürzung - zwei Produktivitätsverluste	
				Addition	Aggregation
	0	A	B	G	H
Grunddaten	1	Bauzeitverkürzung	[%]	25,00	25,00
	2	Normale Bauzeit	[d]	400,00	400,00
	3	Verkürzte Bauzeit	[d]	300,00	300,00
	4	BT _M	[m ³]	38.275,00	38.275,00
	5	Erforderliche Leistung - Normale Bauzeit	[m ³ /d]	95,69	95,69
	6	Erforderliche Leistung	[m ³ /d]	127,58	127,58
	7	Tägliche Arbeitszeit	[h/d]	8,00	8,00
	8	AW	[Std/m ³]	6,00	9,26
	9	Kranproportionalitätsfaktor	[AK/Kran]	18,00	18,00
	10	Normale Anzahl an AK	[AK]	71,77	71,77
	11	Anzahl AK erforderlich - MW	[AK]	95,69	147,62
	12	Arbeitskräftefaktor - Trapezmodell	[-]	0,80	0,80
	13	Maximale Anzahl an Arbeitskräften	[AK]	119,61	184,53
	14	Mittellohnkosten	[€/Std]	34,00	34,00
	15	Vorhandene Arbeitsfläche	[m ²]	3.500,00	3.500,00
	16	Tägliche Leistung	[m ³ /d]	127,58	127,58
Krankkapazität	17	ANZ _{K,VOR}	[Krane]	5,00	5,00
	18	ANZ _{K,OPT}	[Krane]	6,64	10,25
	19	KK _{RED}	[%]	24,76	51,23
	20	AW _{ERH,KK}	[%]	17,29	45,09
	21	ΔAW _{ERH,KK}	[Std/m ³]	1,04	2,71
Mindestarbeitsfläche	22	AF _{VOR}	[m ²]	36,58	23,71
	23	AF _{MIN}	[m ²]	30,00	30,00
	24	AF _{RED}	[%]	-21,92	20,97
	25	AW _{AF,ERH,MS}	[%]	0,00	9,18
	26	ΔAW _{AF,ERH}	[Std/m ³]	0,00	0,55
Neue Werte	27	AW _{ERH}	[%]	17,29	54,27
	28	AW _{ERH}	[Std/m ³]	1,04	3,26
	29	Neuer AW	[Std/m ³]	7,04	9,26
Lohn	30	Lohnstundensumme	[Std]	269.360,09	354.290,95
	31	Lohnkosten	[€]	9.158.243,05	12.045.892,24

Tabelle 4-5: Fünfter und sechster Berechnungsschritt zur Ermittlung der aggregierten Produktivitätsverluste unter Berücksichtigung der gegenseitigen Beeinflussung²²²

Das bedeutet, dass wiederum ausgehend von der zu erbringenden Leistung von 127,58 m³/d (Zelle G6) sowie der Berücksichtigung der Anlauf-, Hauptbau- und Auslaufphase 120 Arbeitskräfte (Zelle G13) benötigt werden.

Wird analog zum zweiten Schritt die Reduktion der Produktivität bzw. die Erhöhung des Aufwandswertes infolge der verringerten Krankkapazität

²²² KUMMER, M.: Arbeitsblatt: Aggregierte Berücksichtigung von Produktivitätsverlusten. S. 11.

KK_{RED} (Zelle G19) berechnet, ergibt sich wieder eine prozentuale Erhöhung des Aufwandswertes $AW_{ERH, KK}$ um 17,29 % (Zelle G20).

Werden nun keine gegenseitigen Beeinflussungen berücksichtigt und die Produktivitätsverluste getrennt voneinander betrachtet, wird ident zu Schritt drei und vier die Mindestarbeitsfläche nicht unterschritten, weshalb keine weiteren Produktivitätsverluste auftreten.

Schritt fünf stellt das additive Verfahren dar. Diesbezüglich werden die auftretenden Produktivitätsverluste getrennt voneinander betrachtet, ohne weitere Untersuchung, ob sich die Produktivitätsverluste diskret verhalten oder nicht. Verhalten sich die Produktivitätsverluste in weiterer Folge diskret, liegt eine Kumulation dieser vor. Das bedeutet, das additive Verfahren entspricht dem kumulativen. Der Unterschied zwischen additiv und kumulativ liegt im Verhalten der Produktivitätsverluste. Beim additiven Verfahren ist das Verhalten unbekannt und beim kumulativen Verfahren ist das Verhalten diskret.

Treten allerdings – wie im vorliegenden Fall – gegenseitige Beeinflussungen und eine daraus resultierende Aufschaukelung auf, werden die Verluste mit dem rein additiven Verfahren unterschätzt.

Im *sechsten* Schritt wird die gegenseitige Beeinflussung der beiden Produktivitätsverluste (Arbeitskraft pro Kran und Mindestarbeitsraum) berücksichtigt.

Dahingehend wird auf das Ergebnis aus Schritt fünf aufgebaut, was bedeutet, dass für die Berechnung der erforderlichen Anzahl an Arbeitskräften der neue Aufwandswert aus Schritt fünf $7,04 \text{ Std/m}^3$ (Zelle G29) herangezogen wird. Dadurch ergibt sich wiederum eine erforderliche Anzahl an Arbeitskräften von 113 AK und eine maximale Anzahl an Arbeitskräften von 141 AK. Dieser Berechnungsschritt ist in Tabelle 4-5 nicht dargestellt. Die erforderliche Anzahl an Arbeitskräften (Mittelwert) berechnet sich aus dem Produkt der zu erbringenden Leistung (Zelle H6) mit dem neuen Aufwandswert (Zelle G29), dividiert durch das Produkt aus der täglichen Arbeitszeit (Zelle H7). Wird AK_{MW} durch den Arbeitskräftefaktor (Zelle H12) dividiert, ergibt sich die maximale Anzahl an erforderlichen Arbeitskräften (Zelle H13).

Mit dieser neuen Anzahl an Arbeitskräften wird die neue optimale Anzahl an Kranen $ANZ_{K, OPT}$ (Zelle H18) sowie die daraus resultierende Reduktion der Krankapazität KK_{RED} (Zelle H19) und die prozentuale ($AW_{ERH, KK}$ Zelle H20) und relative Erhöhung ($\Delta AW_{ERH, KK}$ – Zelle H21) des Aufwandswertes ermittelt. Außerdem wird der erhöhte Aufwandswert infolge der Unterschreitung in [%] des Mindestarbeitsraumes AF_{RED} (Gl. 4-8) ermittelt (Zelle H24). Dahingehend wird über die Anzahl an Arbeitskräften AK_{MW} (Zelle H11) und die daraus resultierende vorhandene Arbeitsfläche AF_{VOR} (Zelle H22) sowie die Mindestarbeitsfläche AF_{MIN} (Zelle H23) AF_{RED} bestimmt. Über AF_{RED} ergibt sich mit der Gleichung (Gl. 4-9) die Aufwandswerverhöhung (Zelle H25 und H26) aufgrund der

Unterschreitung des Mindestarbeitsraumes. Dabei werden beide Aufwandswerterhöhungen (infolge der verringerten Krankkapazität und infolge der Unterschreitung des Mindestarbeitsraumes) solange iterativ berechnet, bis keine weitere Aufwandswertänderung mehr erfolgt.

Das Ergebnis dieser iterativen Berechnung ist in Spalte H dargestellt. Im Zuge dieser Berechnung ist eine Unterschreitung des Mindestarbeitsraumes eingetreten, was wiederum eine Erhöhung des Aufwandswertes zur Folge hat. Dabei wird die Anzahl der Arbeitskräfte so lange angepasst, bis sich sowohl infolge der verringerten Krankkapazität als auch infolge der Unterschreitung der Mindestarbeitsfläche keine Aufwandswerterhöhung mehr ergibt bzw. die erforderliche Leistung durch eine Arbeitskraftanpassung erreicht wird.

Diese schrittweise iterative Berechnung ergibt eine Erhöhung des Aufwandswertes infolge der verringerten Krankkapazität von 45,09 % (Zelle H20) und infolge des unterschrittenen Mindestarbeitsraumes von 9,18 % (Zelle H25).

Gesamt beträgt die Aufwandswerterhöhung 54,27 % relativ und 9,26 Std/m³ absolut. Die Summe an Lohnstunden infolge der Aggregation von Produktivitätsverlusten beträgt 354.290,95 Std (Zelle H30). Über das Produkt aus Mittellohn (Zelle 14) und Lohnstundensumme ergeben sich die Lohnkosten für die Stahlbetonarbeiten infolge der Aggregation der Produktivitätsverluste (Arbeitskräfte pro Kran und Mindestarbeitsraum) zu 12.045.892,24 €.

Schritt sieben:

Die in Abschnitt 4.7.4 beschriebene Gleichung (Gl. 4-2) zur Ermittlung des aggregierten Produktivitätsverlustes wird im Folgenden auf jene für die Aufwandswerterhöhung erweitert.

$$\Delta AW_{\text{aggregiert}} = \left(1_n^T \cdot \begin{bmatrix} AW_{\text{ERH},1} \cdot \varphi_{11} & AW_{\text{ERH}} \cdot \varphi_{12} \\ AW_{\text{ERH}} \cdot \varphi_{21} & AW_{\text{ERH},2} \cdot \varphi_{22} \end{bmatrix} \cdot 1_n \right) \quad (\text{Gl. 4-11})$$

bzw.

$$\Delta AW_{\text{aggregiert}} = \left(1_n^T \cdot \begin{bmatrix} \Delta AW_{11} & \Delta AW_{12} \\ \Delta AW_{21} & \Delta AW_{22} \end{bmatrix} \cdot 1_n \right) \quad (\text{Gl. 4-12})$$

Dabei beschreibt $AW_{\text{ERH},1}$ (Zelle C20) die Aufwandswerterhöhung infolge der verringerten Krankkapazität, $AW_{\text{ERH},2}$ (Zelle E25) die Aufwandswerterhöhung infolge der Unterschreitung von AF_{MIN} und AW_{ERH} (Zelle G27) die Summe der einzelnen Aufwandswerterhöhungen ($AW_{\text{ERH},1} + AW_{\text{ERH},2}$). Die Beeinflussungskoeffizienten φ_{ij} beschreiben wiederum die Beeinflussung des Produktivitätsverlustes i durch Produktivitätsverlust j .

Auf das Beispiel angewendet ergibt das bezogen auf die erhöhten Aufwandswerte:

$$\Delta AW_{\text{aggregiert}} = \left(1_n^T \cdot \begin{bmatrix} 39,30 & 5,80 \\ 9,18 & 0 \end{bmatrix} \cdot 1_n \right) = 54,27 \% \quad (\text{Gl. 4-13})$$

Der erhöhte Aufwandswert ΔAW_{ij} für $i = j = 1$ (Produkt aus $AW_{ERH,1}$ und φ_{11})²²³ ergibt sich in Berechnungsschritt zwei zu 39,30 % (Zelle D20). Dieser beschreibt den erhöhten Aufwandswert $AW_{ERH,1}$ infolge der Beeinflussung φ_{11} des Produktivitätsverlustes Arbeitskräfte pro Kran, respektive durch die eigene Beeinflussung bzw. Aufschaukelung. Dabei ergibt sich φ_{11} zu 2,27 (dimensionslos)²²⁴. Ebenso stellt ΔAW_{22} die sich selbst beeinflussende Aufwandswerverhöhung infolge der Unterschreitung von AF_{MIN} dar. Dieser wird im vierten Schritt berechnet, da allerdings keine Unterschreitung des Mindestarbeitsraumes vorliegt, beträgt ΔAW_{22} Null und es ergibt sich auch keine selbst aufschaukelnde Beziehung.

Die beiden Aufwandswerverhöhungen ΔAW_{ij} infolge der gegenseitigen Beeinflussung ($i \neq j$) werden über eine Rückwärtsrechnung ermittelt. Dabei werden ΔAW_{11} bzw. ΔAW_{22} vom jeweiligen aggregierten erhöhten Aufwandswert $AW_{ERH,1,AGG}$ (Zelle H20) bzw. $\Delta AW_{ERH,2,AGG}$ (Zelle H25) subtrahiert. Dadurch ergibt sich ΔAW_{12} zu 5,80 % (= 45,09-39,30) und ΔAW_{21} zu 9,18 % (= 9,18-0). Diese beiden Aufwandswerverhöhungen ergeben sich infolge der Beeinflussung des Produktivitätsverlustes ΔPV_1 (AK pro Kran) sowie infolge der Beeinflussung des Produktivitätsverlustes ΔPV_2 (Unterschreitung des Mindestarbeitsraumes) und umgekehrt. Das bedeutet, dass die Aufschaukelung dieser beiden Produktivitätsverluste eine Aufwandswerverhöhung von 14,98 % ($\Delta AW_{12} + \Delta AW_{21}$) zur Folge hat. Die Beeinflussungskoeffizienten φ_{12} und φ_{21} berechnen sich dabei aus Gleichung (Gl. 4-14).

$$\varphi_{ij} (i \neq j) = \frac{AW_{ERH,i,AGG} - \Delta AW_{ii}}{AW_{ERH}} \quad (\text{Gl. 4-14})$$

Dabei beträgt der Beeinflussungskoeffizient φ_{12} bezogen auf die Summe der Aufwandswerverhöhungen AW_{ERH} (Zelle G27) 0,34 ($\varphi_{12}=(45,09-39,30)/17,29$) und der Beeinflussungsfaktor φ_{21} ebenfalls bezogen auf AW_{ERH} 0,53 ($\varphi_{21}=(9,18-0)/17,29$).

$$\Delta AW_{\text{aggregiert}} = \left(\mathbf{1}_n^T \cdot \begin{bmatrix} 17,29 \cdot 2,27 & 17,29 \cdot 0,34 \\ 17,29 \cdot 0,53 & 0 \end{bmatrix} \cdot \mathbf{1}_n \right) = 54,27 \% \quad (\text{Gl. 4-15})$$

Die aggregierte Summe der Aufwandswerverhöhung $\Delta AW_{\text{aggregiert}}$ beträgt somit 54,27 %, was einer Aufwandswerverhöhung von 3,26 Std/m³ entspricht und zu einem neuen Aufwandswert von 9,26 Std/m³ führt. Gegenüber der rein additiven Betrachtung, ohne jeglichen Anteil einer gegenseitigen Beeinflussung, entsteht diesbezüglich eine Unterschätzung des Gesamtaufwandswertes von 36,98 % (Zelle H27 - Zelle C27) bzw. von 2,22 Std/m³.

²²³ An dieser Stelle wird die bisherige Schreibweise des Anwendungsbeispiels auf jene der in der Literatur verwendeten Schreibweise angepasst. ΔAW_{ij} und $\Delta AW_{\text{aggregiert}}$ sind Prozentwerte.

²²⁴ $\varphi_{11} = \Delta AW / AW_{ERH,1} = 39,30 / 17,29$

Die Umrechnung der aggregierten Aufwandswerterhöhung in den aggregierten Produktivitätsverlust erfolgt über die Gleichung (Gl. 4-10). Die einzelnen Produktivitätsverluste ΔPV_{ij} können mit Hilfe von Gleichung (Gl. 4-16) aus den jeweiligen Aufwandswerterhöhungen ΔAW_{ij} umgerechnet werden.

$$\Delta PV_{ij} = \frac{\frac{\Delta AW_{ij}}{100}}{1 + \frac{\Delta AW_{ij}}{100}} \cdot 100\% \quad (\text{Gl. 4-16})$$

Dies ergibt, bezogen auf das Beispiel, folgende Lösung:

$$\Delta PV_{\text{aggregiert}} = \left(1_n^T \cdot \begin{bmatrix} 28,21 & 5,48 \\ 9,41 & 0 \end{bmatrix} \cdot 1_n \right) = 43,7\% \quad (\text{Gl. 4-17})$$

Das dargelegte Beispiel soll die Beziehung der Produktivitätsverluste untereinander verdeutlichen. Durch die Berechnung in sieben Schritten wurden die einzelnen und die gemeinsamen Auswirkungen bezogen auf die Aufwandswerterhöhung infolge zweier Produktivitätsverluste gezeigt.

Durch das Übertragen der Ergebnisse in die Matrix konnten die Einflüsse der Beziehungen ermittelt und in Form der Produktivitätsverluste resultierend aus dieser Beziehung dargestellt werden.

Im folgenden Abschnitt wird auf den letzten Punkt des vorgangsbezogenen Ablaufschemas – die indirekten Einwirkungen – eingegangen.

4.9 Die indirekte Einwirkung

Die Einwirkung einer Soll-Ist-Abweichung kann, wie in den Abschnitten zuvor erläutert, vielerlei Auswirkungen haben. Beschränken sich diese Auswirkungen auf die Tätigkeit, auf welche sie direkt einwirkt, ist die Auswirkung dieser Soll-Ist-Abweichung abgeschlossen. Dieses Verhalten kann als diskret bezeichnet werden.

Beschränkt sich die Einwirkung allerdings nicht auf den einzelnen Vorgang, sondern wird sie über Abhängigkeiten und Interaktionen an andere Tätigkeiten und Vorgänge weitergegeben, resultieren Folgewirkungen. Dabei stellt die Auswirkung der in erster Ebene stattfindenden Soll-Ist-Abweichung die Einwirkung für die in weiterer Folge beeinträchtigten Tätigkeiten dar. Diese Folgewirkung von nicht direkt betroffenen Tätigkeiten und Vorgängen wird als indirekte Einwirkung bezeichnet.

4.9.1 Einfluss der Störungsintensität und Störungsanfälligkeit

Die indirekten Einwirkungen sind maßgeblich von der Störungsintensität und die Störungsanfälligkeit abhängig. Bezogen auf die Auswirkung bzw. den Grad der Intensivierung der Einwirkung sind in weiterer Folge die Bauzeit, die Komplexität des Gebäudes, der Grad der Optimierung des

Bauablaufes und weitere Faktoren der Störungsanfälligkeit zu berücksichtigen. Diese Faktoren sind neben der Einwirkung wesentlich für die Reichweite der Störung verantwortlich.

Die Intensität der Einwirkung ist naturgemäß ebenfalls entscheidend für die Reichweite und die resultierenden Folgewirkungen. Dahingehend ist auch die Anzahl der Einwirkungen zu nennen. Eine hohe Anzahl an Einwirkungen erhöht die Wahrscheinlichkeit der Kumulation bzw. auch der Aggregation dieser Einwirkungen.

Entgegen der Störungsintensität kann die Störungsanfälligkeit das Ausmaß der Einwirkung dämpfen. Weist ein Projekt einen wenig störungsanfälligen Charakter auf, besteht die Möglichkeit, dass eine Störung frühzeitig abgebaut werden kann. Weist diese jedoch einen störungsanfälligen Charakter auf, kann sich dieselbe Störung über indirekte Folgewirkungen potenzieren.

4.9.2 Der Welleneffekt – the rippel effect

Die Ausbreitung einer Einwirkung kann auch als „*ripple effect*“, zu Deutsch Welleneffekt, bezeichnet werden. Diesbezüglich beschreibt Greune den *ripple effect* wie folgt:

*Hierbei handelt es sich nicht um einen eigenständigen Einflussfaktor, sondern beschreibt das häufig vorkommende Phänomen, dass sich verschiedene Faktoren wiederum gegenseitig beeinflussen und daher nicht trennscharf voneinander abzugrenzen sind. Diese gegenseitige Beeinflussung tritt zudem mit einer zeitlichen Verzögerung ein. Der Begriff leitet sich vom Begriff Welleneffekt oder Dominoeffekt ab und zielt inhaltlich auf die sich allmählich ausbreitende Wirkung eines die Produktivität beeinflussenden Faktors und dessen Nachwirkungen ab.*²²⁵

Greune beschreibt den Wellen- oder Dominoeffekt als ein Phänomen, welches infolge der – zeitlich verzögerten – Nachwirkungen der sich allmählich ausbreitenden Wirkung der gegenseitigen Beeinflussung der Faktoren entsteht. Weiters erläutert Greune, dass dieser Effekt kein eigenständiger Faktor ist. Dieser Interpretation des Welleneffektes wird weitestgehend zugestimmt. Angefügt wird, dass die zeitliche Verzögerung wiederum vom Betrachtungsmaßstab abhängt. Je nach Abhängigkeiten sind Tätigkeiten zeitlich gesehen unmittelbar indirekt betroffen oder zeitlich verzögert indirekt betroffen. Als Beispiel für eine Abhängigkeit mit dem Charakter einer unmittelbaren Beeinflussung ist die Kranaabhängigkeit zu nennen. Für zeitlich verzögerte Abhängigkeiten sind alle nachfolgenden Vorgänge, speziell am kritischen Weg des betroffenen Vorganges bzw. der betroffenen Tätigkeit, zu nennen.

²²⁵ GREUNE, S.: Darlegung und Bewertung von multiplen Bauablaufstörungen. In: Schriftenreihe - Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft Technische Universität Braunschweig, Heft 55/2014. S. 60.

Weiters beschränkt *Greune* den Welleneffekt nicht primär auf die Einwirkungen. Die beeinflussenden Faktoren können dahingehend sowohl Einwirkungen als auch Auswirkungen und in weiterer Folge Produktivitätsverluste darstellen.

Entgegen dieser Interpretation beschreibt *Lee* den *ripple effect* in Anlehnung an *Leonard* als einen der sieben maßgeblichen Einwirkungstypen. Somit interpretieren *Lee* und *Leonard* den Welleneffekt neben der Beschleunigung, unzureichenden Ablaufplanung und Koordination, Dimensionierungsabweichungen, Lieferverzug, gesteigerten Komplexität und Ablaufänderungen als mögliche Einwirkung von Produktivitätsverlusten. Allerdings erwähnt *Lee*, dass der Welleneffekt nicht eindeutig definiert sei.²²⁶

In dieser Arbeit wird der Welleneffekt in Anlehnung an *Greune* als ein Effekt gesehen, welcher aufgrund von Einwirkungen und in weiterer Folge von Auswirkungen entsteht.

Um die Ursache des Welleneffektes besser verständlich zu machen, werden im weiteren Verlauf die Beziehungen und Abhängigkeiten der einzelnen Tätigkeiten und Vorgänge untereinander detaillierter beschrieben.

4.9.3 Beziehungen und Abhängigkeiten der Tätigkeiten

Die Weitergabe der Einwirkung an andere vorgangsbezogene interne Tätigkeiten sowie an externe Tätigkeiten und Vorgänge erfolgt nach demselben Prinzip wie jenes der Beeinflussung in der Aggregation bzw. der Kumulation von Produktivitätsverlusten.

Abweichend von der gegenseitigen Beeinflussung der Produktivitätsverluste ist die Beeinflussung der Tätigkeiten nicht ausschließlich von Grenzgrößen abhängig.

Neben der Beeinflussung von anderen Tätigkeiten über bereits erwähnte Grenzgrößen werden die Einwirkungen über Interaktionen infolge

- der elementaren Abhängigkeiten,
- der dispositiven Abhängigkeiten,
- der zeitlichen und örtlichen Abhängigkeiten und Beziehungen sowie
- der übergeordneten Rahmenbedingungen

weitergegeben.

²²⁶ Vgl. LEE, S.: Understanding and Quantifying the Impact of Changes on Construction Labor Productivity: Integration of Productivity Factors and Quantification Methods. S. 569.

Im Folgenden werden die genannten Abhängigkeiten kurz erläutert und demonstrativ einige Beispiele dazu aufgezählt.

4.9.3.1 Elementare Abhängigkeiten

Die elementaren Abhängigkeiten beziehen sich wiederum auf die ersten drei in Abschnitt 4.5.1 beschriebenen elementaren Faktoren der Produktivität:

- Arbeit,
- Betriebsmittel und
- Stoff.

Dahingehend kann eine Grenzgrößenüberschreitung die Ursache für eine Beeinträchtigung externer Tätigkeiten und Vorgänge sein. Diese kann aber auch über die gemeinsame Verwendung von Betriebsmitteln und Stoffen sowie die erforderlichen Kapazitäten an Arbeitskräften erfolgen.

Sind der Kran, ein Bagger, die Schalung und das Rüstzeug oder andere Geräte an eine gestörte Tätigkeit oder an einen gestörten Vorgang länger als kalkuliert gebunden, wirkt sich diese Störung indirekt über diese Abhängigkeit auf die ungestörten Tätigkeiten aus.

Ein weiteres Beispiel dafür, wie über die elementaren Abhängigkeiten andere Tätigkeiten beeinflusst werden, sind die technologischen Bedingungen von Baustoffen. Diese Abhängigkeiten entstehen zumeist in Kombination mit den anderen elementaren Faktoren und dem zeitlichen Faktor. Dahingehend ist die Betoniergeschwindigkeit, Abbindezeiten von Beton und Estrich, Mindestfestigkeiten von Materialien, Arbeitssicherheit etc. zu nennen. Beispielsweise ist die Mindestfestigkeit für Ausschalfristen maßgebend für die Ausschalfrist von Betontragwerken, aber auch bei Einsatz von Kletterschalungen sowie von Gleitschalungen ist die Mindestfestigkeit des Betons zu berücksichtigen. Diese wirkt sich im Weiteren bei Gleitschalungen auf die Gleitgeschwindigkeit und bei Kletterschalungen auf den Zeitpunkt des Umsetzungsvorganges der zur Anwendung kommenden Klettereinheit aus.

4.9.3.2 Dispositive Abhängigkeiten

Darunter wird der vierte Faktor in Abschnitt 4.5.1 verstanden. Die Abhängigkeit über den dispositiven Faktor ist beispielsweise über die Beeinflussung durch die steuernden Personen gegeben. Sind die Kapazitäten dieser zu gering angesetzt und werden diese aufgrund einer Einwirkung an einer bestimmten Tätigkeit besonderes beansprucht, weshalb andere Tätigkeiten warten müssen, ist wiederum eine Beeinflussung der ungestörten Tätigkeiten und Vorgänge gegeben.

4.9.3.3 Zeitliche und örtliche Abhängigkeiten und Beziehungen

Auch diese Abhängigkeiten und Beziehungen treten meist in Kombination mit anderen auf.

Diesbezüglich haben die Fläche bzw. der Arbeitsraum einen wesentlichen Einfluss. Die Logistikketten und die Wege auf der Baustelle können eine Beziehung darstellen, über welche die Störung weitergegeben werden kann. Ist zum Beispiel der vorhandene Arbeitsraum zu gering, bezogen auf die Grenzgröße des Mindestarbeitsraumes, und werden in diesem Arbeitsraum mehrere Tätigkeiten ausgeführt, wird die Beeinträchtigung über den zu geringen Arbeitsraum weitergegeben.

Eine zeitliche Abhängigkeit ist beispielsweise aufgrund von Abbindezeiten, Ausschallfristen, nachfolgenden Vorgänge etc. gegeben. Diese treten wiederum oft in Kombination mit anderen Abhängigkeiten auf. Ist die nachfolgende Tätigkeit örtlich getrennt, wie das Schalen eines weiteren Deckenabschnittes, weisen diese nur eine zeitliche Abhängigkeit vom vorhergehenden Deckenabschnitt auf. Das Schalen der Wände hingegen ist räumlich und zeitlich vom Vorgang der Stahlbetonarbeiten an der Decke abhängig, da diese räumlich gesehen auf der Decke erstellt werden.

4.9.3.4 Übergeordnete Rahmenbedingungen

Der Faktor der gesamtheitlichen Abhängigkeit beinhaltet die übergeordneten Rahmenbedingungen wie Bauzeit, Bauwerksbedingungen und Baustellenbedingungen, Umwelteinflüsse, Auftraggeber, politische und kulturelle Einflüsse etc. Diese übergeordneten Bedingungen können nicht ausschließlich einem elementaren oder dispositiven Faktor zugeordnet werden, haben allerdings Auswirkungen auf diese.

Wie in Abschnitt 2.5 bereits erläutert wurde, hat die Bauzeit einen wesentlichen Einfluss auf die gesamten Produktionsfaktoren. Dahingehend ist die Bauzeit auch als übergeordneter Faktor der Beeinflussung zu interpretieren. Die Störungsanfälligkeit und die übergeordneten Rahmenbedingungen eines Bauvorhabens weisen dieselben Kriterien, bezogen auf die Beziehungen und Abhängigkeiten der Tätigkeiten untereinander, auf. Diesbezüglich kann von der Störungsanfälligkeit eines Projektes auf die Anfälligkeit infolge der übergeordneten Rahmenbedingungen geschlossen werden.

Damit wurden die indirekten Einwirkungen als Folge der Auswirkung erläutert. Mit den indirekten Einwirkungen wurde der letzte Punkt des entwickelten vorgangsbezogenen Ablaufschemas beschrieben und somit das Prinzip und die Unterscheidung der Kumulation und der Aggregation von Auswirkungen mit deren Folgewirkungen eingeführt. Im Weiteren wird ein Überblick über die Kumulation und Aggregation von Einwirkungen gegeben.

5 Kumulation und Aggregation von Einwirkungen

In dieser Arbeit werden – abweichend von der einschlägigen Literatur – zwei Unterscheidungen vorgenommen. Zum einen wird zwischen dem Prinzip der Kumulation und jenem der Aggregation unterschieden (Abschnitt 4.7) und zum anderen zwischen der Kumulation und Aggregation von Einwirkungen und der Kumulation und Aggregation von Auswirkungen. Diese Unterscheidungen sind in Abbildung 4-6 ersichtlich. Das Hauptaugenmerk dieser Arbeit liegt dabei auf der Aggregation und Kumulation der Auswirkungen (Kapitel 4).

Im Folgenden wird ein Überblick über die Kumulation und Aggregation der Einwirkungen gegeben.

5.1 „Cumulative Impacts“ – „Kumulierte Einwirkung“

Im angloamerikanischen Raum wird ebenfalls davon ausgegangen, dass Einwirkungen eine Auswirkung im Bauablauf haben. Beispielsweise bezeichnen *Long/Carter* die Anzahl der Änderungen, aber auch andere Arten von Verzögerungen und Störungen als Einwirkungen, welche einen Mehrverbrauch an Zeit, Lohnstunden und Herstellungskosten zur Folge haben:

[...] multiple change orders and other types of delays and disruption can negatively impact the performance of unchanged work such that a contractor expends additional time, man-hours and costs in completing its „unchanged,“ base scope work.²²⁷

Dahingehend unterscheiden sich die Störungstypen, die im deutschsprachigen Raum angewendet werden. *Lee* erläutert, dass die Definition von „cumulative impacts“ nach wie vor nicht eindeutig ist. Dahingehend unterscheidet und definiert *Lee* die Arten von Einwirkungen in die vier Kategorien

- direct impact,
- indirect impact,
- productivity loss and
- cumulative impact.²²⁸

Weiters definiert *Lee* die direkte (or local) Einwirkung als eine Einwirkung, welche angrenzende „unchanged work“, dessen Ausmaß im We-

²²⁷ LONG, R. J.; CARTER, R. C.: Cumulative Impact Claims. S. 1.

²²⁸ Vgl. LEE, S.: Understanding and Quantifying the Impact of Changes on Construction Labor Productivity: Integration of Productivity Factors and Quantification Methods. S. 9ff.

sentlichen messbar und abschätzbar ist, beeinflusst. Die indirekten Einwirkungen beziehen sich in dieser Definition auf die indirekten Kosten der Baustellengemeinkosten.

Unter „unchanged work“ sind jene (vertraglich vereinbarten) Tätigkeiten zu verstehen, welche nicht durch eine (vertragliche) Änderungsanweisung gedeckt sind.

Ebenfalls werden die Produktivitätsverluste als Einwirkung gesehen.

*The problem with productivity losses is that they are not easily foreseeable and they are hard to measure. Overmanning, congestion, extended overtime, shift work and other factors [...] all inhibit productivity. These factors can not only be considered as changes themselves but also as the results of other changes. They are important in understanding the cause-effect chains that lead to productivity losses.*²²⁹

Diese Auffassung von Produktivitätsverlusten und deren Folgewirkung deckt sich durchaus mit der in dieser Arbeit vertretenen Ansicht. Allerdings wird von Lee nicht zwischen Einwirkung, Auswirkung und Folgewirkung unterschieden. Erfährt ein Projekt eine (oder multiple) Einwirkung(en), entstehen in erster Instanz – abhängig von der Anpassung des Bauablaufes – Produktivitätsverluste. In zweiter Instanz stellen diese Produktivitätsverluste wiederum Einwirkungen für andere – bis dahin nicht beeinträchtigte – Tätigkeiten dar (Abschnitt 4.9). Diese, in dieser Arbeit als indirekte Einwirkungen bezeichneten Folgewirkungen, durchlaufen wiederum dasselbe vorgangsbezogene Ablaufschema wie die in erster Instanz erfahrene(n) Einwirkung(en).

Diesbezüglich ist die von Lee getroffene Definition nicht grundlegend abzulehnen, sondern vielmehr zu erweitern.

Der vierte Punkt in der Unterteilung ist der „cumulative impact“. Diesen beschreibt Lee wie folgt:

*Cumulative impact (or ripple effect) is a specific category of productivity loss due to multiple inseparable changes. [...] Multiple or numerous changes do not automatically cause productivity losses, but they can cause these losses when there is a high degree of interdependency between the changes and the base contract work.*²³⁰

Änderungen können in diesem Zusammenhang nicht ausschließlich auf die vom AG beantragten Änderungen bezogen werden, sondern auch auf allgemeine Änderungen im Bauablauf (unabhängig der Sphäre). Herauszuheben ist, dass diese Anzahl von Änderungen nicht direkt Produktivitätsverluste hervorrufen, diese allerdings einen Grund dafür darstellen können, wenn eine entsprechende Abhängigkeit zwischen den

²²⁹ LEE, S.: Understanding and Quantifying the Impact of Changes on Construction Labor Productivity: Integration of Productivity Factors and Quantification Methods. S. 11.

²³⁰ LEE, S.: Understanding and Quantifying the Impact of Changes on Construction Labor Productivity: Integration of Productivity Factors and Quantification Methods. S. 11.

Änderungen und der kalkulierten (vertraglich vereinbarten) Tätigkeit vorliegt.

Eine andere Definition von „cumulative impact“ liefert das Veteran Affairs Board of Contract Appeals (VABCA):

“Local [or direct] disruption” refers to the direct impact that changed work has on other unchanged work going on around it. Conceptually, for purposes of this appeal “cumulative disruption” is the disruption which occurs between two or more change orders and basic work and is exclusive of that local disruption that can be ascribed to a specific change.²³¹

Auch in dieser Definition bezieht sich die „kumulative“ Wirkung im Wesentlichen auf Änderungsanweisungen. Die VBACA unterscheidet allerdings zwischen der direkten Einwirkung und der entstehenden Folgewirkung, indem sie die „local disruption“ der eigentlichen Änderung zuweist. Allerdings entspricht auch diese Definition einer vertragsrechtlichen und keiner baubetrieblichen Definition. Ebenfalls wird nicht berücksichtigt, dass eine singuläre Einwirkung Produktivitätsverluste erzeugen kann, welche ebenso benachbarte „unchanged work“ – auch bei Betrachtung der angloamerikanischen Definition – beeinflussen kann.

Trotz der sich vom angloamerikanischen Raum unterscheidenden Einteilung der Einwirkungen wird weiterhin eine Differenzierung zwischen Einwirkung und Auswirkung als sinnvoll erachtet.

Des Weiteren ist – wiederum auf die baubetriebliche Einwirkung bezogen – bei einer kombinierten Betrachtung von Einwirkung und Auswirkung unvorteilhaft, da infolge dieser kombinierten Betrachtung die einzelnen Schritte (siehe vorgangsbezogenes Ablaufschema Abbildung 4-6) zumeist vernachlässigt werden. Weiters wird von einer direkten oder von multiplen Einwirkungen ohne Unterscheidung auf (kumulierte) Produktivitätsverlust geschlossen. Aufgrund dessen wird eine weitere Differenzierung zwischen Kumulierung und Aggregation der Auswirkungen bzw. der Produktivitätsverluste schwierig.

Da in den allgemein gängigen Definitionen zu Kumulierungswirkungen keine eindeutige Abgrenzung zwischen Einwirkung, Auswirkung und Folgewirkung erfolgt, wird sich vom Begriff der kumulierten Einwirkungen, Kumulierungswirkungen etc. bzw. des cumulative impact und der cumulative disruption distanziert. Mit der Unterscheidung der Begrifflichkeiten wird eine detailliertere Betrachtung – aus baubetrieblicher Sicht – der Einzelursachen möglich.

Um eine Kumulation bzw. eine Aggregation von Einwirkungen feststellen zu können – entsprechend dem vorgangsbezogenen Ablaufschema in

²³¹ LONG, R. J.; CARTER, R. C.: Cumulative Impact Claims. S. 2.

Abbildung 4-6 –, wird zwischen einer singulären und einer multiplen (mehr als einer) Einwirkung unterschieden.

Im weiteren Verlauf werden die Kumulation bzw. die Aggregation von Einwirkungen erläutert. Dahingehend sind die Begriffe und folglich auch das Prinzip der Kumulation und der Aggregation ident mit der jeweiligen Begriffsdefinition in Abschnitt 4.7.

5.2 Singuläre und multiple Einwirkungen

Diese Betrachtung bezieht sich auf eine Tätigkeit in einem Vorgang (Abbildung 4-6). Dahingehend kommt es beim Auftreten einer singulären Störung zu keiner Kumulation bzw. keiner Aggregation. Treten allerdings mehrere Störungen auf, müssen diese zuerst einzeln untersucht werden und erst anschließend als kumulierte Summe bzw. als aggregierte Gesamtheit einer weiteren Betrachtung unterzogen werden. Das bedeutet, dass jede Störung zuerst für sich das Ablaufschema durchläuft und anschließend die unterschiedlichen Kombinationen der Kumulation bzw. der Aggregation der Einwirkungen untersucht werden.

Diesbezüglich können die Einwirkungen in „erster Instanz“, ohne Kombination oder gegenseitige Beeinflussung, als ursprüngliche bzw. originäre Einwirkungen bezeichnet werden.

Ausgehend davon, dass mehrere bzw. multiple Einwirkungen auftreten, wird im Weiteren kurz die Kumulation sowie die Aggregation von Einwirkungen erläutert.

5.2.1 Kumulation von Einwirkungen

Verhalten sich die Einwirkungen diskret, respektive weisen die Einwirkungen keine gegenseitige Beeinflussung auf, sind sie in sich abgeschlossen und es ist die kumulierte Summe zu bilden.

Dahingehend entspricht die kumulierte Summe der Summe aus den Eingangsparametern, welche im vorliegenden Fall Einwirkungen darstellen. Das Diffizile dabei ist die quantitative Erfassung des Ausmaßes einer Einwirkung (Störungsintensität). Eine Auswirkung kann unter anderem über die Änderung der Produktivität ermittelt werden. Eine Einwirkung hingegen hat, wiederum abhängig vom Charakter des Projektes, Auswirkungen in unterschiedlichem Ausmaß (Störungsanfälligkeit).

Die Anzahl von Einwirkungen alleine ist nur bedingt aussagekräftig, jedoch auch nicht zu vernachlässigen. Abhängig von der Intensität der Einwirkungen, kann eine geringere Anzahl von Einwirkungen intensiver sein als eine größere Anzahl von Einwirkungen. Das bedeutet, dass die Intensität der Einwirkung bedeutender für die baubetrieblichen Auswirkungen ist als die Anzahl der Einwirkungen (Abschnitt 4.4.4).

Weisen die Einwirkungen ein diskretes Verhalten auf, ergibt sich über die Addition der Intensität der Einzeleinwirkungen die kumulierte Summe der Intensität. Diese kumulierte Summe stellt wiederum eine neuerliche Einwirkung dar.

Über dieses schrittweise Vorgehen bei der Ermittlung der Auswirkung der Einzeleinwirkungen, kann der Einfluss bzw. die Auswirkung der jeweiligen Einzeleinwirkung ermittelt werden.

Durch die weitere Ermittlung der unterschiedlichen Kombinationen von Einwirkungen wird wiederum schrittweise die Auswirkung der unterschiedlichen Kombinationen ermittelt. Die schrittweise Ermittlung der Einwirkung kann infolgender Form angeschrieben werden:

$$EWG_{\text{ges, kumuliert}} = \left(\sum_{k=1}^m EWG_{kl} \right) \quad (\text{Gl. 5-1})$$

Dabei stellt die Einwirkung EWG_{kl} mit $k=1$ die Einzeleinwirkung ohne Kombination mit anderen EWG dar. Die jeweiligen EWG_{kl} sind wiederum die Eingangsparameter bzw. die Einwirkungen zur Ermittlung des Produktivitätsverlustes $\Delta PV_{\text{aggregiert, kl}}$.

Dieses Modell ermöglicht aus baubetrieblicher Sicht die Ermittlung der Auswirkungen von Bauablaufstörungen abhängig von den Einzeleinwirkungen und der Kombination dieser Einwirkungen.

Diese Betrachtung gilt für diskrete, in sich abgeschlossene Einwirkungen. Diesbezüglich treten keine Beeinflussungen untereinander auf, wodurch die Ermittlung ohne gegenseitige Interaktion der Einwirkungen, sondern lediglich über die Kombination (Summe) der Intensitäten erfolgt.

5.2.2 Aggregation von Einwirkungen

Bei der Aggregation von Einwirkungen ist – wie bei der Aggregation von Produktivitätsverlusten – eine individuelle gegenseitige Beeinflussung mit dem Resultat der Aufschaukelung erforderlich. Dabei entspricht die aggregierte Gesamtheit nicht der Summe aus den Eingangsparametern (Einwirkungen).

Die Frage, ob sich Einwirkungen diskret verhalten oder nicht, ist maßgebend für die Unterscheidung von kumulativem oder aggregativem Verhalten. Da die Abgrenzung der Einwirkung oft schwierig ist, ist eine Differenzierung zwischen Kumulation und Aggregation als diffizil zu betrachten.

Wird allerdings der theoretische Hintergrund betrachtet und weiters davon ausgegangen, dass die Einwirkungen kein diskretes Verhalten aufweisen und sich gegenseitig beeinflussen, kann dies eine Aufschaukelung aufgrund der individuellen Interaktionen zwischen den Einwirkungen zur Folge haben. Das Ergebnis dieser Aufschaukelung ist eine aggreg-

gierte Gesamtheit der Einwirkungen. Diese aggregierte Gesamtheit weist eine abweichende Intensität gegenüber der kumulierten Summe der Einwirkungen auf.

Bei der Ermittlung der aggregierten Gesamtheit der Einwirkung muss wiederum die gegenseitige Beziehung berücksichtigt werden. Über diese gegenseitige Beziehung interagieren die Einwirkungen miteinander, weshalb es zu einer Aufschaukelung (ausgehend von einer Intensitätssteigerung) kommt.

Dies kann wie folgt angeschrieben werden:

$$EWG_{\text{ges, aggregiert}} = \mathbf{1}_n^T \cdot \begin{bmatrix} EWG_{11} \cdot \mu_{11} & EWG_{12} \cdot \mu_{12} & \cdots & EWG_{1m} \cdot \mu_{1m} \\ EWG_{21} \cdot \mu_{21} & EWG_{22} \cdot \mu_{22} & \cdots & EWG_{2m} \cdot \mu_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ EWG_{m1} \cdot \mu_{m1} & EWG_{m2} \cdot \mu_{m2} & \cdots & EWG_{mm} \cdot \mu_{mm} \end{bmatrix} \cdot \mathbf{1}_n \quad (\text{Gl. 5-2})$$

oder

$$EWG_{\text{ges, aggregiert}} = \left(\sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m EWG_{kl} \cdot \mu_{kl} \right) \quad (\text{Gl. 5-3})$$

Wie bei der Aggregation von Produktivitätsverlusten beschreibt der Faktor μ_{kl} den Grad der Beeinflussung über die gegenseitigen Beziehungen und Abhängigkeiten der Einwirkungen untereinander. Dabei stellt μ_{kl} die Beeinflussung der Einwirkung k durch die Einwirkung l dar. Entspricht $k = l$, ergibt das die Beeinflussung durch sich selbst.

Die Matrixschreibweise bzw. die Matrize der Einwirkungen, sowohl für die kumulierte Summe der Einwirkung ($EWG_{\text{ges, kumuliert}}$) als auch für die aggregierte Gesamtheit der Einwirkungen ($EWG_{\text{ges, aggregiert}}$), kann ebenso als Übersicht der unterschiedlichen Kombinationen von Einwirkungen herangezogen werden.

Dabei stellt das Produkt aus EWG_{kl} und μ_{kl} den Betrag der neuerlichen Einwirkung zur Ermittlung der Produktivitätsverluste dar. Die Ergebnisse der kumulierten oder aggregierten Produktivitätsverluste können wiederum in einer Matrixschreibweise angeschrieben werden. Die kumulierte Summe bzw. die aggregierte Gesamtheit der Produktivitätsverluste infolge der Einwirkung EWG_{kl} bzw. des Produktes aus EWG_{kl} und μ_{kl} ergeben dabei den Produktivitätsverlust infolge der Einwirkung k beeinflusst durch Einwirkung l .

Diese Form der schrittweisen Ermittlung der Einwirkung und in weiterer Folge der schrittweisen Berechnung der Produktivitätsverluste ermöglicht eine deterministische Ermittlung der Kumulation und der Aggregation von Produktivitätsverlusten. Dahingehend ist der Abgrenzbarkeit von Einwirkungen und der Ermittlung ihrer Beziehung untereinander eine wesentliche Bedeutung zuzuschreiben. Diesbezüglich ist allerdings noch Forschungsbedarf feststellbar.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Produktivität wird über den Quotienten aus Produktionsergebnis (Output) und dem Faktoreinsatz bzw. dem Ressourceneinsatz (Input) bestimmt.

Ausgehend von einer ex post Betrachtung (bezogen auf die Ausführungsperiode) der Produktivität, kann das Produktionsergebnis hinsichtlich der Qualität und Quantität zumeist ohne weitere Schwierigkeiten ermittelt werden. Für die Ermittlung des Ressourceneinsatzes muss hingegen inter actio – um eine detaillierte Aussage über das Ausmaß und im Speziellen die Zurechenbarkeit zu den jeweiligen Tätigkeiten und Vorgängen treffen zu können – eine genaue Dokumentation diesbezüglich stattfinden.

Die Kombination der elementaren und dispositiven Produktionsfaktoren bestimmt im Wesentlichen, wie ergiebig die Ressourcen eingesetzt werden und über den produzierten Output, wie produktiv dieser Einsatz war.

Treten Soll-Ist-Abweichungen auf, stellen diese eine Einwirkung auf den geplanten Bauablauf dar und wirken sich unter anderem über die Anpassung des Ressourceneinsatzes auf die Produktivität aus. Um dieser Einwirkung entgegen zu wirken, können neben der Anpassung des Ressourceneinsatzes auch die Anpassung der Fertigungszeit, des Fertigungsablaufes, des Produktionsergebnisses sowie eine Anpassung aus Kombinationen der Varianten zur Anwendung kommen.

Abhängig von der Anpassungsvariante bzw. der Kombination der Varianten sind Grenzwertüberschreitungen bzw. -unterschreitungen sowie daraus resultierende Produktivitätsverluste möglich.

Verhalten sich diese entstandenen Produktivitätsverluste – infolge der Einwirkung auf den Bauablauf und der daraus getroffenen Anpassungsvariante – diskret, ergibt sich eine kumulierte Summe der Produktivitätsverluste. Verhalten sich diese Produktivitätsverluste allerdings nicht diskret und beeinflussen sich gegenseitig, hat dieses Verhalten eine individuelle Aufschaukelung der sich beeinflussenden Produktivitätsverluste zur Folge. Diese Anhäufung der sich gegenseitig beeinflussenden Produktivitätsverluste wird als aggregierte Gesamtheit bezeichnet.

Diesbezüglich besteht die kumulierte Summe aus der Summe der einzelnen Produktivitätsverluste. Hingegen entspricht die aggregierte Gesamtheit aufgrund der gegenseitigen Beeinflussung und Aufschaukelung nicht der Summe der einzelnen Produktivitätsverluste.

Da sich die Auswirkungen (Produktivitätsverluste, Anpassung der Fertigungszeit etc.) einer Soll-Ist-Abweichung nicht ausschließlich auf eine Tätigkeit bzw. einen Vorgang beschränken, bewirken diese eine Beeinflussung von anderen, nicht direkt betroffenen Tätigkeiten und Vorgängen. Diesbezüglich ist die Reichweite einer Einwirkung maßgeblich von

der Störungsintensität und der Störungsanfälligkeit abhängig. Je störungsanfälliger ein Projekt ist, desto wahrscheinlicher beeinflussen sich Tätigkeiten und Vorgänge gegenseitig und desto weitreichender und größer ist die über Folgewirkungen entstehende Auswirkung. Dieser Effekt wird auch als Welleneffekt oder „ripple effect“ bezeichnet.

Bezogen auf das Verhalten von Einwirkungen bzw. der daraus resultierenden Auswirkungen im Speziellen von Produktivitätsverlusten wurde ein vorgangsbezogenes Ablaufschema entwickelt. Dieses Ablaufschema ermöglicht es einerseits, die Übersichtlichkeit der Auswirkungen sowie der Reichweite der Einwirkung auf den Bauablauf zu gewährleisten, und andererseits, das Prinzip der Kumulation und der Aggregation von Produktivitätsverlusten zu verdeutlichen.

Dahingehend wurde zu Beginn des Ablaufschemas zwischen dem Verhalten der Einwirkung und dem Verhalten der Auswirkung – bezogen auf die Kumulation und Aggregation – unterschieden. Der Fokus dieser Arbeit liegt auf dem Verhalten der Auswirkung, weshalb das Prinzip der Kumulation und Aggregation von Einwirkungen erläutert, im Wesentlichen allerdings lediglich ein Überblick diesbezüglich gegeben wurde.

Darüber hinaus wurden die unterschiedlichen Grenzgrößen sowie die daraus resultierenden Produktivitätsverluste qualitativ erläutert und auf die Begriffe des diskreten und nicht diskreten Verhaltens von Produktivitätsverlusten eingeführt.

Zusätzlich wurden auf die Begriffe der Störung sowie der Störungsintensität und der Störungsanfälligkeit erläutert. Weiters wurde die Reaktion auf eine Störung in vier Kategorien unterteilt. Die Anpassung des Ressourceneinsatzes, der Fertigungszeit, des Fertigungsablaufes und des Produktionsergebnisses wurden detailliert erläutert und ihre Folgen dargestellt.

Im Weiteren wurde im vorgangsbezogenen Ablaufschema unterschieden, ob Grenzgrößen über- und/oder -unterschritten worden sind bzw. ob Produktivitätsverluste aufgetreten sind oder nicht. Sind keine Produktivitätsverluste aufgetreten, ist des Weiteren zu untersuchen, ob die Auswirkungen andere Tätigkeiten und Vorgänge beeinflussen oder nicht.

Treten Produktivitätsverluste auf, sind diese auf diskretes oder nicht diskretes Verhalten zu untersuchen und im Weiteren die kumulierte Summe (diskretes Verhalten) bzw. die aggregierte Gesamtheit (nicht diskretes Verhalten) zu bilden.

Am Ende des vorgangsbezogenen Ablaufschemas wurde eine Kontrollschleife eingefügt, in welcher die gesamten im Ablaufschema anfallenden Auswirkungen auf die Beeinflussung anderer Tätigkeiten und Vorgänge zu überprüfen sind. Treten solche vorgangsbezogenen externen Beeinflussungen auf, werden diese als indirekte Einwirkungen charakterisiert. Diese indirekten Einwirkungen stellen wiederum eine neuerliche

Einwirkung im vorgangsbezogenen Ablaufschema dar. Diesbezüglich muss die Berechnung für die betroffene Tätigkeit erneut durchgeführt werden.

Da dieser Ablauf für jede Einwirkung sowie für jede entstehende indirekte Einwirkung durchzuführen ist, wurde eine Möglichkeit entwickelt, mit welcher das Ausmaß einer Einwirkung inklusive des entstandenen Welleneffektes ermittelt werden kann.

Neben dem Ablaufschema wurde das Prinzip der Kumulation und der Aggregation von Produktivitätsverlusten erläutert und definiert. Dahingehend wurden die Begriffe Kumulation und Aggregation auf ihre derzeitige Verwendung in der Literatur untersucht. Dabei wurde die Erkenntnis gewonnen, dass in den untersuchten Literaturquellen – bezogen auf das Verhalten von Produktivitätsverlusten – keine Unterscheidung zwischen Kumulation und Aggregation vorgenommen wird und des Weiteren die Interaktionen zwischen den Produktivitätsverlusten oftmals nicht berücksichtigt werden.

Diese Beziehungen und Interaktionen zwischen den Produktivitätsverlusten wurden in dieser Arbeit ebenfalls ausführlich behandelt und eine Gleichung eingeführt, mit welcher das kumulative und aggregative Verhalten von Produktivitätsverlusten berechnet und übersichtlich dargestellt werden kann.

Diesbezüglich ist ein Anwendungsbeispiel angeführt. In diesem Beispiel wurden die aggregierte Gesamtheit einer Aufwandswertsteigerung und in weiterer Folge die aggregierte Gesamtheit der Produktivitätsverluste ermittelt. Die Berechnungsschritte wurden einzeln erläutert. Weiters wurde auf die unterschiedlichen Ergebnisse bei Berücksichtigung und bei Vernachlässigung dieser Beziehungen zwischen den Produktivitätsverlusten eingegangen.

Die Beziehungen zwischen den Produktivitätsverlusten stellen ein komplexes Gefüge dar. Diese Beziehungen weisen einen nicht linearen Charakter auf. Dies ist auf die instationäre Fertigung eines Bauwerkes zurückzuführen, welche aufgrund der stetig wechselnden Rahmenbedingungen jedes Projekt zu einem Einzelstück macht. Dahingehend gilt es, die Beziehungen zwischen den Produktivitätsverlusten sowohl in qualitativer als auch in quantitativer Hinsicht zu untersuchen.

Ein weiterer Punkt, welcher ausreichend Potential für vertiefende Forschungen aufweist, ist jener der Kumulation und Aggregation von Einwirkungen. Zu diesem Thema wurde eine Übersicht geboten. Allerdings stellt sich die Frage, wie Einwirkungen quantitativ erfasst werden können, um eine Kumulation und Aggregation dieser zu ermitteln. Vorstellbar wäre eine Art Kriterienkatalog, mit welchem, abhängig von projektspezifischen Charakteristika, die Störungsintensität unterschiedlichster Einzelstörungen ermittelt werden könnte. Infolgedessen könnte mit Hilfe des Kriterienkataloges die quantitative kumulierte Summe bzw. die quan-

titative aggregierte Gesamtheit der Einwirkungen erfasst werden. In weiterer Folge könnte die Auswirkung der quantitativ ermittelten Einwirkung (sowohl kumulativ als auch aggregativ) über das vorgangsbezogene Ablaufschema erfasst werden.

Eine weitere Frage, die es diesbezüglich zu klären gilt, betrifft die Abgrenzbarkeit von Einwirkungen. Dieser Bereich birgt ebenfalls Potential für weitere Untersuchungen. Dabei gilt es, die individuelle Interaktion zwischen den Einwirkungen sowie die daraus resultierende Kumulation und Aggregation zu ermitteln. In weiterer Folge wären die daraus gewonnenen Kenntnisse ebenfalls dem Kriterienkatalog hinzuzufügen.

Mit Hilfe des Kriterienkataloges könnte das baubetrieblich diskrete oder nicht diskrete Verhalten der unterschiedlichen Einwirkungen festgestellt werden. Durch eine Unterscheidung zwischen diskretem und nicht diskretem Verhalten ist eine getrennte Ermittlung von Produktivitätsverlusten infolge von singular sowie kumuliert bzw. aggregiert auftretenden Einwirkungen möglich.

Dahingehend erweist sich eine detaillierte Ermittlung infolge einer getrennten Betrachtung von Einwirkung und Auswirkung, auch bezüglich der Sphärenzuweisung von Produktivitätsverlusten, als vorteilhaft. Liegen bezüglich der einzelnen Einwirkungen Informationen zur verursachenden Sphäre vor, ist diesbezüglich eine detailliertere Aussage zur Sphärenverteilung der Auswirkung möglich.

Hinsichtlich der gewonnenen Kenntnisse wäre es nach Ansicht des Verfassers wünschenswert, wenn künftig eine Unterscheidung zwischen der kumulierten Summe und der aggregierten Gesamtheit von Produktivitätsverlusten vorgenommen werden würde. Darüber hinaus wäre es zu begrüßen, der vorgeschlagenen Unterteilung zwischen Kumulation und Aggregation von Einwirkungen sowie Kumulation und Aggregation von Auswirkungen nachzukommen. Zusätzlich wird im Hinblick auf die erarbeiteten Themen ein reger Informationsaustausch der Fachwelt als sinnvoll erachtet.

7 Literaturverzeichnis

AACE INTERNATIONAL: Cost Engineering Terminology: AACE International Recommended Practice No. 10S-90. AACE International, 2012.

BARTH, P.; DOKALIK, D.; POTYKA, M.: Das Allgemeine bürgerliche Gesetzbuch - Taschenkommentar. Wien. Manz'sche Verlags- und Universitätsbuchhandlung, 2014.

BAUER, H.: Baubetrieb. Berlin Heidelberg. Springer, 3. vollständig neu bearbeitete Auflage, 2007.

BAUER, H. : Baubetrieb 2. Berlin Heidelberg. Springer, 2. , neubearbeitete Auflage, 1992 und 1994.

BERG, G.: REFA in der Baupraxis: Teil 1 Grundlagen. Frankfurt/Main. ztv-Verlag, 1984.

BORN, B.-L.: Systematische Erfassung und Bewertung der durch Störungen im Bauablauf verursachten Kosten. Düsseldorf. Werner Verlag, 1980.

BROCKHAUS WISSENSSERVICE: Kumulation (bildungssprachlich). <https://tugraz.brockhaus-wissensservice.com/brockhaus/kumulation-bildungssprachlich>. Datum des Zugriffs: 12.Jänner.2015.

BROCKHAUS WISSENSSERVICE: Kumulation (Biologie, Medizin). <https://tugraz.brockhaus-wissensservice.com/brockhaus/kumulation-biologie-medizin>. Datum des Zugriffs: 15.Jänner.2015.

BROCKHAUS WISSENSSERVICE: Aggregation (allgemein). <https://tugraz.brockhaus-wissensservice.com/brockhaus/aggregation-allgemein>. Datum des Zugriffs: 15.Jänner.2015.

BROCKHAUS WISSENSSERVICE: Aggregation (Volkswirtschaftslehre). <https://tugraz.brockhaus-wissensservice.com/brockhaus/aggregation-volkswirtschaftslehre>. Datum des Zugriffs: 15.Jänner.2015.

BROCKHAUS WISSENSSERVICE: Kumulation (katholisches Kirchenrecht). <https://tugraz.brockhaus-wissensservice.com/brockhaus/kumulation-katholisches-kirchenrecht>. Datum des Zugriffs: 15.Jänner.2015.

BÜCHTER, A.; HENN, H.-W.: Elementare Stochastik - Eine Einführung in die Mathematik der Daten und des Zufalls. Berlin Heidelberg. Springer-Verlag , 2005.

CANTNER, U.; KRÜGER, J.; HANUSCH, H.: Produktivitäts- und Effizienzanalysen. Berlin Heidelberg. Springer - Verlag, 2007.

DEISER, O.: Reelle Zahlen - Das klassische Kontinuum und die natürlichen Folgen. Berlin Heidelberg. Springer, 2007.

- DEISER, O. et al.: 12x12 Schlüsselkonzepte zur Mathematik. Heidelberg. Spektrum Akademischer Verlag, 2011.
- DITTRICH, R.; TADES, H.: Das Allgemeine bürgerliche Gesetzbuch - Taschenkommentat. Wien. MANZ'sche Verlags- und Universitätsbuchhandlung, 22. Auflage, 2007.
- DREIER, F.: Nachtragsmanagement für gestörte Bauabläufe aus baubetrieblicher Sicht. Cottbus. 2001.
- DUDEN: Duden - Das Herkunftswörterbuch. Mannheim. Dudenverlag, 4. neu bearbeitete Auflage, 2007.
- DUDEN: Duden - Das Große Fremdwörterbuch. Mannheim. Bibliographisches Institut, Mannheim, 2., neu bearbeitete und erweiterte Auflage, 2000.
- DULLINGER, K.: Schwerpunkte der Angebotsprüfung nach dem BVerG: Preisprüfung, vertiefte Angebotsprüfung, Mangelhaftigkeit . In: 5. Grazer Baubetriebs- und Baurechtsseminar, 1. Auflage/2012.
- DUVE, H.: Nachweis von Bauablaufstörungen. In: 1. Grazer Baubetriebs- & Baurechtsseminar - Behandlung und Nachweisführung von Mehrkostenforderungen, 1. Ausgabe/2008.
- EBERHARD, U.: Arbeitspsychologie. Zürich. Vdf, Hochschul-Verl. an der ETH, 4., Neubearb. und erw. Aufl., 1998.
- EICHLER, D.: Bemessung der SOLL-Bauzeit. In: Das Problem Bauzeit - Festlegung, Dokumentation und Bewertung, Schriftenreihe des Instituts für Bauwirtschaft und Baubetrieb, Braunschweig, Heft 48/2009.
- FALBE, J.; REGITZ, M.: Römpf Chemie Lexikon. Stuttgart. Georg Thieme Verlag, 9. Auflage, 1990.
- FALK, M. et al.: Statistik in Theorie und Praxis - Mit Anwendungen in R. Berlin Heidelberg. Springer-Verlag, 2014.
- FISCHER, P.: Leistungsänderungsrecht und Auswirkungen auf die Art der Ermittlung von Mehrkostenforderungen. In: 1. Grazer Baubetriebs- & Baurechtsseminar - Behandlung und Nachweisführung von Mehrkostenvorderungen, 1. Ausgabe/2008.
- FISCHER, P.; MARONDE, M.; SCHWIERS, J. A.: Das Auftragsrisiko im Griff. Wiesbaden. Friedr. Vieweg & Sohn Verlag, 2007.
- FRIELING, E.; SONNTAG, K.: Lehrbuch Arbeitspsychologie. Bern. Huber, 1987.
- GABLER: Kompakt-Lexikon Wirtschaft. Wiesbaden. Springer Gabler, 11., aktualisierte Auflage, 2013.
- GABLER: Volkswirtschafts-Lexikon. Wiesbaden. Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler, 3. vollständig überarbeitete Auflage, 1990.

- GIRMSCHEID, G.: Projektentwicklung in der Bauwirtschaft - Wege zur Win-Win-Situation für Auftraggeber und Auftragnehmer. Berlin Heidelberg. Springer, 3., bearbeitete und erweiterte Auflage, 2010.
- GREUNE, S.: Darlegung und Bewertung von multiplen Bauablaufstörungen. In: Schriftenreihe - Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft Technische Universität Braunschweig, Heft 55/2014.
- GUTENBERG, E.: Einführung in die Betriebswirtschaftslehre. Wiesbaden. Gabler, 1958.
- GUTENBERG, E.: Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre. Berlin Heidelberg. Springer, 1973.
- HARTUNG, J.; ELPELT, B.; KLÖSNER, K.-H.: Statistik - Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik. München,Wien. R.Oldenbourg Verlag, 14. Auflage, 2005.
- HECK, D.; LANG, W.: Skriptum zur Lehrveranstaltung Baubetriebslehre VU. Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft, TU-Graz, 2012.
- HENZE, N.: Stochastik für Einsteiger- Eine Einführung in die faszinierende Welt des Zufalls. Wiesbaden. Vieweg+Teubner Verlag |Springer Fachmedien, 9., erweiterte Auflage, 2012.
- HOFSTADLER, C.: Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb. Berlin Heidelberg . Springer, 2007.
- HOFSTADLER, C. : Schularbeiten. Berlin Heidelberg. Springer, 2008.
- HOFSTADLER, C.: Im Zuge des Anti-Claim-Management Seminars, Teil 4: Leistungsumfang und -ziel sowie Leistungsabfindungen. Vortrag. Schladming. 19.09.2014.
- HOFSTADLER, C.: Skriptum zur Vorlesung Baubetrieb Forschungsseminar. Skriptum. Graz. Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft, 2015.
- HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. Berlin Heidelberg. Springer - Verlag, 2014.
- HOFSTADLER, C.; KUMMER, M.: Systematischer Umgang mit Produktivitätsrisiken in der Auftragskalkulation. In: 12. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium - Risiken im Bauvertrag - baubetriebliche, bauwirtschaftliche und rechtliche Aspekte, 1. Auflage/2014.
- IBBS, W.; VAUGHAN, C.: Change and the Loss of Productivity in Construction: A Field Guide.
http://www.ce.berkeley.edu/~ibbs/BRICS/Materials/lbbs_Vaughan_Changes%20Field%20Guide%20Version%201.27.12%20Updated%201.24.12.pdf. Datum des Zugriffs: 27.04.2015.

- KAPELLMANN, K. D.; SCHIFFERS, K.-H.: Vergütung, Nachträge und Behinderungsfolgen beim Bauvertrag. Düsseldorf. Werner, 2011.
- KARASEK, G.; DUVE, H.: Die Bauzeit im Bauvertrag - die baurechtliche und bauwirtschaftliche Betrachtung. In: Tagungsband, 2. Grazer Baubetriebs- und Baurechtsseminar, 2. Ausgabe/2009.
- KARASEK, G.; DUVE, H.: Rechtliche Grundlagen bei Mehrkostenforderungen aus der ÖNORM und dem ABGB bei Einheitspreis- und Pauschalverträgen. In: 1. Grazer Baubetriebs- & Baurechtsseminar - Behandlung und Nachweisführung von Mehrkostenvorderungen, 1. Ausgabe/2008.
- KOMETOVA, S.: Controlling langfristiger Projekte im kommunalen Immobilienmanagement. Dissertation. Darmstadt. Technische Universität Darmstadt, Schriftenreihe des Instituts für Baubetrieb - D62, 2013.
- KUMLEHN, F.: Implizite Bestandteile des Baugeräteverrechnungssatzes – Mehrfach unbestimmtes Preisermittlungssystem bei Nachträgen. In: Schriftenreihe - Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft Technische Universität Braunschweig, Heft 51/2011.
- KUMLEHN, F.: Bewertung gestörter Bauabläufe der Höhe nach : Geht mit § 642 BGB für Auftragnehmer alles einfacher?. In: Baumarkt + Bauwirtschaft, 2004.
- KUMMER, M.: Unveröffentlichte Dissertation. Graz. Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft, 2015.
- KUMMER, M. : Arbeitsblatt: Aggregierte Berücksichtigung von Produktivitätsverlusten. . Graz. Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft, in Druck.
- KURBOS, R.: Spekulation mit Zuschlägen!?. In: 5. Grazer Baubetriebs- und Baurechtsseminar, 1. Auflage/2012.
- KYTZLER, B.; REDEMUND, L.: Unser tägliches Latein - Lexikon des lateinischen Spracherbes. Koblenz. Verlag Philipp von Zabern, 2014.
- LANDAU, K.: Produktivität im Betrieb - eine Einführung. In: Produktivität im Betrieb, Tagungsband der GfA Herbstkonferenz/2009.
- LANG, A.: Ein Verfahren zur Bewertung von Bauablaufstörungen und zur Projektsteuerung. Düsseldorf. VDI-Verlag, 1988.
- LEE, S.: Understanding and Quantifying the Impact of Changes on Construction Labor Productivity: Integration of Productivity Factors and Quantification Methods. Berkeley. ProQuest LLC, 2008.
- LEHMANN, G.: Praktische Arbeitspsychologie. Stuttgart. Thieme, 1. Auflage, 1953.
- LEHMANN, G.: Praktische Arbeitspsychologie. Stuttgart. Thiem Verlag, 2. Auflage, 1962.

- LONG, R. J.; CARTER, R. C.: Cumulative Impact Claims. Littleton - Colorado. Long International, Inc., 2013.
- OGLESBY, C. H.; PARKER, H. W.; HOWELL, G. A.: Productivity improvement in construction. United States of America. McGraw-Hill, 1989.
- ÖNORM B 2110: Allgemeine Vertragsbedingungen für Bauleistungen. Wien. Austrian Standards Institute, 2013.
- REISTER, D.: Nachträge im Bauvertrag. Köln. Werner Verlag, 2. Auflage; 2007.
- RITTER, J.; EISLER, R.: Historisches Wörterbuch der Philosophie. Basel. Schwalbe und Co Verlag Basel-Stuttgart, 1971.
- ROQUETTE, A. J.; VIERING, M.; LEUPERTZ, S.: Handbuch Bauzeit. Köln. Werner-Verlag, 2010.
- RÜBBERDT, R.: Geschichte der Industrialisierung. München. C.H. Beck'sche Verlagsbuchhandlung, 1972.
- SAINT-MONT, U.: Statistik im Forschungsprozess - Eine Philosophie der Statistik als Baustein einer integrativen Wissenschaftstheorie. Berlin Heidelberg. Springer-Verlag, 2011.
- SPRINGER FACHMEDIEN WIESBADEN: HOAI 2013-Textausgabe. Wiesbaden. Springer Vieweg, 2013.
- STRZYSCH, M.; WEIß, J.: DER BROCKHAUS - IN FÜNF BÄNDEN. Leipzig-Mannheim. F.A. Brockhaus GmbH, 1997.
- THOMAS, R. H.; RAYNAR, K. A.: Scheduled Overtime and Labor Productivity. In: Journal of Construction Engineering and Management, 2. Ausgabe, Seite 182/1997.
- VYGEN, K. et al.: Bauverzögerung und Leistungsänderung. Köln. Werner Verlag, 6. Auflage, 2011.
- WISSER, J.; KORAIMANN, T.: Leistungsziel und Vergütung bei PPP-Projekten an Hand der Erfahrungen bei der Nordautobahn A5. In: 3. Grazer Baubetriebs- & Baurechtsseminar - Bauzeit, Vergütung und der Werkerfolg im Bauvertrag, 1. Auflage/2010.
- WÖHE, G.; DÖRING, U.: Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. München. Vahlen, 24., überarbeitete und aktualisierte Auflage, 2010.
- WÜRFELE, F.; GRALLA, M.; SUNDERMEIER, M.: Nachtragsmanagement. Köln. Luchterhand, 2. Auflage, 2012.
- ZICHL, K. et al.: Bauwirtschaft und Baubetrieb. Berlin, Heidelberg. Springer Vieweg, 2013.

