

Universität Rostock
Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät
Institut für Umweltingenieurwesen
Professur für Baubetriebswirtschaft

**Methode zur Quantifizierung der Einflüsse auf Vorgangs dauern
lohnintensiver Arbeiten**

am Beispiel von Pflasterarbeiten

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)
der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät der Universität Rostock

vorgelegt von
Dipl.-Ing. (LU) Jenny Haide
geboren am 21.10.1975 in Rostock

urn:nbn:de:gbv:28-diss2008-0041-9

Rostock, den 30.11.2007

Tag der Verteidigung: 24. April 2008

Betreuer und Gutachter:

Prof. Dr. Michael Hembus

Universität Rostock Agrar- u. Umweltwissenschaftliche Fakultät

Gutachter:

Prof. Dr. Hans-Joachim Bargstädt

Bauhaus-Universität Weimar

Prof. Dr. Carl Thümecke

Groth & Co. Bauunternehmung GmbH

Zusammenfassung

Die Arbeit untersucht die Ursachen der Variation von Zeitwerten für Bauarbeiten. Am Beispiel lohnintensiver Pflasterarbeiten werden Einflüsse statistisch analysiert. Die dafür verwendeten empirischen Daten stammen aus einer Multimomentaufnahme und ermöglichen die Entwicklung einer Methode zu deren Quantifizierung. Gleichzeitig erfolgt die Ableitung einer Verfahrensweise zur Berechnung der zu erwartenden Vorgangsdauer. Im Vergleich zu den klassischen im Baubetrieb angewendeten Methoden ergeben sich realitätsnahe und unternehmensbezogene Zeitwerte, die zur Gestaltung und Optimierung von Prozessen nutzbar sind.

Dank

Mein Dank gilt all denen, die mich im Laufe der Erstellung dieser Forschungsarbeit sowohl fachlich und arbeitstechnisch als auch emotional unermüdlich unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt meinem Betreuer, Prof. Dr. agr. habil. Michael Hembus, der mir jederzeit in fachlichen Gesprächen und Diskussionen richtungweisend zur Seite stand und mir die Erstellung dieser Arbeit durch die Tätigkeit an seiner Professur erst ermöglichte.

Des Weiteren gilt mein Dank den an der Untersuchung beteiligten Unternehmen und ihren Mitarbeitern, durch die die Erhebung der für die Analyse notwendigen Daten erst durchführbar wurde.

Mein Dank gilt ferner allen Mitarbeitern der Professur für Baubetriebswirtschaft, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit auch mit zum Teil sehr persönlichem Einsatz unterstützt haben und gleichzeitig für eine immer freundliche Atmosphäre in unserer Arbeitsgruppe Sorge getragen haben.

Vor allem aber danke ich meinen lieben Eltern, ohne deren Ausdauer und unterstützende Zuversicht ich dieses Ziel nie erreicht hätte.

Rostock im November 2007

Inhalt

1	Einleitung	1
1.1	Motivation und Problemstellung	1
1.2	Einordnung des Forschungsthemas	4
1.3	Ziel der Arbeit und methodischer Ansatz	7
2	Grundlagen	9
2.1	Grunddaten für Arbeitsprozesse im Bauunternehmen	9
2.1.1	Zeitdaten und deren Besonderheit in der Bauproduktion	9
2.1.2	Zeitaufwands- und Leistungswerte	10
2.1.3	Zeitdaten	10
2.2	Arbeitszeitgliederung	13
2.2.1	Arbeitszeitgliederung nach REFA	13
2.2.2	Zeitartenanteile auf Baustellen	19
2.2.3	Arbeitszeitgliederung am Beispiel Pflasterarbeiten	19
2.3	Zeitaufwandsertermittlung	20
2.3.1	Arbeitsstudium	20
2.3.2	Bewertung der verschiedenen ermittelten Zeitwerte	25
3	Theoretischer Lösungsansatz	29
3.1	Die DIN ISO 9245 für maschinengeprägte Arbeiten	29
3.2	Die Einflüsse maschinen- und lohnintensiver Arbeiten	30
3.3	Methode der Grundzeitwert-Ermittlung	32
3.4	Einflüsse auf Zeitwerte lohnintensiver Arbeiten	36
3.4.1	Gliederung der Einflüsse am Beispiel Pflasterarbeiten	36
3.4.2	Einflussgrößen lohnintensiver Arbeiten am Beispiel Pflasterarbeiten	38
3.4.3	Konstante Einflussgrößen am Beispiel Pflasterarbeiten	40
3.4.4	Variable Einflussgrößen am Beispiel Pflasterarbeiten	45
3.5	Theoretische Quantifizierung der Einflüsse	53

3.5.1	Theoretische Wirkung der Einflussgrößen	53
3.5.2	Quantifizierung der Einflussgrößen auf Basis der theoretischen Vorbetrachtung	59
3.5.3	Zusammenfassung	71
4	Analyse zur Quantifizierung der Einflüsse	73
4.1	Mathematische Grundlagen	73
4.1.1	Datenanalyse und Data Mining.....	73
4.1.2	Multivariate statistische Datenanalyse.....	73
4.1.3	Voraussetzung der Anwendung statistischer Methoden	77
4.2	Vorbetrachtung der Ausgangsdaten	78
4.2.1	Grunddaten.....	78
4.2.2	Güte der Daten und statistische Kenngrößen.....	80
4.2.3	Arbeitszeitgliederung auf den Untersuchungsbaustellen	85
4.2.4	Linearität.....	87
4.2.5	Datenanalyse.....	89
4.3	Prüfung der Signifikanz der Einflussgrößen	90
4.3.1	Die Wirkung der konstanten Einflussgrößen auf den Grundzeitwert (GZW).....	90
4.3.2	Prüfung der Wirkung der variablen Einflüsse auf die Anteile der Verteilzeit (h_v) und der Erholzeit (h_{er}).....	95
4.3.3	Einschätzung der Güte der Varianzanalyse.....	99
4.3.4	Schlussfolgerungen	100
4.4	Quantifizierung der Einflussgrößen für lohnintensive Arbeiten	101
4.4.1	Quantifizierung der Zuschlagswerte TP(stufe).....	102
4.4.2	Quantifizierung des Zuschlagsfaktors k_E	108
4.4.3	Quantifizierung des Zuschlagsfaktors k_{er}	113
4.4.4	Fehlerbetrachtung.....	115
5	Anwendung und Diskussion der Ergebnisse	119
5.1	Ermittlung des Soll-Zeitwertes durch die quantifizierten Einflüsse ...	119

5.1.1	Verfahrensweise zur Bestimmung eines Soll-Zeitwertes mittels der quantifizierten Einflüsse.....	119
5.1.2	Vergleich berechneter Soll-Zeitwerte.....	121
5.2	Beurteilung der quantifizierten Einflüsse	127
5.3	Beurteilung der Übertragbarkeit der Methode.....	130
5.4	Vergleich des Nutzleistungsfaktors (f_E) und des berechneten Zuschlagsfaktors (k_E)	133
5.4.1	Gegenüberstellung der Faktoren f_E und k_E	133
5.4.2	Prüfung des Nutzleistungsfaktors (f_E)	135
5.5	Einschätzung der Wirtschaftlichkeit der entwickelten Methode.....	138
6	Schlussbetrachtung und Ausblick	141

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Verwendung von Zeitdaten im Unternehmen [11 S.855].....	2
Abb. 2 Zuschlagserfolg befragter Unternehmen in Mecklenburg-Vorpommern in Abhängigkeit der Aktualisierung und Verwendung ihrer Zeitwerte [44].....	3
Abb. 3 Besonderheiten des Produktionsprozesses im Bauwesen [47].....	9
Abb. 4 Zeitdaten im Bauunternehmen in Anlehnung an REFA [94, 122].....	11
Abb. 5 Ablaufabschnitte nach REFA	13
Abb. 6 Gliederung der Zeit je Einheit t_e (Soll-Zeit) des Menschen nach REFA [120]....	14
Abb. 7 Unterschied zwischen Grundzeit- (GZW) und Nachkalkulationswert (NKW).....	18
Abb. 8 Gliederung der berichteten Arbeitsstunden für den Menschen [70 S.122]	20
Abb. 9 Pflasteraufbau (schematisch, unmaßstäblich).....	20
Abb. 10 Möglichkeiten der Gewinnung von Zeitdaten [41 S.170]	22
Abb. 11 Methodeneinsatz in Anlehnung an Binner [11 S.861]	22
Abb. 12 Gegenüberstellung der Vorgehensweise der mathematischen Statistik und der Durchführung und Verwendung einer Zeitaufnahme [10 S.16]	25
Abb. 13 Allgemeiner Untersuchungsablauf zur Quantifizierung der Einflüsse auf Zeitwerte	32
Abb. 14 Ermittlung des GZW(a) der jeweilig ausgeführten Pflasterarbeit.....	34
Abb. 15 Gliederung der Einflussgrößen (in Anlehnung an REFA [70] und DIN ISO 9245 [55]).....	37
Abb. 16 Einflussgrößen auf Pflasterarbeiten (in Anlehnung an REFA [70] und DIN ISO 9245 [55]).....	39
Abb. 17 Pflaster im System der Oberflächenbefestigungen	42
Abb. 18 Leistungsvermögen in Abhängigkeit der Tageszeit und der Arbeitszeitdauer [84 S.15]	46
Abb. 19 Ableitung und Zusammensetzung des SZW	54
Abb. 20 Darstellung des Nutzleistungsfaktors f_E	63
Abb. 21 Übersicht der Ermittlung eines Soll-Zeitwertes (SZW) am Beispiel Pflasterarbeiten.....	72
Abb. 22 Grafische Darstellung der Verteilung des Anteils h_v und h_{er} der gesamten Beobachtungstage Iohnintensiver Arbeiten	85

Abbildungsverzeichnis

Abb. 23 Analyseverlauf zur Quantifizierung der Einflussgrößen	90
Abb. 24 Regressionsgerade Modell 1 der \overline{zw}_g (stufe) Betonpflaster entsprechend der TP(stufe)	104
Abb. 25 Darstellung der unterschiedlich ermittelten Regressionsgeraden.....	107
Abb. 26 Darstellung des Korrekturfaktors k_E (stufe) entsprechend der BB und BUB (Modell 1)	110
Abb. 27 Darstellung der verschieden ermittelten Werte k_E (stufe) und deren Regressionsgeraden	112
Abb. 28 Schematische Darstellung der Fehlergrenzen von Zeitwerten in Abhängigkeit des Ermittlungsaufwandes [109].....	116
Abb. 29 Allgemeine Ablaufschritte zur Berechnung eines SZW	120
Abb. 30 Allgemeines Ablaufschema der Methode zur Quantifizierung von Einflussgrößen lohnintensiver Arbeiten	131
Abb. 31 Gegenüberstellung des f_E und k_E Faktors.....	134

Tabellenverzeichnis

Tab. 1 Einflüsse auf lohnintensive Pflasterarbeiten und deren Ursache.....	31
Tab. 2 Kolonnenstärke	41
Tab. 3 Kriterien zur Beschreibung der ausgeführten Vorgänge.....	42
Tab. 4 Pflasterarten	43
Tab. 5 Bauweisen.....	43
Tab. 6 Verband.....	44
Tab. 7 Mechanisierungsgrad (MGrad).....	44
Tab. 8 Schwierigkeitsgrad Flächenzuschnitt (Hau- und Schnittkantenverhältnis).....	45
Tab. 9 Arbeitszeitgruppierung.....	46
Tab. 10 Verbale Bewertungskriterien der Baustellenorganisation und -einrichtung.....	50
Tab. 11 Wettergruppen nach meteorologischen Jahreszeiten.....	52
Tab. 12 Behinderungsgrad (BGrad)	53
Tab. 13 Einflussgrößen auf den GZW und deren theoretische Wirkung.....	56
Tab. 14 Theoretische Einflussgrößen auf den Zuschlagsfaktor k_E und deren Wirkung.....	57
Tab. 15 Theoretische Einflussgrößen auf k_{er} und deren Wirkung	58
Tab. 16 Kombinationsmöglichkeiten der „technischen“ Parameter.....	61
Tab. 17 Beispielberechnung des \bar{z}_{w_g} (sehr einfach) nach Tab. 16	63
Tab. 18 Definition des $TP(stufe)_{min}$ und $TP(stufe)_{max}$	65
Tab. 19 Kombinationen der die Anteile h_v bzw. h_{er} beeinflussenden Betriebs- und Umfeldbedingungen	66
Tab. 20 Zuordnung der BB(sehr gut) und BUB.....	67
Tab. 21 Beispielberechnung des \bar{h}_v (sehr gut, sehr gut)	69
Tab. 22 Definition der Korrekturfaktoren k_{Emin} und k_{Emax}	70
Tab. 23 Ergebnisse des Ausreißertest nach Grubbs	80
Tab. 24 Ergebnisse der Prüfung der statistischen Sicherheit der h_{er} (MG0).....	82
Tab. 25 Ergebnisse der Prüfung der statistischen Sicherheit der h_g (MG0).....	83
Tab. 26 Ergebnisse der Prüfung der statistischen Sicherheit der h_v (MG0).....	83

Tabellenverzeichnis

Tab. 27 Test auf Normalverteilung der Anteile (h_v und h_{er}) lohnintensiver Arbeiten.....	84
Tab. 28 Zeitarten- und Ablaufartenanteile an der Gesamtarbeitszeit (MG0)	86
Tab. 29 Prüfung des Regressionskoeffizienten der GZW(Betonpflaster) entsprechend der „technischen“ Parameterstufen	88
Tab. 30 Modellzusammenfassung Prüfung des Regressionskoeffizienten GZW(Betonpflaster)	88
Tab. 31 Prüfung des Regressionskoeffizienten des Anteils h_v (MG0) entsprechend der BB und BUB	88
Tab. 32 Modellzusammenfassung Prüfung des Regressionskoeffizienten h_v (MG0)....	89
Tab. 33 Ergebnisse der mehrfaktoriellen Varianzanalyse des GZW.....	92
Tab. 34 Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse der variablen Einflüsse auf h_v nach Tab. 14	95
Tab. 35 Beschreibung der Eigenschaften der Beispielbaustellen	96
Tab. 36 Zuordnung der Baustellenbedingungen entsprechend Tab. 10	97
Tab. 37 Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse der variablen Einflüsse auf h_{er} nach Tab. 15	98
Tab. 38 Berechnung der TP(stufe) für Betonpflaster mittels einfacher linearer Regression (Modell 1)	105
Tab. 39 Zuschlagswerte TP(stufe) [h/m^2] für Betonpflaster und -platten entsprechend der „technischen“ Parameter	108
Tab. 40 Berechnete k_E mittels einfacher linearer Regression entsprechend Formel 15 und Formel 30	110
Tab. 41 Zuschlagsfaktor k_E entsprechend der zu erwartenden BB und BUB.....	113
Tab. 42 statistische Sicherheit der Anteile h_{er}	114
Tab. 43 Statistische Sicherheit des Grundzeitanteils (h_g)	116
Tab. 44 Statistische Sicherheit der Mittelwerte des GZW je Pflasterart ($\overline{GZW(a)}$) [h/m^2] mittels Standardabweichung σ sowie Variationszahlverfahren nach REFA [70].....	117
Tab. 45 Beispiele für ISZW und deren Vergleich mit SZW anderer Ermittlungsmethoden	124
Tab. 46 Abweichungen des ESZW von den Zeitwerten anderer Ermittlungsmethoden (vgl. Tab. 45)	125

Tab. 47 Nutzleistungsfaktoren und Korrekturfaktoren für den Vergleich (sehr gute BB) in Tab. 48	136
Tab. 48 Vergleich der verschieden ermittelten Zeitwerte der Verlegemaschine (Hydromak Vario 2000) für sehr gute Baustellenbedingungen.....	137

Formelverzeichnis

Formel 1 Berechnung des Zeitaufwands- bzw. Leistungswertes.....	10
Formel 2 Zusammensetzung der Grundzeit je Einheit nach REFA [120]	15
Formel 3 Zusammensetzung der Verteilzeit je Einheit nach REFA [120]	15
Formel 4 Zusammensetzung der Erholzeit je Einheit nach REFA [120]	15
Formel 5 Beobachtungsdauer ($t(a,tag)$) und deren Zusammensetzung	17
Formel 6 Berechnung der Nutzleistung (Q_A) für Baumaschinen [22].....	29
Formel 7 Berechnung des täglichen Grundzeitwertes ($zw_g(a,tag)$) für eine Pflasterart.....	35
Formel 8 Berechnung des durchschnittlichen Grundzeitwertes ($GZW(a)$).....	35
Formel 9 Zusammensetzung des Soll-Zeitwertes (SZW)	55
Formel 10 Berechnung der $\overline{zw_g}(K)$ entsprechend des jeweiligen Feldes „technische“ Parameter.....	62
Formel 11 Berechnung der $\overline{zw_g}(\text{stufe})$ entsprechend der „technischen“ Parameter Stufe.....	62
Formel 12 Regressionsmodell zur Berechnung der $TP(\text{stufe})$ und des $BGZW(a)$	64
Formel 13 Zusammensetzung des $\overline{zw_g}(\text{stufe})$ entsprechend der „technischen“ Parameterstufe	64
Formel 14 Berechnung der Anteile Mittelwerte $\overline{h_v}(K)$ entsprechend der BB und BUB (vgl. Tab. 20).....	68
Formel 15 Berechnung der Anteile Mittelwerte $\overline{h_v}(\text{stufe})$ entsprechend der BB und BUB (vgl. Tab. 20).....	69
Formel 16 Berechnung des k_{er}	70
Formel 17 Berechnung des SZW	71
Formel 18 Modell der einfaktoriellen Varianzanalyse (allgemein).....	75
Formel 19 Regressionsansatz.....	76
Formel 20 Zielfunktion der multivariaten Regression.....	77
Formel 21 Berechnung der Prüfgröße PG_{Grubbs}	79
Formel 22 Berechnung des absoluten Fehlers (absolutes Abweichungsmaß).....	81
Formel 23 Berechnung des relativen Fehlers [117] (relatives Abweichungsmaß)	81

Formelverzeichnis

Formel 24 Allgemeine Berechnung der erforderlichen Beobachtungsanzahl	81
Formel 25 Zusammensetzung des Anteils h_v je Beobachtungstag und Pflasterart.....	102
Formel 26 Zusammensetzung des Anteils h_{er} je Beobachtungstag und Pflasterart....	102
Formel 27 Regressionsgleichung Modell 1 der \overline{zw}_g (stufe) (einfach lineare Regression).....	104
Formel 28 Regressionsgleichung Modell 2 (multiple Regression ungruppiert Einflüsse) der $zw_g(a,tag)$ für Betonpflaster	106
Formel 29 Regressionsgleichung Modell 3 (multiple Regression gruppiert Einflüsse) der \overline{zw}_g (stufe) für Betonpflaster	106
Formel 30 Berechnung des Zuschlagsfaktors k_E (stufe) (einfach lineare Regression) (Modell 1)	109
Formel 31 Regressionsgleichung Modell 2 der h_v (stufe) (multivariate Regression ungruppiert Einflüsse)	111
Formel 32 Regressionsgleichung Modell 3 der k_E (stufe) (gruppierte Einflüsse nach BB und BUB).....	112
Formel 33 Normalisierung der Zuschlagsfaktoren k_E und k_{er}	123
Formel 34 Umrechnung des Nutzleistungsfaktors (f_E) für Baumaschinen	134

Abkürzungsverzeichnis

a	Pflasterart
A _{tag}	Menge der Pflasterarten, die am Tag verlegt wurden
AZ	Arbeitszeit [Zeit]
BAS	Bauarbeitenschlüssel
BB	Baustellenbedingungen
BetrB	Betriebsbedingungen (DIN ISO 9245)
Bgrad	Behinderungsgrad
BGZW	Basis-Grundzeitwert [Zeit/Einheit]
BUB	Betriebs- und Umfeldbedingungen
EGZW	erwarteter Grundzeitwert [Zeit/Einheit]
er	Erholzeit-Index
ESZW	erwarteter Soll-Zeitwert [Zeit/Einheit]
f _E	Nutzleistungsfaktor (DIN ISO 9245 ISO 9245)
f _{E(R)}	Nutzleistungsfaktorwert entsprechend der Regressionsgerade der Werte f _E
f _{ist}	absoluter Fehler ist
f _{soll}	absoluter Fehler soll
g	Grundzeit-Index
GZW	Grundzeitwert [Zeit/Einheit]
GZW(a)	Grundzeitwert je Pflasterart [Zeit/Einheit]
h _{er}	Erholzeitanteil (Anteile persönlich bedingte Unterberechnung und Erholung)
h _g	Grundzeitanteil
h _v	Verteilzeitanteil (beinhaltet nur die sachliche Verteilzeit)
h _x	relative Häufigkeit der Beobachtungen entsprechend Zeit- oder Ablaufart
H _x	absolute Häufigkeit der Beobachtungen entsprechend Zeit- oder Ablaufart
ibz	Instituts für Zeitwirtschaft und Betriebsberatung Bau
IfaA	Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e.V.
IGZW	Ist-Grundzeitwert [Zeit/Einheit]
ISZW	Ist-Soll-Zeitwert [Zeit/Einheit]
k _E	Korrekturfaktor Verteilzeitanteil
k _{E(stufe)}	Korrekturfaktor Verteilzeitanteil je Parameterstufe
k _{er}	Korrekturfaktor Erholzeitanteil
KMU	Klein- und Mittelständische Unternehmen

Abkürzungsverzeichnis

MA	ablaufbedingtes Warten (Mensch)
ME	Erholungsbedingte Unterbrechungen (Mensch)
MGrad	Mechanisierungsgrad
MG0	Handverlegung (Mechanisierungsgrad 0)
MG1	Mechanisierung 100% - Maschinen geprägte Arbeit
MH	Haupttätigkeit (Mensch)
MN	Nebentätigkeit (Mensch)
MP	persönlich bedingte Unterbrechungen (Mensch)
MS	störungsbedingte Unterbrechungen (Mensch)
MZ	Zusätzliche Tätigkeit
MZW	Musterzeitwert
n	Gesamtbeobachtungszahl
NKW	Nachkalkulationswert [Zeit/Einheit]
PATTERN	Planning Assistance Through Technical Evaluating of Relevant Numbers
PG _{Grubbs}	Prüfgröße nach Grubbs
Q(a,tag)	aufgemessene Leistung [Einheit]
Q _A	Nutzleistung der Baumaschine (A=applicable) [Zeit/Einheit]
Q _B	Grundleistung der Baumaschine (B=basic) [Einheiten/Zeit]]
RTV LL	Rahmentarifvertrag Leistungslohn
RZW	Richtzeitwert
σ	Standardabweichung
SGrad	Schwierigkeitsgrad
SZW	Soll-Zeitwert [Zeit/Einheit]
T	Menge der Beobachtungstage
tag	Beobachtungstag
t _e	Zeit pro Mengeneinheit nach REFA [Zeit/Einheit]
t _{er}	Erholzeit nach REFA (enthält nur die Beobachtungen für ME) [Zeit/Einheit]
t _g	Grundzeit je Mengeneinheit [Zeit/Einheit]
TP	technische Parameter
TP(stufe)	Zuschlagswert der Technischen Parameterstufe
t _r	Rüstzeit
v	Verteilzeit-Index
z _g	Zeitartenanteil der Grundzeit an der Gesamtarbeitszeit AZ [Zeit]
zw _g	täglicher Grundzeitwert [Zeit/Einheit]
ε	relativer Fehler

1 Einleitung

1.1 Motivation und Problemstellung

Nach der Wiedervereinigung 1990 entwickelte sich in Deutschland ein Investitionsboom, der sich in der Bauwirtschaft vor allem mit einer Erweiterung der Kapazitäten deutlich machte. Als sich Mitte der 1990er Jahre das allgemeine Wirtschaftsklima in Deutschland und Europa veränderte und sich darüber hinaus auch in Ebenen der Politik Reformbedarf ankündigte, zeichnete sich parallel mit der Sättigung des Investitionsbedarfs in den neuen Bundesländern eine zunehmende Konjunkturflaute ab. Im Wesentlichen ist diese für die Bauwirtschaft, trotz des Expansionskurses im Wirtschaftsbau¹, noch immer anhaltend [7]. Gesamtdeutsch hat sich zudem der Konkurrenzdruck, ungeachtet des Anstiegs an Bauinvestitionen im Jahr 2006² und im ersten Quartal des Jahres 2007, verstärkt [111], denn inzwischen leiden auch die Baubetriebe in den Altbundesländern unter der zunehmenden finanziellen Schwächung der öffentlichen Hand. Einen Ausgleich können dabei auch nicht mehr die Aufträge privater Auftraggeber leisten (vgl. [58 S.23ff]).

Daneben tragen sowohl die allgemein schlechte Eigenkapitalausstattung der Bauunternehmen selbst als auch die neuen Anforderungen bei der Finanzierung von Unternehmen und Projekten durch Basel II³ nicht nachhaltig zu einer verbesserten wirtschaftlichen Lage bei [73]. Zusätzlich ist der alle produzierenden Gewerbe treffende Konkurrenzkampf in der globalisierten Wirtschaft nicht zu unterschätzen. Dem Vorteil der stationären Industrie, diesem durch Verlagerung hoher Produktionskosten in Billiglohnländer auszuweichen, kann die Bauwirtschaft in Deutschland nur die Ausschöpfung aller ihr sich bietenden Rationalisierungsmaßnahmen entgegensetzen. Dies ist, neben notwendigen langfristigen wirtschaftlich richtigen Entscheidungen der Führungsebene, nur auf Basis optimierter Produktionsabläufe und technisch ausgereifter konstruktiver Sonderlösungen möglich. Diese beruhen auf der genauen Kenntnis sowohl der Prozessabläufe und -strukturen als auch der aufgewendeten Kapazitäten.

Durch die beschriebene Situation werden die Bauunternehmen daher gezwungen, die für sie besten Möglichkeiten einer rentablen Bauauftragsgewinnung und -abwicklung zu finden und zu nutzen, d.h. ihre Kapazitäten anzupassen und die Kosten neu zu dimensionieren. Basis dafür bieten, neben einem fähigen Management, vor allem optimierte

¹ Der Auftragseingang lag im ersten Halbjahr 2007 um 16,3% über dem Vorjahreszeitraum und im ersten Quartal 2007 war ein Plus der Bauinvestitionen gegenüber dem Vorjahr von 3,5% zu verzeichnen.[7]

² 4% Zuwachs im Wohnungsbau, 5,8% im Wirtschaftsbau und 0,8% im öffentlichen Bau.[20]

³ Gesamtheit der Eigenkapitalvorschriften vom Baseler Ausschuss für Bankenaufsicht gemäß der EU-Richtlinie 2006/49/EG.

Einleitung

Produktionsabläufe, die auf realistischen und firmenspezifischen Zeitdaten⁴ beruhen. Diese liefern, neben einer monetären Bewertung als Verfahrenskosten, auch die Grundlage für Planverbrauchswerte und Plankosten der einzelnen Bauarbeiten und zeigen dadurch Kostengrenzen für die Steuerung der Produktionsprozesse auf [49].

Zeitdaten werden unterschiedlich im Unternehmen verwendet (vgl. Abb. 1). Auf Zeitdaten basieren etwa 2/3 der Herstellkosten eines Bauauftrages. Dieser Anteil verdeutlicht die Wichtigkeit der Zeitdaten als Führungsgröße zur Gestaltung und Optimierung von Prozessen [11, 82, 96].



Abb. 1 Verwendung von Zeitdaten im Unternehmen [11 S.855]

Ein Bewusstsein für die Notwendigkeit der Zeitdatenermittlung, -haltung und -pflege in den Unternehmen beweist eine 2004 durchgeführte schriftliche Befragung klein- und mittelständischer Bauunternehmen in Mecklenburg-Vorpommern. Darin wiesen ca. 70% der befragten Unternehmen den firmenspezifischen Zeitaufwandswerten eine besondere Bedeutung als Basis einer fundierten Kalkulation zu [44]. Realitätsnahe und firmenspezifische Zeitdaten sind als Voraussetzung für eine gesicherte Kostenkalkulation und Planung unumgänglich. Bei einem durchschnittlichen Anteil der nicht fremdbestimmten und damit verfahrenstechnisch sowie organisatorisch beeinflussbaren Lohnkosten von 30-50% an den Gesamtkosten eines Bauprojektes [96, 137] sind die Kenntnis und Verwendung genauer Zeitdaten darum ein entscheidender Aspekt.

Wenn zudem berücksichtigt wird, dass Unternehmen ca. 1-2% ihrer Gesamtkosten für die Angebotsbearbeitung aufwenden⁵, ist ein 41%iger Anteil am Gesamtrisiko für das Unternehmen [59] aufgrund schlechter Kalkulationen, die vielfach auf ungenauen

⁴ Als Zeitdaten werden in dieser Arbeit Zeitwerte für die Ausführung von Bauarbeiten verstanden (Zeitaufwandswerte). Vgl. dazu auch 2.1.3.

⁵ Befragung des BM für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen zum Thema „Vergabeverfahren im Bauwesen“ 1999 in Weeber [126].

Stammdaten beruhen⁶ (zu denen auch die Zeitdaten gehören), als zu hoch zu bewerten.

Die genaue Kenntnis des Zeitverbrauchs für häufig ausgeführte Arbeiten mindert das Risiko und ist die Voraussetzung für fundierte Entscheidungen sowohl über den endgültigen Angebotspreis als auch für Kapazitäts- und Planungsfragen.

Üblicherweise erfolgt die verfeinerte Kalkulation erst nach der Angebotskalkulation und Zuschlagserteilung im Rahmen der Arbeitskalkulation und der Bauablaufplanung. Jacob [59] konstatiert jedoch, dass „es dann bereits zu spät ist. Ein vertraglich fixierter Preis kann später durch „Claim-Management“ heutzutage nicht mehr gerade gerückt werden. Die verfeinerte Kalkulation mit Bauablaufplan und Auswahl des Bauverfahrens muss deshalb bereits in der Phase der Angebotskalkulation einsetzen.“[59 S.17] Er unterstreicht damit die Bedeutung aktueller und firmenspezifischer Zeitdaten als Voraussetzung für die Kostenkalkulation.

Eine 2004 durchgeführte Befragung bewies zudem⁷, dass die Zuschlagswahrscheinlichkeit in der Regel höher ist, wenn regelmäßig Zeitdaten ermittelt, aktualisiert und für die Angebotskalkulation verwendet werden (Abb. 2) [44].

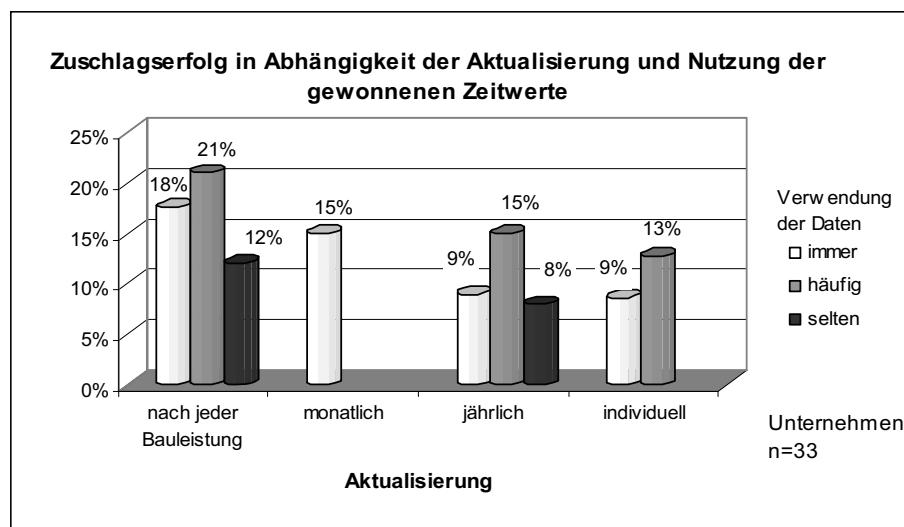


Abb. 2 Zuschlagserfolg befragter Unternehmen in Mecklenburg-Vorpommern in Abhängigkeit der Aktualisierung und Verwendung ihrer Zeitwerte [44]

Aktuelle firmenspezifische Zeitdaten grenzen die Risiken in der Auftragsumsetzung ein und bieten damit die Möglichkeit rechtzeitig mit den richtigen Mitteln zu agieren, statt im „Extremfall“ nur zu reagieren. Gleichzeitig spiegelt die Genauigkeit der Kalkulation den

⁶ Jacob, D. [59] S. 295 Jede unternehmerische Tätigkeit ist zwangsläufig mit Risiken verbunden, die jedoch kalkulierbar bleiben müssen. (...) Von den gesamten Risiken entfallen nach Untersuchungen eines großen Baukonzerns 63% auf die Vorvertragsphase (41% schlechte Kalkulation, 22% vertragliche Risiken), 30% auf die Bauausführung und 7% auf höhere Gewalt.

⁷ Umfrage der Professur Baubetriebswirtschaft der Universität Rostock 2004 in Bauunternehmen Mecklenburg-Vorpommerns, Ergebnisse in Haide [44].

Umgang eines Bauunternehmens mit Risiken wider und bildet damit einen wichtigen Entscheidungspunkt der Banken bei der Kreditvergabe⁸. Da im Rahmen der neuen Ratingverfahren bei KMU Eigenkapitalhaftung und Finanzkennzahlen den eingeräumten Kreditrahmen und die Zinskonditionen noch mehr als bisher bestimmen, haben Risiken erhebliche Auswirkung auf die Finanzierung eines Unternehmens [37]. Das bedeutet, dass die exakte Kostenkenntnis, gestützt durch firmenspezifische Zeitdaten, ebenfalls zur Erhöhung der eigenen Kreditwürdigkeit beiträgt.

Da jedoch die einzelnen Bauarbeiten hinsichtlich ihrer konstruktiven und technischen Ausführung von Auftrag zu Auftrag variieren und die dazugehörenden Zeitdaten zusätzlich durch externe und interne Einflüsse geprägt sind, wird oft der Aufwand für die Schaffung einer stets aktuellen und hinreichend genauen Datenbasis gescheut [96]. Es soll daher im Rahmen dieser Untersuchung eine einfach anwendbare Methode als Instrument entwickelt werden, welches die Ermittlung gesicherter firmenspezifischer Zeitdaten auszuführender Bauarbeiten unter verschiedenen zu erwartenden Bedingungen und Einflüssen ermöglicht.

Ein erfolgreiches Unternehmen ist auf Dauer nur konkurrenzfähig, wenn es sowohl durch ein wirtschaftlich denkendes Management als auch durch die genaue Kenntnis über seinen eigenen komparativen Konkurrenzvorteil und die damit verbundenen Prozessdaten agiert. Basis dafür ist die detaillierte Kostenkenntnis, die auf gesicherten Zeitwerten der unternehmensspezifischen Arbeitsmethode sowie deren Einflüsse und Randbedingungen beruht.

1.2 Einordnung des Forschungsthemas

Die Produktivität als Wertschöpfung in einer Zeiteinheit ist nach wie vor das zentrale Handlungsfeld [89]. Dies bestätigt auch die vom Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e.V. (IfaA) durchgeführte Expertenbefragung, welche als Schwerpunkte die unmittelbar damit verbundene Entgeltgestaltung, Arbeits- und Betriebszeitgestaltung, Arbeitsorganisation und Prozessoptimierung aufweist [104].

In den letzten Jahrzehnten wurden aufgrund der Bedeutung der Zeitdaten und deren Verwendung verschiedenste Untersuchungen durchgeführt. Um risikoarme von risiko-reichen Bauprojekten zu unterscheiden, sind vor allem die projektspezifischen Bedingungen und Einflüsse zu berücksichtigen. Dabei sind unterschiedliche Ansätze und Methoden im Versuch einer gesicherten Anpassung der Zeitdaten an die zu erwartenden Bedingungen des konkreten Bauprojektes entstanden.

Spranz [109] beschäftigte sich bereits in den 1970er Jahren mit Arbeitszeiten im Baubetrieb und untersuchte dabei vor allem die Genauigkeit verschiedener Zeitaufnah-

⁸ Siehe dazu auch in Bruckner „Basel II - Konsequenzen für das Kreditrisikomanagement [16] und Bruckner „Erfolgreiches Rating für Unternehmen“ [17].

metechniken. Der Problematik des unterschiedlichen Zeitbedarfs, trotz gleichem Arbeitsverfahren während der jeweiligen Ausführungen, wird aufgrund unterschiedlicher Einflüsse auf der jeweiligen Baustelle mit einer Kombination aus den Verfahren der mathematischen Statistik und den Methoden des Vergleichens und Schätzens begegnet, mit deren Hilfe „genügend genaue Vorgabezeiten abgeleitet werden“ [109 S.215].

In den 1980er Jahren wurden die Einflüsse auf Bauprozesse durch das an der Hochschule für Verkehrswesen Dresden entwickelte Simulationsmodell (SimTor) untersucht (vgl. [134], [88]). Das damit abgeleitete Korrekturbeiwertverfahren ermöglichte die Berechnung der Wirkungen der stochastischen Größen witterungsbedingter Ausfälle, Maschinenausfälle und Ausfälle infolge Arbeitszeitauslastung. Es gelangen Aussagen über die Dauer einer Prozessstufe insgesamt und über deren Auswirkungen auf den Endtermin einer Baumaßnahme.

Anfang der 1990er Jahre wurde in „Musterzeitwerte der Forschungsgesellschaft für Landschaftsentwicklung und Landschaftsbau“ [33] das Verfahren der PATTERN⁹ vorgestellt als ein Berechnungssystem, in dem baustellenrelevante Faktoren gewichtet und verrechnet werden. Die PATTERN ermöglicht die Ermittlung eines prozentualen Zuschlags auf den Zeitaufwandwert der auszuführenden Arbeit für eine konkrete Baustelle entsprechend der Wichtung der zu erwartenden Bedingungen.

Aktuelle Forschungsarbeiten konzentrieren sich vor allem auf die Simulation von Bauprozessen, deren Ziel es ist, entsprechend der komplexen Eigenschaften der Bauarbeit, anwenderfreundliche Simulationssysteme zur Lösung spezieller Aufgabenstellungen im Bereich der Baukostenermittlung und -ablaufplanung zu entwickeln. Es sollen der Bauprozess insgesamt, seine Abläufe, mögliche Störungen sowie die eventuell damit verbundenen Risiken im Vorfeld transparent gemacht werden. Beispielsweise visualisierte Blickling [12] mittels einer virtuellen Umgebung komplexe bauproduktionstechnische Vorgänge, die im Ergebnis eine der Eingabe des Anwenders entsprechende Kostenermittlung und Bauablaufplanung in Form eines interaktiven Computerspiels lieferte [12]. Ein Durchbruch für den praktischen Einsatz solcher Simulationssysteme ist bis dato noch nicht gelungen. Die Hauptschwierigkeit der Simulationsprogramme liegt in der Anwenderfreundlichkeit und den dafür notwendigen Grunddaten, auf denen die gewünschten Ergebnisse basieren [25].

Werner [129] hingegen entwickelte eine Methode zur rechnergestützten Monte-Carlo-Simulation des Bauablaufes für die Risikobewertung und –klassifizierung. Im Ergebnis seiner Untersuchung ist jedoch ein effizienter Einsatz des entwickelten Modells im Baugeschehen nur durch realistisch gewonnene Stammdaten gewährleistet, die eine

⁹ Planning Assistance Through Technical Evaluation of Relevance Numbers: in den USA entwickelte betriebswirtschaftliche Technik zur Entscheidungsfindung. Sie soll bei der Lösung komplexer Entscheidungsvorgänge zu größerer Rationalität führen.

verlässliche Ausgangsbasis für die Simulation bieten [129 S.84]. Das Basis-Know-how für die zeitwirtschaftliche Modellierung und Simulation (vgl. v. a. [121]) liefert dabei die REFA Methodenlehre [119, 123]. Die daraus abgeleitete Systematik der Ablauf- und Zeitarten, aus denen die Zeitwerte ermittelt werden, bildet das Grundgerüst für die Modellierung von Produktionsprozessen [139].

Eine Forschungsarbeit an der Universität Kassel untersucht die Möglichkeiten der Entwicklung eines CAD-basierten Simulationssystems zur Optimierung von Erdbauprozessen [21]. Durch die Kombination des zu entwickelnden Simulators mit CAD-Programmen erfolgt eine ausreichend genaue Nachbildung des Realsystems, um die wirtschaftlichste Alternative in der Realität umsetzen zu können. Gegenwärtig liegen dazu jedoch noch keine veröffentlichten Ergebnisse vor.¹⁰

Eine andere Entwicklungsrichtung sind die lernfähigen Systeme, die nach Aussagen Westkämpers [130] starre Algorithmen ablösen sollen. Das maschinelle Lernen zeichnet sich dadurch aus, dass die Verarbeitung der Daten auf der Grundlage iterativer Algorithmen erfolgt, deren Parameter sich schrittweise verändern, bis zum Erreichen eines optimalen Ergebnisses oder bis keine Lerndaten mehr vorhanden sind [99 S.66]. Künstliche neuronale Netze, als häufig angewandtes Prinzip im Bereich des maschinellen Lernens [99], sind beispielsweise in der Lage, anhand der Gewichte an den einzelnen Synapsen des Netzwerkes auf die besondere Bedeutung bestimmter Größen zu schließen, d.h. aus komplexen Strukturen Zusammenhänge abzuleiten. Aufgrund ihrer Lernfähigkeit sind fehlende Daten aus Fallbeispielen abstrahierbar. Das künstliche neuronale Netz kann mit den in der Wissensbasis hinterlegten Produkt- und Prozessmustern trainiert werden und so die Zusammenhänge zwischen den jeweiligen Merkmalen und der zugehörigen Fertigungs- bzw. Montagezeit lernen. Anschließend ist das Netz in der Lage, die Produkt- bzw. Prozessmerkmale einer neuen Variante als Muster zu interpretieren und den notwendigen Zeitbedarf mit hinreichender Genauigkeit zu prognostizieren [131].¹¹

Die vorliegende Forschungsarbeit ist in den Bereich der Zeitwirtschaft einzuordnen. Die entwickelte Methode trägt zur Vervollständigung der Stammdaten eines Unternehmens durch die Bildung realitätsnaher Zeitaufwandsdaten auszuführender Arbeiten bei. Über die Quantifizierung der wirkenden Einflüsse auf den Zeitaufwand wird außerdem ein Instrument zur Anpassung von Grundzeitwerten entsprechend der zu erwartenden Bedingungen zur Verfügung gestellt. Gleichzeitig können sowohl die betrieblichen Stammdaten als auch die quantifizierten Einflüsse, neben der Verwendung im Unter-

¹⁰ Quelle: [http://www.ibw-kassel.de/Institut für Bauwirtschaft \(Zugriff 10.09.2007\).](http://www.ibw-kassel.de/Institut für Bauwirtschaft (Zugriff 10.09.2007).)

¹¹ Siehe dazu auch die Ergebnisse des DFG geförderten Forschungsschwerpunktprogramms „Vernetzt-kooperative Planungsprozesse im Konstruktiven Ingenieurbau“[98].

nehmen, als Vergleichs- bzw. Ausgangsdaten für die Entwicklung und Erprobung von Simulationssystemen genutzt werden.

1.3 Ziel der Arbeit und methodischer Ansatz

Zeitdaten gehören als ein wichtiger Bestandteil der Stammdaten des Bauunternehmens zum baustellenrelevanten Informationssystem. Zeitdaten für eine speziell auszuführende Bauarbeit sind geprägt durch die dafür erforderlichen Teiltätigkeiten, die aufgrund der unterschiedlich auftretenden Einflüsse variieren. Das bedeutet, realitätsnahe Zeitdaten sind den tatsächlich zu erwartenden Einflüssen eines Bauauftrages anzupassen.

Eine Quantifizierung der Wirkung der Einflüsse besteht bereits für die Leistung von Baumaschinen und ist in Hoffmann [55] als Ergänzung der DIN ISO 9245 „Erdbaumaschinen, Leistung der Maschinen“ dargestellt. Darin ist für maschinenintensive Arbeiten die Nutzleistung (Q_A) als das Produkt aus einer definierten Grundleistung (Q_B) der Maschine und einem Nutzleistungsfaktor (f_E) [55] entsprechend der zu erwartenden Baustellen- und Betriebsbedingungen festgelegt.

Im Rahmen dieser Untersuchung werden daher analog der Ausführungen für maschinenintensive Arbeiten aus Hoffmann [55] die Einflüsse auf lohnintensive Arbeiten und deren Wirkung auf Zeitaufwandswerte untersucht mit dem Ziel, eine Methode abzuleiten, die eine Quantifizierung der Einflüsse zur Anpassung von Zeitwerten entsprechend der zu erwartenden Bedingungen ermöglicht.

Die verschiedenen Erfassungsmethoden der für die Untersuchung notwendigen Zeitdaten sind ausführlich in der Literatur beschrieben [14, 57, 76, 80, 109]. Hervorzuheben sind vor allem die von REFA [93] unter den Methoden der Datenermittlung im Arbeitsstudium zusammengefassten Verfahren, die auch die Grundlage dieser Untersuchung sind. Ein weiterer Ansatz ist die Gliederung der Arbeitszeit nach REFA, welche eine Zuordnung der Einflüsse entsprechend ihrer Wirkung auf die einzelnen Zeitartenanteile gestattet.

Die Umsetzung des Ziels der Quantifizierung der Einflüsse lohnintensiver Arbeiten erfolgte am Beispiel Pflasterarbeiten, da diese in Handverlegung typische von der Arbeitsperson geprägte Tätigkeiten darstellen. Zudem ist der Arbeitsablauf für einen externen Beobachter übersichtlich gestaltet, die Teiltätigkeiten sind gut erkennbar und daher leicht zuzuordnen. Die für die Analyse notwendigen Daten wurden über eine Multimoment-Studie erfasst, mit der Aussagen über die arbeitszeitliche Struktur des beobachteten Vorgangs ableitbar sind. Die Erfassung der verschiedenen für die Leistungserstellung genutzten Zeitanteile ermöglicht in Kombination mit der erstellten Leistungsmenge die Berechnung eines Grundzeitwertes (GZW), ähnlich der Grundleistung (Q_B), sowie die Ermittlung der nur mittelbar zur Leistungserstellung genutzten Zeit.

Einleitung

Die Variation der verschiedenen abgeleiteten Zeitwerte und Zeitanteile bildet die Basis der Quantifizierung der Einflüsse.

Die Arbeit gliedert sich in 6 Kapitel. Dem Einführungskapitel (1) folgen in Kapitel 2 die wichtigsten Grundlagen zum Thema Zeitdaten und eine Übersicht und Einschätzung der verschiedenen Ermittlungsmethoden. In Kapitel 3 werden die auf Zeitwerte wirkenden Einflüsse dargestellt und daraus ein theoretischer Lösungsansatz zu ihrer Quantifizierung abgeleitet. In Kapitel 4 werden die Theorie anhand der erhobenen Daten geprüft sowie die jeweiligen Zuschläge berechnet. Kapitel 5 setzt sich kritisch mit den Ergebnissen und deren Anwendbarkeit auseinander, wohingegen im letzten Kapitel 6 zusammenfassend und bewertend auf die Ergebnisse eingegangen und ein kurzer Ausblick für die weitere Entwicklung bzw. Anregungen für zukünftige Forschungsarbeiten gegeben wird.

2 Grundlagen

2.1 Grunddaten für Arbeitsprozesse im Bauunternehmen

2.1.1 Zeitdaten und deren Besonderheit in der Bauproduktion

Die Besonderheit des Produktionsprozesses im Baubetrieb ist, im Vergleich zu anderen Produktionszweigen, durch eine auf Einzelfertigung und Ortsgebundenheit beruhende dezentrale Produktion gekennzeichnet, die unmittelbar auf die Kundenbedürfnisse zugeschnitten und als eine Produktion auf Bestellung ausgerichtet ist [47].

Typische Besonderheiten im Vergleich zur stationären Industrie sind unterschiedliche Arbeitsabläufe von Baustelle zu Baustelle, auftretende Randarbeiten (z.B. Reinigungsarbeiten oder Sicherungen), ständiger Arbeitsortwechsel, Tätigkeit im Freien und damit Beeinflussung durch Witterung und externe Gegebenheiten, wechselnde Zusammensetzung der Belegschaft, zeitweise ungleichmäßige Beschäftigung sowie die starke Konjunkturabhängigkeit (vgl. Abb. 3). Des Weiteren sind in der stationären Industrie die Entwicklung, Planung, Konstruktion und Herstellung eines Produktes in der Regel in einer Hand konzentriert. Im Gegensatz dazu liegen Planung, Konstruktion und Ausführung von Bauvorhaben traditionsgemäß in mehreren Händen [5]. Somit sind Einflüsse und mögliche Störungen, die für das Bauunternehmen zusätzliche Risiken bedeuten, erheblich größer.

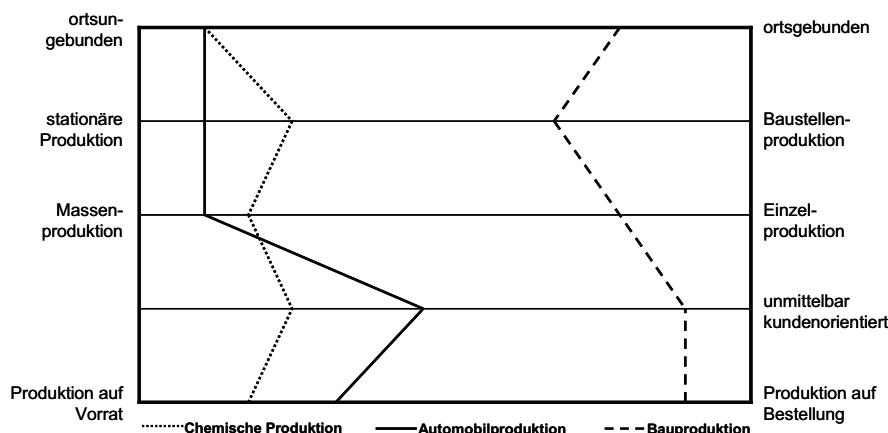


Abb. 3 Besonderheiten des Produktionsprozesses im Bauwesen [47]

Die Leistungs- und Zeitwerte im Baubetrieb sind eine Funktion der Bedingungen unter denen sie entstehen [86]. Die große Variabilität der Einflüsse von Baustelle zu Baustelle und von einem Bauabschnitt einer Baustelle zum anderen ergibt eine Variation der Zeitwerte für gleichartige Vorgänge. Diese für die Bauarbeit typisch breite Streuung wird, im Gegensatz zur stationären Fertigung, hauptsächlich durch technologische und organisatorische Unterschiede sowie externe Störgrößen verursacht, auf die der Bauarbeiter selbst keinen Einfluss nehmen kann [86].

Im Allgemeinen findet für den Baubetrieb der Wettbewerb vor der eigentlichen Produktion statt. Deshalb ist es notwendig, dass die verwendeten Zeitwerte für die Angebotskalkulation firmenspezifisch sind und gleichzeitig den zu erwartenden Bedingungen entsprechen. Die genaue Kenntnis der Zeit für auszuführende Vorgänge im eigenen Unternehmen sichert langfristig einen Wettbewerbsvorteil durch die Möglichkeit der Beeinflussung der Arbeitsproduktivität. Gleichzeitig ist dadurch das Risiko bei der Planung und der Kalkulation reduzierbar.

2.1.2 Zeitaufwands- und Leistungswerte

Als Grunddaten für Arbeitsprozesse werden im Bauunternehmen Zeitaufwandswerte für manuelle Arbeiten und Leistungswerte für maschinenintensive Arbeiten unterschieden. Leistungswerte haben als Bezugsgröße eine Zeiteinheit. Zur Messung der Leistung maschinenintensiver Arbeiten wird der Leistungswert angegeben. Da bei vorwiegend manueller Arbeit die in einer Zeiteinheit, d.h. beispielsweise in einer Stunde, hergestellte Fertigungsmaenge gering ist, wird aus praktischen Gründen der Begriff Aufwand als reziproker Wert der Leistung verwendet [110]. Zur Feststellung der verbrauchten Zeit je Mengeneinheit dient der Aufwandswert. In der baubetrieblichen Praxis wird unter Aufwandswert auch der zu kalkulierende „Lohnstundenaufwand“ verstanden. Der Zusammenhang zwischen Zeitaufwands- und Leistungswert ist in Formel 1 dargestellt.

Formel 1 Berechnung des Zeitaufwands- bzw. Leistungswertes

$$\text{Zeitaufwandwert} = \frac{\text{Zeit}}{\text{Einheit}} \text{ [Zeit/Einheit]} \quad \text{Leistungswert} = \text{Zeitaufwandwert}^{-1} \text{ [Einheit/Zeit]}$$

Nachfolgend werden in 2.1.3 die verschiedenen Zeitwerte definiert und für die weitere Betrachtung festgelegt.

2.1.3 Zeitdaten

Nach Olbrich [82] werden „Zeitdaten zur zeitlichen Bewertung von Tätigkeiten ermittelt, wobei sich Anforderungen an die Zeitdaten einerseits aufgrund des Unternehmensbereiches und der damit verbundenen Art der Arbeit, andererseits aber auch aufgrund der Verwendung ergeben“.[82 S.22]

Die REFA Methodenlehre [120] unterscheidet zwischen Ist-Zeiten ausgeführter Arbeitsabläufe und dem Ableiten von Soll- bzw. Vorgabezeiten zukünftiger Arbeiten. Die Ist-Zeit ist die vom Arbeiter und dem Betriebsmittel für die Ausführung bestimmter Arbeiten tatsächlich benötigte Zeit. Sie soll wahrheitsgetreu und so genau wie erforderlich erfasst sein.

Die Soll-Zeit ist der abgeleitete Wert aus einer zuvor bereits erfassten Ist-Zeit. Die Festlegung von Soll-Zeiten ist nur möglich, wenn die wesentlichen Einflussgrößen in ihren auf den Arbeitsauftrag bezogenen Ausprägungen bekannt sind. Sie werden aufgrund der erfassten Ist-Zeiten analysiert und sind über die Rückkopplung zu den Ist-

Daten in geeigneten Intervallen zu aktualisieren [112]. Abb. 4 gibt eine Übersicht der verschiedenen Zeitdaten im Baubetrieb.

Zeitdaten im Bauunternehmen		
Ist-Zeiten	Soll-Zeiten	
für die Ausführung einer Arbeit oder eines Arbeitsablaufabschnittes tatsächlich aufgewendete Zeit bezogen auf eine Mengeneinheit		
<p>Vorgabezeit</p> <p>Soll-Zeit für ausgeführte Arbeitsabläufe, enthalten Grund-, Verteil- und Erholzeiten</p>		<p>Planzeit</p> <p>Soll-Zeit bestimmter Arbeitsablaufabschnitte, deren Dauer mit Hilfe von Einflussgrößen beschrieben wird</p>
		<p>Richtwerte</p> <p>stark verdichtete Soll-Zeiten als Mittelwerte der Arbeitsablaufabschnitte mit definierten Arbeitsbedingungen; sind durch Zu- oder Abschläge an zu erwartende Bedingungen anzupassen</p>

Abb. 4 Zeitdaten im Bauunternehmen in Anlehnung an REFA [94, 122]

Wenn Soll-Zeiten neben dem wesentlichen Anteil für die planmäßige Erfüllung der Arbeitsaufgabe auch Anteile für nicht genau vorausbestimmbare Ablaufabschnitte enthalten, wird laut REFA von Vorgabezeit gesprochen. Um die Reproduzierbarkeit zu gewährleisten, wird großer Wert auf die Beschreibung des Systems, des Arbeitsverfahrens, der Arbeitsmethode und der Arbeitsbedingungen sowie die Erfassung der Bezugsmengen und deren Einflüsse gelegt.[11, 70 S.12] Vorgabezeiten sollen, wenn sie für leistungsabhängige Entlohnung genutzt werden, nach dem Rahmentarifvertrag für Leistungslohn im Baugewerbe §3 Nr. 1 RTV LL [103] auf betrieblicher Ebene grundsätzlich methodisch ermittelt werden. Die Vorgabezeit ist unabhängig der Auftragsgröße. Bezieht sich die Vorgabezeit auf die Auftragsgröße, lässt sich durch Multiplikation mit der auszuführenden Menge die Ausführungszeit berechnen. Werden die Rüstzeiten für Vor- und Nacharbeiten in die Ausführungszeit mit eingerechnet, ergibt sich die auftragsabhängige Ausführungszeit, die auch als Auftragszeit bezeichnet wird.

Zusammenfassend lassen sich die unterschiedlichen Zeitdaten definieren als

- Ist-Zeiten sind die für die Ausführung einer Arbeit tatsächlich aufgewendeten Zeiten bezogen auf eine Mengeneinheit.
- Soll-Zeiten sind Zeiten, die aus erfassten Ist-Zeiten nach vorgegebenen Regeln abgeleitet werden. Sie beziehen sich ebenfalls auf eine Mengeneinheit.
- Vorgabezeiten sind Soll-Zeiten für ausgeführte Arbeitsabläufe mit dem Bezug auf eine Mengeneinheit. Die Vorgabezeit für das Ausführen eines (internen) Auftrages durch den Menschen ist die Auftragszeit. Sie unterteilt sich in die Vorgabezeit zur Vor- und Nachbereitung des Arbeitssystems innerhalb eines Auftrages (Rüstzeit) und die Vorgabezeit für die Ausführung eines Ablaufes durch den Menschen, wobei sich

diese auf die Auftragsgröße bezieht (Ausführungszeit). Beide Vorgabezeiten werden jeweils in Grund-, Verteil- und Erholzeiten unterteilt.

Die Abhängigkeit der Soll-Zeiten von Einflussgrößen ermöglicht die Bestimmung von Zeiten für nicht real existierende Ablaufabschnitte. Aus Wirtschaftlichkeitsgründen ist es zweckmäßig und gleichzeitig erforderlich, mit Hilfe ermittelter Zeitdaten, die zu Soll-Zeiten mit Einflussgrößen aufbereitet wurden, für ein breites Spektrum ähnlicher Ablaufabschnitte Zeiten zu ermitteln [82]. Es werden nachfolgende Soll-Zeiten unterschieden:

- Planzeiten sind Soll-Zeiten für bestimmte Ablaufabschnitte, deren Ablauf oder Dauer mithilfe von Einflussgrößen beschrieben werden. Andere Bezeichnungen sind Zeitnormen oder Zeitnormative.[120]
- Arbeitszeit-Richtwerte sind eine besondere Form der Vorgabezeiten und - ähnlich wie die Planzeiten - durch sie prägenden Einflüsse beschrieben. Sie wurden von den Tarifvertragsparteien gemeinsam als Grundlage für die Ermittlung und Bildung betrieblicher Vorgabewerte im Leistungslohn erarbeitet. Arbeitszeit-Richtwerte sind methodisch durch Ablaufuntersuchungen und Zeitmessungen auf Baustellen im gesamten Bundesgebiet ermittelte, überbetriebliche Zeitwerte, die in Tabellen für einige ausgewählte Gewerke (z.B. Hochbau [66], Holzbau [138]) zusammengefasst sind. Arbeitszeit-Richtwerte lassen sich nur erstellen, wenn Abschnitte einer Arbeit mit Hilfe von Einflussgrößen genau beschreibbar sind. Ihre Staffelung erfolgt differenziert nach den Arbeitsbedingungen. Mit Hilfe der Arbeitszeit-Richtwerte lassen sich für das Unternehmen firmenspezifische Zeitwerte ableiten. Voraussetzung ist dabei, dass der zugrunde liegende Arbeitsablauf und die Einflussgrößen, unter denen die Richtzeit entstand, bekannt sind. Die Richtzeit ist an die jeweiligen kalkulatorischen Voraussetzungen anzulegen.

Arbeitszeit-Richtwerte basieren auf den in den Allgemeinen Vorbemerkungen und den Vorbemerkungen zu den einzelnen Gewerken aufgezählten Voraussetzungen und Bedingungen und enthalten alle zur kompletten Ausführung einer Arbeit erforderlichen Tätigkeitszeiten einschließlich der Anteile für Warte-, Verteil- und Erholungszeiten.

Zu beachten ist nach Mantscheff [77] die „Verwendung der Arbeitszeit-Richtwerte als Kalkulationsgrundlage für nicht im Leistungslohn ausgeführte Arbeiten. Denn es fehlen in diesen teilweise Randstunden für Nebenleistungen und die Bemessung der Vorgabewerte die höhere Effektivität einer Leistungsgruppe bei Arbeiten im Leistungslohn berücksichtigt. Mit entsprechenden Aufschlägen (20-30%) können sie jedoch als Anhalt herangezogen werden.“[77 S.178]

- Lohnstundenaufwandswerte sind die Anzahl der benötigten Lohnstunden zur Ausführung eines Arbeitsvorganges. Der Lohnstundenaufwand entspricht nicht der Prozesszeit (Dauer), sobald mehr als eine Arbeitsperson an der Ausführung beteiligt sind.

- Vorgangsdauer wird aus den Anteilen der Grund-, Verteil- und Erholzeit eines Vorganges abgeleitet. Sie nimmt aus Sicht der Arbeitsorganisation den höchsten Stellenwert ein, denn Zeit ist eine immer knappe Ressource für das Unternehmen [11]. In Bezug auf manuelle Tätigkeiten und die Tatsache, dass Lohnkosten den größten Anteil am Bauauftrag ausmachen, sind sie eine wichtige Bezugsgröße und Messpunkt für das Erreichen der Unternehmenszielsetzung.

In der durchgeführten Untersuchung werden die Vorgangsdauern am Beispiel von Pflasterarbeiten ermittelt und analysiert. Als Vorgangsdauern sind die spezifischen Dauern zur Ausführung einer Mengeneinheit – nach REFA [70] auch als „Stückzeiten“ bezeichnet – definiert. Aus ihnen werden über die Betrachtung der Zusammensetzung ihrer Zeitanteile und deren Variation aufgrund der verschieden auf sie wirkenden Einflüsse Zuschläge abgeleitet. Diese sollen die Berechnung von Vorgangsdauern für zukünftige Bauvorhaben vereinfachen und zur Schaffung einer gesicherten Datenbasis als eine Ergänzung der Stammdaten des Bauunternehmens beitragen. Nachfolgend ist unter dem Begriff Zeitwert die Dauer eines Vorganges zu verstehen.

2.2 Arbeitszeitgliederung

2.2.1 Arbeitszeitgliederung nach REFA

Um die Forderung nach Reproduzierbarkeit der Zeitdaten zu erfüllen, ist es neben der Kenntnis der Arbeitsbedingungen notwendig, eindeutig den zugrunde liegenden Arbeitsablauf zu beschreiben. Die Datenerfassung zur Ermittlung von Zeitanteilen basiert auf der Gliederung der Arbeitsabläufe in Ablaufabschnitte und der zugehörigen Ablaufarten. Die Ursprünge der Gliederung der Arbeitszeit in Ablaufarten sind auf den Ingenieur F. W. Taylor (1856-1915) zurückzuführen. Im Mittelpunkt des Taylorschen Denkens steht die Organisation der gewerblichen Arbeit, d.h. eine rationelle Arbeitsteilung und die Optimierung der Arbeitsvollzüge. Er löste somit die bis dahin übliche aus dem Handwerk bekannte Einheit von Planung und Arbeit auf und zerlegte die Arbeit in kleinste Teiltätigkeiten, die damit eine Grundvoraussetzung für die Optimierung der Arbeitsorganisation wurden (vgl. [101]). Damit schuf Taylor das Instrumentarium der Zeit- und Bewegungsstudien.

Auch nach REFA [70] gliedert sich der Arbeitsablauf in Abschnitte. Es wird zwischen Makro- und Mikro-Abschnitten unterschieden (Abb. 5).

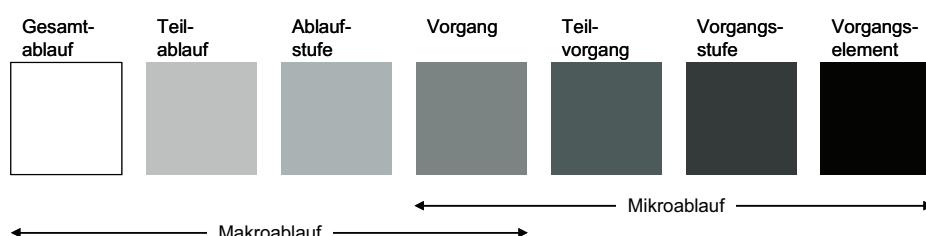


Abb. 5 Ablaufabschnitte nach REFA

Der Vorgang gehört als kleinster Abschnitt zu den Makro-Ablaufabschnitten und gleichzeitig als größtes Element zu den Mikro-Ablaufschritten und dient nach REFA [70] der Ausführung einer Mengeneinheit eines Arbeitsauftrages. In vorliegender Arbeit ist das Verlegen des Pflasters der zu betrachtende Arbeitsauftrag bzw. Vorgang. Als Beschreibung, was in dem Vorgang geschieht, dienen die Teilvergänge, die sich aus Vorgangsstufen zusammensetzen. Die einzelnen Teilvergänge sind den unterschiedlichen Ablaufarten zuordenbar.

Die Gliederung der Ablaufarten in Kombination mit den dazugehörigen Zeitarten wird nachfolgend, aufgrund der Betrachtung lohnintensiver Arbeiten, nur in Bezug auf den Mensch dargestellt. Für die Gliederung der Ablauf- und Zeitarten für Betriebsmittel ist auf die Fachliteratur zu verweisen [70, 120].

Im Vordergrund der durchgeführten Untersuchung steht die Zeit je Einheit (t_e) [70 S.31]. Diese setzt sich aus der Grund-, Verteil- und Erholzeit zusammen, die sich im Allgemeinen auf die Mengeneinheit 1 beziehen. Sie werden durch die jeweils dazugehörigen Ablaufarten definiert. Die Ablaufarten umfassen alle möglich auftretenden Ereignisse im Rahmen der Ausführung eines Ablaufabschnittes und werden entsprechend ihrer Gleichartigkeit unterteilt. Sie ermöglichen mit der auf ihnen begründeten Terminologie eine eindeutige Beschreibung und eine vielseitige Verwendung aufgrund ihrer einheitlichen Gliederung. Sie bilden damit die Grundlage zur Analyse des Arbeitsprozesses. Über die Zuordnung der Tätigkeiten zu den Ablaufarten sind Schlussfolgerungen über Wertschöpfung oder Verlustquellen möglich. So können aus der Struktur der analysierten Ablaufarten Informationen über beispielsweise den Anteil vergüteten oder nicht zu vergütenden (aber möglicherweise trotzdem bezahlten) Nichttätigseins der Mitarbeiter erhalten werden [96]. Die Ablaufgliederung für den Menschen (vgl. [120 S.23]) steht, wie in Abb. 6 dargestellt, mit den Zeitarten in Beziehung. Sie bilden die Zeit je Einheit t_e .

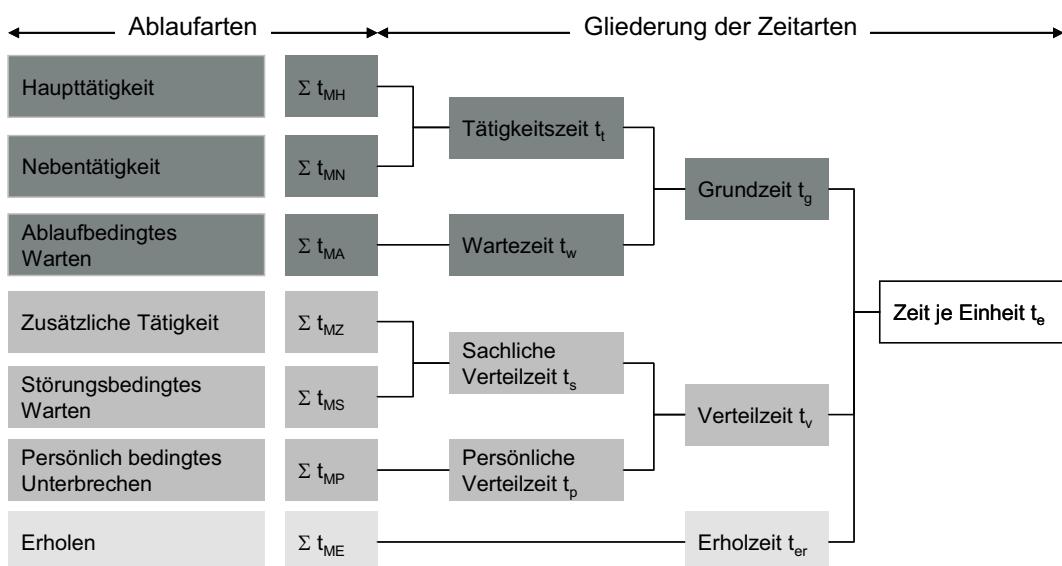


Abb. 6 Gliederung der Zeit je Einheit t_e (Soll-Zeit) des Menschen nach REFA [120]

Aus Abb. 6 ergibt sich folgender Zusammenhang der Zeitarten je Einheit, aus der sich die nachfolgend verwendeten Indizes erklären:

Formel 2 Zusammensetzung der Grundzeit je Einheit nach REFA [120]

$$t_g = \sum t_{MH} + \sum t_{MN} + \sum t_{MA} \text{ [Zeit/Einheit]}$$

t_g	Grundzeit: Soll-Zeiten zur planmäßigen Ausführung von Ablaufabschnitten
t_{MH}	Tätigkeitszeit: Haupttätigkeit
t_{MN}	Tätigkeitszeit: Nebentätigkeit
t_{MA}	Wartezeit: ablaufbedingtes Warten

Die Grundzeit (t_g) ist nach Formel 2 der Zeitanteil, der für die unmittelbare Ausführung eines Ablaufes notwendig ist. Sie umfasst Vorgänge der Haupttätigkeit (MH), Nebentätigkeit (MN) und des ablaufbedingten Wartens (MA). Es ist die Zeit, die effektiv der unmittelbaren Wertschöpfung bezogen auf eine Mengeneinheit dient.

Formel 3 Zusammensetzung der Verteilzeit je Einheit nach REFA [120]

$$t_v = \sum t_{MS} + \sum t_{MZ} + \sum t_{MP} \text{ [Zeit/Einheit]}$$

t_v	Verteilzeit: Soll-Zeiten zur mittelbaren Ausführung von Ablaufabschnitten
t_{MS}	sachliche Verteilzeit: störungsbedingte Unterbrechungen
t_{MZ}	sachliche Verteilzeit: zusätzliche Tätigkeiten
t_{MP}	persönliche Verteilzeit: persönlich bedingtes Unterbrechen

Die Verteilzeit (t_v) beinhaltet nach Formel 3 alle Zeitanteile, die durch zusätzliche Tätigkeiten (MZ) und störungsbedingtes (MS) bzw. persönlich bedingtes Unterbrechen (MP) zur planmäßigen Ausführung eines Ablaufes durch den Menschen erforderlich sind. Sie tragen mittelbar zum Leistungserstellungsprozess bei und sind unter Umständen, beispielsweise durch eine effektivere Arbeitsorganisation, reduzier- oder vermeidbar. Die Verteilzeit (t_v) bezieht sich ebenfalls auf eine Mengeneinheit.

Formel 4 Zusammensetzung der Erholzeit je Einheit nach REFA [120]

$$t_{er} = \sum t_{ME} \text{ [Zeit/Einheit]}$$

t_{er}	Erholungszeit: Soll-Zeiten zur Erholung des Menschen
t_{ME}	Unterbrechen der Tätigkeit: Erholung

Die Erholzeit (t_e) ist nach Formel 4 die Summe aller Zeitanteile pro Mengeneinheit, die für das Erholen des Menschen erforderlich sind. Die Erholzeit beinhaltet die Anteile, die effektiv für den Betrieb zur Leistungserstellung nicht zur Verfügung stehen, aber für den Erhalt der Gesundheit und Leistungsfähigkeit der einzelnen Arbeitsperson Voraussetzung sind.

Für die Zielstellung in dieser Untersuchung ist eine nach REFA veränderte Zusammensetzung der Zeitarten erfolgt. Für das leichtere Verständnis der nachfolgenden mathematischen Zusammenhänge ist ebenfalls die REFA-Symbolik leicht verändert worden¹².

Durch die Datenerfassung über die Multimomentaufnahme werden Häufigkeiten der ausgeführten Pflasterarbeit beobachtet. Die Anteile der Ablaufarten an den Zeitarten beziehen sich auf die täglich insgesamt aufgenommenen Beobachtungen. Sie sind in Bezug auf die Gesamtbeobachtungen absolute Anteile (H_x) an der Gesamtbeobachtung und werden in relative Anteile (h_x) umgerechnet¹³. Die Zeitartenanteile sind durch die gewählte Erfassungsmethode der Multimomentaufnahme auf die jeweilig beobachtete Pflasterart (a_i) und den Beobachtungstag (tag_i) bezogen.¹⁴ Um das Verständnis aller in dieser Arbeit dargestellten Formeln und Berechnungsvorschriften zu erleichtern, werden der Beobachtungstag und die Pflasterart folgend definiert:

$$\begin{aligned} T &= \{tag_i \mid tag_i \text{ ist Beobachtungstag}\}; \text{Menge der Beobachtungstage} \\ A_{tag} &= \{a_i \mid a_i \text{ ist Pflasterart, die am Tag (tag) verlegt wurde}\}, tag \in T; \text{Menge der Pflasterarten, die am Tag verlegt wurde} \end{aligned}$$

Die absolute Häufigkeit ($H_x(a,tag)$) der Beobachtungen der jeweiligen Zeitarten sind damit in relative Häufigkeiten mit $h_g(a,tag)$ ¹⁵ für die Grundzeit, $h_v(a,tag)$ für die Verteilzeit und $h_{er}(a,tag)$ für die Erholzeit umrechenbar. Die Zeitartenanteile multipliziert mit der täglichen Arbeitszeit ($AZ(a,tag)$) ergibt die Zeit der jeweiligen Zeitart (z_x). Damit lässt sich in Bezug auf die jeweilige Pflasterart (a_i) die Beobachtungsdauer pro Beobachtungstag ($t(tag)$) nach Formel 5 berechnen¹⁶.

¹² Vgl. dazu auch die Ergänzungen in Formel 5.

¹³ Die Zeit- und Ablaufartenanteile entsprechen den relativen Häufigkeiten.

¹⁴ In REFA wird allgemein von einer Zeitmessung ausgegangen. In dieser Untersuchung erfolgte eine Häufigkeitsstudie.

¹⁵ Die ausführliche Erläuterung der Symbolik und Gleichungen erfolgt in 3.3.

¹⁶ Die Beobachtungsdauer ($t(tag)$) ist als Anteil an der täglichen Arbeitszeit (AZ) in [h] entsprechend der jeweiligen Pflasterart (a_i) zu betrachten.

Formel 5 Beobachtungsdauer ($t(a,tag)$) und deren Zusammensetzung

$$t(a,tag) = z_g(a,tag) + z_v(a,tag) + z_{er}(a,tag) [h]$$

$a \in A_{tag}$, $tag \in T$

$$z_g(a,tag) = h_g(a,tag) \cdot AZ [h]; \quad h_g(a,tag) = \frac{H_g(a,tag)}{n} [\%]; \quad n(a,tag) = H_g(a,tag) + H_v(a,tag) + H_{er}(a,tag)$$

$$z_v(a,tag) = h_v(a,tag) \cdot AZ [h]; \quad h_v(a,tag) = \frac{H_v(a,tag)}{n} [\%]$$

$$z_{er}(a,tag) = h_{er}(a,tag) \cdot AZ [h]; \quad h_{er}(a,tag) = \frac{H_{er}(a,tag)}{n} [\%]$$

$$H_g(a,tag) = H_{MH}(a,tag) + H_{MN}(a,tag) + H_{MA}(a,tag)$$

$$H_v(a,tag) = H_{MS}(a,tag) + H_{MZ}(a,tag)$$

$$H_{er}(a,tag) = H_{MP}(a,tag) + H_{ME}(a,tag)$$

$n(a,tag)$	Beobachtungsanzahl je Beobachtungstag und Pflasterart		
$t(a,tag)$	Beobachtungsdauer je Beobachtungstag und Pflasterart		
$h_x(a,tag)$	relative Häufigkeit der Beobachtung bezogen auf die Gesamtbeobachtungen n		
$H_x(a,tag)$	absolute Häufigkeit der notierten Beobachtungen		
$z_x(a,tag)$	Zeitartenanteil		
AZ	Arbeitszeit je Beobachtungstag		
g	Grundzeit	MH	Haupttätigkeit
		MN	Nebentätigkeit
		MA	ablaufbedingtes Warten
v	Verteilzeit	MS	störungsbedingte Unterbrechung
		MZ	zusätzliche Tätigkeiten
er	Erholzeit	MP	persönlich bedingte Unterbrechung
		ME	Erholung

In dieser Untersuchung besteht der Unterschied zu der in REFA beschriebenen Zuordnung der Ablaufarten zu den Zeitarten (vgl. Formel 3, Formel 4 und Abb. 7) in der veränderten Zuordnung der Beobachtungen für persönlich bedingte Unterbrechungen $H_{MP}(a,tag)$ zur Erholzeit ($h_{er}(a,tag)$). Die darunter beobachteten Vorgänge tragen, gleichwohl den Beobachtungen der Erholung ($H_{ME}(a,tag)$), zum Erhalt der Leistungsfähigkeit der Arbeitsperson bei, sind jedoch im Vergleich dazu tarifrechtlich nicht festgelegt. Die für diese Untersuchung verwendete Verteilzeit $h_v(a,tag)$ entspricht damit der nach REFA definierten sachlichen Verteilzeit. Für diese Untersuchung ist somit unter den Begriffen Verteilzeit der nach REFA definierte sachliche Verteilzeitanteil und unter der Erholzeit, die von der REFA Definition abweichende persönliche Verteil- und Erholzeit zu verstehen (vgl. Formel 5).

Die Beobachtungsdauer ($t(a,tag)$) ist die Summe aus der Grundzeit ($z_g(a,tag)$), Verteilzeit ($z_v(a,tag)$) und Erholzeit ($z_{er}(a,tag)$). Mittels des Verhältnisses zwischen Grund-, Verteil- und Erholzeit sind Rückschlüsse auf die effektiv zur Wertschöpfung genutzte AZ(a,tag) je Beobachtungstag und Pflasterart möglich. Der täglich ermittelte

Grundzeitwert (zw_g(a,tag)) bezieht sich auf die Pflasterart. Der GZW(a) ist der gemittelte Grundzeitwert je Pflasterart.¹⁷

Die Aufteilung der Gesamtarbeitszeit erlaubt demnach in Bezug auf die darin enthaltenen Zeitarten eine Ermittlung unterschiedlicher Zeitaufwandswerte, welche die Grundlage der vorliegenden Untersuchung bilden. Das theoretische Verhalten der verschiedenen Zeitwerte in Bezug auf die ausgeführte Menge ist in Abb. 7 dargestellt.

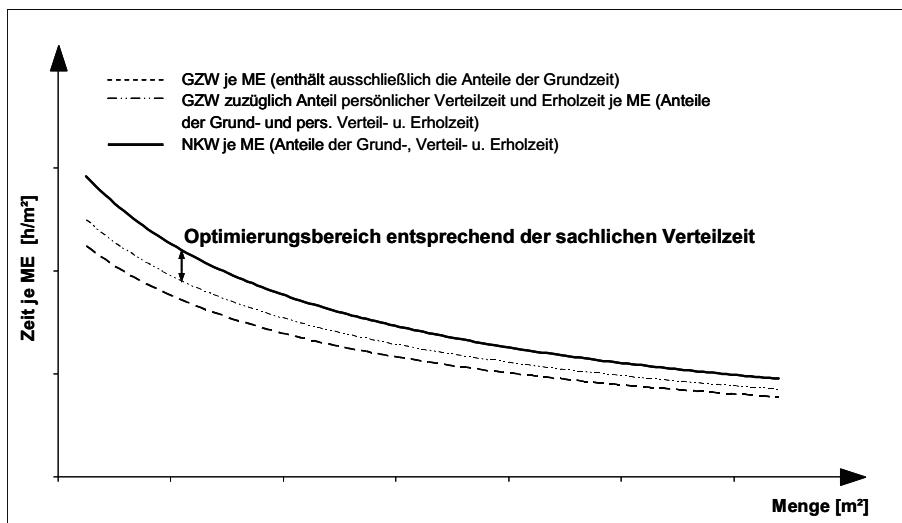


Abb. 7 Unterschied zwischen Grundzeit- (GZW) und Nachkalkulationswert (NKW)

Aus Abb. 7 wird deutlich, dass der GZW der keine Verteil- und Erholzeiten beinhaltet, am geringsten ist. Der GZW zuzüglich der persönlichen Verteil- und Erholzeiten (mittig liegende Kurve) entspricht dem Zeitwert, der sowohl die Zeit der reinen Wertschöpfung als auch die Zeit, die von der Arbeitsperson zum langfristigen Erhalt ihrer Arbeitskraft notwendig ist, beinhaltet. Der Nachkalkulationswert (NKW) ist am höchsten. Er umfasst zusätzlich die Verteilzeitanteile. Da der Erholzeitanteil für den Erhalt der Leistungsfähigkeit aus arbeitsrechtlicher Sicht immer zu gewährleisten ist¹⁸, liegt der Optimierungsbereich zwischen dem NKW und dem GZW zuzüglich der persönlichen Verteil- und Erholzeiten. Dieser vor allem durch externe Einflüsse geprägte Bereich ist der Untersuchungsgegenstand vorliegender Arbeit. Er entspricht nach der Definition von REFA dem sachlichen Verteilzeitanteil, dessen Variation die Grundlage der Quantifizierung der wirkenden Einflüsse bildet.

¹⁷ Unter der Verwendung der Abkürzung GZW ist allgemein der Grundzeitwert gebildet aus Grundzeitanteil, Arbeitszeit und aufgemessene Leistung zu verstehen.

¹⁸ Ausführliche Erläuterungen dazu erfolgen in 3.3.

2.2.2 Zeitartenanteile auf Baustellen

In der Praxis wird für Bauarbeiten allgemein die Grundzeit mit 70% an der Gesamtarbeitszeit angenommen. Dieser Anteil wird erfahrungsgemäß mit pauschalen Zuschlägen der Verteilzeit in Höhe von 20% und der Erholzeit von 10% erhöht [39, 57].

In den von den Tarifvertragsparteien gemeinsam erarbeiteten Arbeitszeit-Richtwerten ist die Verteilzeit zusätzlich in die persönliche Verteilzeit mit 5% und die sachliche Verteilzeit mit 10% aufgeteilt. Es ergibt sich damit insgesamt nur ein Verteilzeitanteil von 15% an der Gesamtarbeitszeit. Dies zeigt, die Verteilzeit ist nicht eindeutig festgelegt und beweist die Relevanz vorliegender Untersuchung. Die Erholzeit kann im Rahmen der Tarifvereinbarungen unabhängig von der Grundzeit festgelegt sein und liegt laut Warnecke zwischen 5% und 10% [103, 125]. Es werden dabei „aufgabengerechte und zweckmäßige Baustellenorganisation“, „aufeinander abgestimmte Gerätekombinationen“ und „ein geordneter und abgestimmter Arbeitsablauf“ [64 S.33ff], d.h. wenn nicht optimale, so jedoch günstige Betriebsbedingungen und Umgebungseinflüsse, vorausgesetzt. Nach Untersuchungen der Professur für Baubetriebswirtschaft der Universität Rostock [43, 75] ist bei gut organisierten Betrieben jedoch eine im Durchschnitt zum unteren Wert tendierende Erholzeit zu Gunsten einer höheren Grundzeit annehmbar.

Aufgrund der Besonderheiten der Bauproduktion (vgl. 2.1.1) gibt es auf Baustellen immer einen Anteil an Unterbrechungszeiten, die als Verlustzeiten bezeichnet werden [103]. Zu den Verlustzeiten zählen die Tätigkeiten, die der Ablaufart „störungsbedingtes Unterbrechen“ und „zusätzliche Tätigkeiten“ zugeordnet sind. Sie bilden den sachlichen Verteilzeitanteil. Zu ihnen zählen Beobachtungen wie „Warten auf Informationen zum Baufortschritt“, „Wegzeiten“ etc.. Die Beschreibung der Teiltätigkeiten zeigt, dass diese nicht vollständig vermeidbar sind. Dies belegen auch die Zeituntersuchungen des Instituts für Zeitwirtschaft und Betriebsberatung Bau (ibz), die etwa 34% der täglichen Arbeitszeit als Verlustzeiten feststellten [26, 103]. Zeitanalysen auf Baustellen in den USA wiesen sogar eine Produktivitätsreduzierung von 50% aufgrund von Verlustzeiten nach [95]. Diese Zeitartenanteile werden überwiegend durch Einflüsse geprägt und sind darum Untersuchungsgegenstand.

2.2.3 Arbeitszeitgliederung am Beispiel Pflasterarbeiten

Für Pflasterarbeiten ist sowohl aus den nach 2.2.1 definierten Ablaufarten als auch aus den dazugehörenden Teiltätigkeiten erkennbar, dass die Gemeinkosten- und Sozialstunden, die nach REFA ebenfalls zu den in der Nachkalkulation erfassten Stunden zählen, nicht Bestandteil der abgeleiteten Zeitwerte sind (vgl. Abb. 8). Die abgeleiteten Zeitwerte gehören, entsprechend der Gliederung der berichteten Arbeitsstunden für den Menschen, zu den Einzelkostenstunden [70].

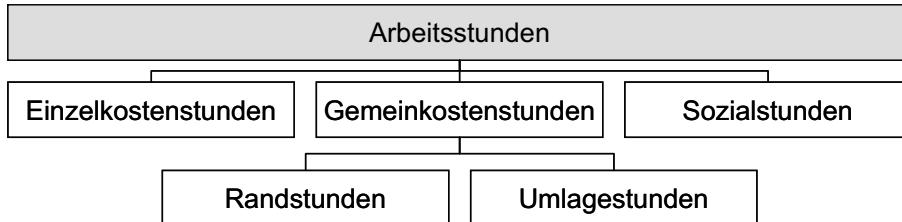


Abb. 8 Gliederung der berichteten Arbeitsstunden für den Menschen [70 S.122]

Zu dem beobachteten Vorgang „Pflasterarbeiten“ zählen alle Teiltätigkeiten, die zur Herstellung der Pflasterdecke notwendig sind. Der Unterbau sowie die jeweils vom Auftraggeber gewünschten Tragschichten (Abb. 9) sind den Erdarbeiten zugeordnet und in dem in dieser Arbeit ermittelten Zeitwert nicht enthalten.

Pflaster mit Fugenfüllung Bettung	Decke	Oberbau
Tragschicht (bspw. Frostschutzschicht)	Unterlage	
verbesserter Unterbau		Unterbau
Schüttung		
anstehender Boden	Untergrund	

Abb. 9 Pflasteraufbau (schematisch, unmaßstäblich)

Die Beobachtung umfassenden Teiltätigkeiten zur Herstellung der Pflasterdecke gliedern sich entsprechend 2.2.1 in Ablaufarten, deren aufsummierte Werte jeweils die Zeitarten bilden. Die ausführliche Beschreibung der Teiltätigkeiten ist im Anhang A (A.1.1) zu finden.

2.3 Zeitaufwandswertermittlung

2.3.1 Arbeitsstudium

REFA [123] definiert das Arbeitsstudium als die Anwendung von Methoden und Erfahrungen zur Untersuchung und Gestaltung von Arbeitssystemen mit dem Ziel, die Arbeit unter Beachtung der Leistungsfähigkeit und der Bedürfnisse des Menschen zu verbessern sowie die Wirtschaftlichkeit des Betriebes zu erhöhen. Das Arbeitsstudium hat seinen Ursprung in der Fertigungsindustrie. Dort wurden die ersten Untersuchungen bei der Herstellung gezogener Drähte (Kohlweiler 1931) und Maschinenstillstände in der Textilindustrie (Tippett 1934) durchgeführt und unterschiedliche Durchführungsverfahren entwickelt [14]. Vorrangiges Ziel war die Gewinnung von möglichst objektiven Bezugswerten für die Leistungsentlohnung. Nach dem Neuaufbau 1945 erfolgte zusätzlich die Einbeziehung der Tarifpartner. Damit erfolgte die Verknüpfung der REFA-Methodenlehre mit der Tarifpolitik und wurde so ein Grundpfeiler der Zusammenarbeit der Tarifpartner.

Das Arbeitsstudium konzentriert sich bei der Analyse und Gestaltung von Arbeitssystemen hauptsächlich auf Arbeitsgestaltung, Kostenrechnung, Anforderungsermittlung, Arbeitsunterweisung und Lohngestaltung sowie die Datenermittlung. REFA widmet sich in einem Band seiner Reihe „Methodenlehre des Arbeitsstudiums“ [93] ausschließlich der Datenermittlung. Konkretisiert und speziell auf die Anforderungen im Baubetrieb ausgerichtet, findet sich dieser Band in „REFA in der Baupraxis“ [70] wieder. Auf den darin beschriebenen Methoden basiert auch diese Untersuchung.

Unter der Voraussetzung bekannter Ausführungszeiten ist die Planung, Steuerung und Kontrolle der zur Erfüllung eines bestimmten Produktions- bzw. Arbeitsprogramms notwendigen Arbeitsabläufe Bestandteil einer wirtschaftlichen Betriebsführung. Die Bedeutung des Arbeitsstudiums liegt in dem Umstand, dass ein Betrieb nur dann wirtschaftlich arbeitet, wenn die Abläufe der einzelnen Arbeitsplätze rationell organisiert sind. Mittels Arbeitszeitstudien werden Ist-Zeiten gewonnen, die durch die jeweiligen Ermittlungsmethoden eine hohe Genauigkeit und einen direkten Bezug zum System haben. Arbeitszeitanalysen sind unternehmens- und arbeitsspezifisch. Sie beinhalten damit das Risiko nicht erkannter oder fehl geschätzter Potenziale in einem geringeren Umfang [94]. Sowohl in der Literatur [10, 52, 64, 90, 103, 109, 110] als auch in der praxisnahen Forschung [43, 75] ist der dringende Bedarf an qualifizierten Methoden und Ergebnissen des Arbeitsstudiums nachweisbar.

2.3.1.1 Zeitdatenermittlung auf Baustellen

Zeitwerte sind reproduzierbar zu erfassen (vgl. 2.1.3), so dass neben den Zeit bestimmenden Einflüssen auch Bezugsmengen und Arbeitsbedingungen festgelegt sind. Der Verwendungszweck bestimmt die statistische Sicherheit und den Umfang der zu erhebenden Daten. In den letzten Jahrzehnten hat sich eine Vielzahl von Methoden zur Zeitwertermittlung in der Praxis durchgesetzt. Sie variieren hinsichtlich der Genauigkeit, des Durchführungsaufwandes, ihrer Zuverlässigkeit und Nachprüfbarkeit.[11]

In Anlehnung an die Aussagen im Rahmentarifvertrag für Leistungslohn im Baugewerbe [103] und die Ausführungen in der Literatur [65, 105] werden Zeitwerte zur Verwendung im Unternehmen sowohl durch Arbeitszeitstudien als auch aus Arbeitszeit-Richtwert-Tabellen (Planwerte), Nachkalkulationswerten, Werten aus methodischen Schätzungen und Erfahrungen gewonnen. Dabei ist zwischen dem Erfassen von Ist-Zeiten und dem Ableiten von Soll-Zeiten zu unterscheiden (Abb. 10).

Möglichkeiten der Zeitermittlung					
Ist-Zeiten erfassen			Soll-Zeiten bestimmen		
	Ist-Zeiten durch Messen	Ist-Zeiten durch Befragen	Soll-Zeiten zusammensetzen	Soll-Zeiten durch Berechnen	Soll-Zeiten durch Vergleichen und Schätzen
Fremdaufschreibung z.B. REFA Zeitaufnahme					
Selbstaufschreibung: Mitarbeiter notiert selbst die gebrauchten Zeiten					
Automatische Erfassung von Ist-Zeiten durch Messgeräte an Maschinen und Datenerfassung im Rechner über Terminal					
		Mitarbeiter schätzen aufgrund ihrer Erfahrung die Ist-Zeiten			
			Systeme vorbestimmter Zeiten (SzZ)		
			Planzeiten zusammensetzen mit Berücksichtigung von Einflussgrößen		
			Berechnen von Prozesszeiten		
					Ungenauie Festlegung von Soll-Zeiten auf Basis von Erfahrungswerten der Vergangenheit oder ähnlicher Arbeitsvorgänge

Abb. 10 Möglichkeiten der Gewinnung von Zeitdaten [41 S.170]

Die einzelnen Ermittlungsmethoden unterscheiden sich in ihrer Qualität, d. h. durch ihre Genauigkeit. Der Rahmentarifvertrag [103 S.167] postuliert das Ableiten von Werten aus Nachkalkulationen aus betrieblichen oder überbetrieblichen Zeitenkatalogen, deren Werte methodisch aus gleichartigen Arbeitsvorgängen sowie technischen Baumaschinendaten ermittelt wurden. Abb. 11 veranschaulicht den Methodeneinsatz hinsichtlich Qualität und Einsatzebene im Unternehmen.

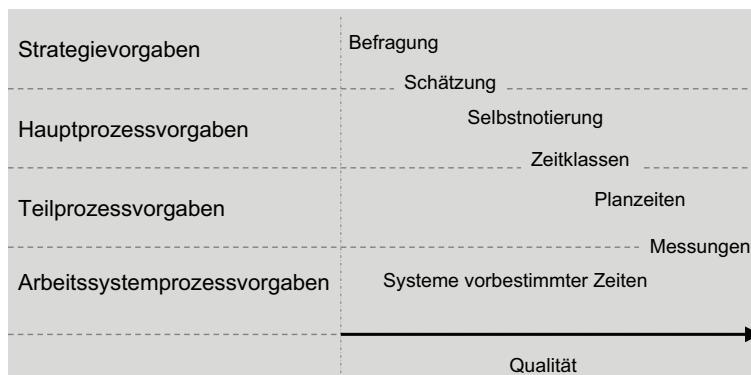


Abb. 11 Methodeneinsatz in Anlehnung an Binner [11 S.861]

Für die Zeitdatenermittlung existiert eine umfangreiche Fachliteratur [6, 10, 103, 110, 112]. An dieser Stelle werden die am häufigsten in der Bauwirtschaft angewandten Methoden zusammenfassend vorgestellt und für ausführliche Beschreibungen auf die genannte Fachliteratur verwiesen.

Die klassische Methode der Zeitwertermittlung in Bauunternehmen ist nach wie vor die **Nachkalkulation** bzw. das Ableiten von Zeitwerten. Die Nachkalkulation dient der Ermittlung der entstandenen Aufwendungen nach der Leistungserstellung und damit der Überprüfung der Mengen- und Wertearnsätze der Vorkalkulation. Die Analyse der Abweichungen im Rahmen von Soll-Ist-Vergleichen liefert Informationen zur Korrektur

dieser Ansätze für zukünftige Vorkalkulationen.[112 S.50] Bei der Anwendung der Nachkalkulationswerte ist zu berücksichtigen, inwieweit die Produktionsbedingungen der nachkalkulierten Baustelle mit den Bedingungen der Vorgänge auf der zukünftigen Baustelle übereinstimmen. Gegebenenfalls müssen die Werte durch entsprechende Zu- oder Abschläge korrigiert werden. Das heißt, vorhandene Zeitwerte werden aufgrund abweichender Arbeitsbedingungen oder Einflussgrößen rechnerisch berichtet bzw. abgeleitet.

Das Ableiten von Zeiten setzt voraus, dass Zeitwerte von denen abgeleitet werden soll, definierbar sind. Dazu gehören Kenntnisse über den Arbeitsumfang, die Arbeitsbedingungen, die Bezugsgrößen, die Einflussgrößen und die Leistung, unter denen die jeweiligen Werte zustande gekommen sind.[57 S.16]

Schätzungen basieren im Vergleich zu den Nachkalkulationswerten auf den Erfahrungen der Kalkulatoren, Arbeitsvorbereiter und Bauleiter. Aus der Erfahrung des kompetenten Mitarbeiters sollte jenes Wissen aufgebaut werden, das sich in erfolgreiches Handeln umsetzen lässt [54]. Zu bedenken ist jedoch: die „Datenbank Mensch“ ist nicht unbegrenzt und nicht frei von Schwächen [45]. Es sind daher Erfahrungswerte nur als Ergänzungen anderer Zeitermittlungsmethoden zu verwenden. Die reine Schätzung von Zeitwerten kann nur dort erfolgen, wo weder Messen noch Ableiten möglich sind oder wo Zeitwerte vorhanden sind, deren Definierbarkeit nicht gegeben ist [112].

Zeitwerte mittels Messungen stellen die genaueste Methode der Zeitermittlung dar (vgl. Abb. 11). Es ist dabei sowohl die Messung mit der Uhr als auch durch mathematisch-statistische Verfahren (Multimomentverfahren) möglich. Grundlage der Messung muss in jedem Fall eine genaue Arbeitsbeschreibung sein, die außer dem Arbeitsumfang auch die Arbeitsbedingungen sowie die Bezugs- und Einflussgrößen beschreibt und fixiert. Nachfolgend wird ein Überblick über Zeitaufnahmen durch Messungen und im Speziellen über die Multimomentaufnahme gegeben. Für ausführlichere Betrachtungen zur Zeitwertermittlung mittels Messungen, die nicht Gegenstand dieser Arbeit sind, wird auf die Fachliteratur verwiesen [14, 52, 70, 76, 109].

2.3.1.2 Zeitaufnahmen mittels Messungen

Das Erfassen der Ist-Zeiten mittels Messungen ist nach Abb. 10 über Selbstaufschreibung und Fremdaufschreibung möglich.

Selbstaufschreibung ist jedoch häufig ungenau, wie Kiziltas [67] in seiner Studie¹⁹ nachweist. Vor allem falsche und fehlende Daten bezogen auf die Arbeitsdatenverwaltung und Betriebsmittelverwendung bereiten Probleme bei der Selbstaufschreibung. Der Hauptgrund für die fehlenden und falschen Daten sind begründet auf dem Nichtwillen

¹⁹ Die Daten stammen aus einem 38monatigen Autobahn Projekt in den USA, welches 12 Meilen beinhaltete, einschließlich Brückenbauwerke, Entwässerungen und Stützmauern.

der Vorarbeiter die entsprechenden Bögen auszufüllen. Als Begründung wurde in Kiziltas Untersuchung angegeben, dass dies nicht zu ihrem Aufgabenprofil zählen würde. Beispielsweise wurden alle Daten, die mit der Lohnabrechnung zu tun haben, von ihnen als essentiell angesehen und korrekt ausgefüllt. Daten, aus denen Ursachen für Abweichungen und Fehler ersehen werden konnten und die ebenfalls zu vermerken waren, wurden verweigert und lediglich mündlich übertragen, somit jedoch nicht für zukünftige Verwendung und Bezüge gesammelt. Vor allem falsche oder fehlende Bauarbeitschlüssel (90%), Arbeitsdaten (75%) und Einflussgrößendokumentationen (99%) ließen eine detaillierte und realitätsnahe Ableitung von Aussagen nicht zu.[67] Die Selbstaufschreibung ist damit als nicht geeignet zu bewerten.

Fremaufschreibungen erfolgen durch:

- Stoppuhrzeitmessungen,
die jedoch in der Baupraxis nur bei kurz andauernden Ein-Mann-Arbeiten Anwendung finden. Aufgrund der Zeitmessung jeder einzelnen Arbeitsperson mit Addition der Zeiten je Ablaufart sind sie für Gruppenzeitaufnahmen zu unwirtschaftlich und daher für den Baubetrieb nicht effizient.
- Registrierende Messverfahren, Tonbandaufnahmen und Videoaufzeichnungen
wurden in der Vergangenheit eingesetzt, aber aufgrund des hohen Auswertungsaufwandes und der zusätzlich notwendigen Geräte, die Anschaffungs- und Servicekosten verursachen, als unwirtschaftlich für den Baubetrieb betrachtet.[109]
- Mathematisch-statistische Methoden
haben im Vergleich zu den zuvor genannten Methoden auch in der heutigen Zeit nicht an Bedeutung verloren [44]. Dazu zählen die Multimomentaufnahmen, welche die Messung der Zeiten durch Zählung der aufgetretenen Häufigkeiten des jeweiligen Arbeitsablaufes ersetzt. Aus der Häufigkeit der Beobachtungen wird auf die Anteile der Einzelzeiten an der Gesamtzeit geschlossen. Die untersuchten Arbeitsabläufe sind Stichproben einer Grundgesamtheit, welche die Summe aller möglichen Wiederholungen des zu untersuchenden Arbeitsablaufes darstellt. Durch mathematisch-statistische Methoden kann somit von einer Stichprobe mit einer bestimmten Aussagewahrscheinlichkeit auf die Werte der Grundgesamtheit geschlossen werden. In Abb. 12 ist das allgemeine Vorgehen in der mathematischen Statistik dem Vorgehen bei Zeitaufnahmen (beispielsweise der Multimomentaufnahme) gegenübergestellt.

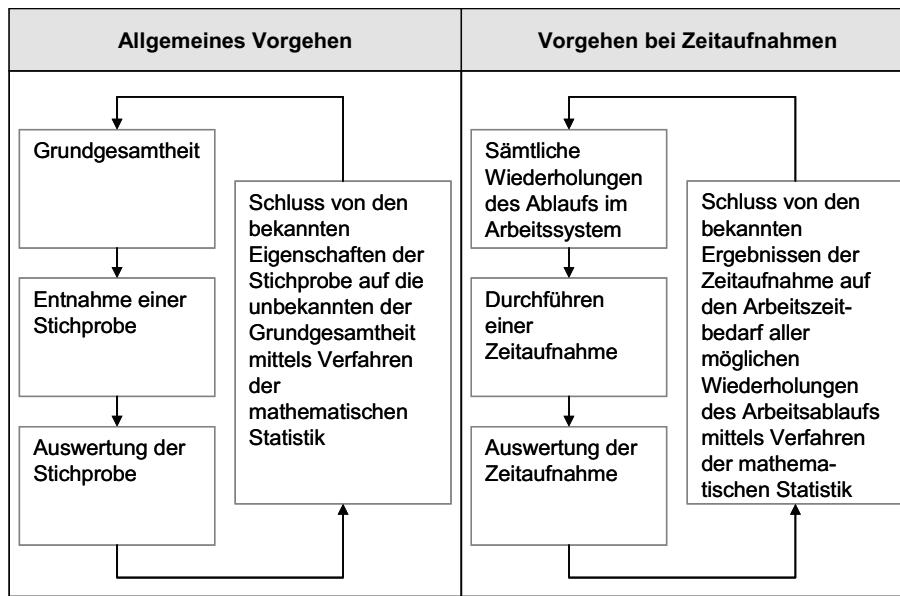


Abb. 12 Gegenüberstellung der Vorgehensweise der mathematischen Statistik und der Durchführung und Verwendung einer Zeitaufnahme [10 S.16]

2.3.2 Bewertung der verschiedenen ermittelten Zeitwerte

Der Unterschied der durch die einzelnen Zeitermittlungsmethoden abgeleiteten Zeitwerte liegt insbesondere in ihrer Validität. Generell ist für Zeitdaten die bereits angeführte Reproduzierbarkeit Voraussetzung, d.h. der Arbeitsablauf muss eindeutig beschrieben, die Arbeitsbedingungen bekannt und die statistischen Anforderungen an den Wert erfüllt sein. Nur so ist eine realistische Beurteilung bei der Verwendung möglich und verhindert das Rechnen mit betriebsfremden Daten. Das Planungsrisiko und das Kalkulationswagnis sind direkt mit den verwendeten Zeit- und Leistungswerten verbunden. Werden die kalkulierten Leistungen nicht erbracht, entstehen neben höheren direkten Kosten für Löhne und Geräte u. U. erhebliche Folgekosten aus Terminverzögerungen, Umstellung des Arbeitsablaufs und aus den zeitabhängigen Baustellengemeinkosten. Trotzdem ist entsprechend der gegebenen Problemstellung immer nur ein bestimmter Aufwand für die Datenermittlung gerechtfertigt, welcher unter Beachtung der geforderten Genauigkeit und weiterer Randbedingungen zu minimieren ist.

Voraussetzung für Nachkalkulationswerte ist die Führung von Tagesstundenberichten, d.h. ein funktionierendes Baustellenberichtswesen und dessen laufende Auswertung. Im Baubetrieb wird dies grundsätzlich angestrebt, jedoch ist es auf der Baustelle nur schwierig umsetzbar (vgl. 2.3.1.2). Zeitwerte aus Nachkalkulationen beinhalten meist Ungenauigkeiten, die sich systematisch weiter übertragen und damit u. U. Reserven verschleiern. Dem Vorteil des geringen Aufwandes und des schnellen Vorliegens der Ergebnisse steht der Nachteil des auf die jeweilige Baustelle bezogenen Zeitwertes und die Abhängigkeit von der Güte des betrieblichen Berichtswesens gegenüber. Zudem können nur in seltenen Fällen aufgetretene vermeidbare Zeitanteile, wie Wartezeiten und sonstige Verlustzeiten, festgehalten und in Abzug gebracht werden. Nach

Auffassung des Instituts für Zeitwirtschaft „gehört die Verwendung von Nachkalkulationen mehr in den Bereich des Schätzens von Zeiten“ [57 S.17]. Diese Aussage wird allerdings durch die Ergebnisse der Untersuchung von Möller [81] relativiert, denn seine entwickelte Methode zur Gewinnung von Stammdaten aus der Nachkalkulation lieferte nachweislich aktuelle Kalkulationsansätze.

Bei Erfahrungs- und Schätzwerten besteht das Problem, dass diese meist auf dem Wissen einzelner Personen beruhen. Sie sind beispielsweise im Hinblick auf den Leistungslohn, der nach dem RTV LL [103] eine methodische Ermittlung fordert und von den Mitarbeitern auf der Baustelle auch erreichbar sein muss, tarifrechtlich nicht akzeptabel. Sie sind lediglich als Ergänzung methodisch ermittelter Zeitwerte nutzbar.

Überbetriebliche Richtwerte eignen sich für die Durchführung von Verfahrensvergleichen sowie zum Nachweis der Auswirkungen von Entwurfsänderungen im Zuge der Bauausführung auf den Lohnaufwand der ausgeschriebenen Teilleistung [110]. Die Verwendung der Richtwerte ist jedoch nur dann sinnvoll, wenn sie in Kombination mit Schätzungen durch Erfahrungen gestützt, unternehmensnah sind.

Arbeitszeitstudien hingegen haben einen direkten Bezug zum Unternehmen und der jeweilig betrachteten Arbeit. Sie sind ein Hilfsmittel, um mit relativ geringem Aufwand Daten in einer Genauigkeit zu erhalten, wie sie für die Analyse der Bauabläufe ausreichend ist. Ihre alleinige Verwendung oder in Kombination mit anderen Zeitwertermittlungen erhöht den durchschnittlichen Kalkulationserfolg [44]. Für die Gewinnung von Zeitwerten für Planungen und Steuerungen sind Arbeitsstudien unerlässlich [74]. Besonders hervorzuheben ist die Methode der Multimomentaufnahme. Im Gegensatz zur Zeitaufnahme, bei der die Zeiten für die einzelnen Ablaufabschnitte gemessen werden, werden bei der Multimomentaufnahme zu unregelmäßigen zufälligen Zeitpunkten (klassisch) oder in regelmäßigen Zeitintervallen (systematisch) Kurzzeitbeobachtungen durchgeführt und das Vorkommen der einzelnen Vorgänge gezählt. Sie bietet zudem die Möglichkeit, dass ein einzelner Beobachter kleinere oder größere Gruppen – bis hin zu mittelgroßen Baustellen – beobachten kann, so dass sie für den Baubetrieb als das derzeit optimale Hilfsmittel angesehen wird, um mit relativ wenig Aufwand anwendbare Zeitdaten zu erhalten.[71]

Nach Skizzierung des Spektrums der möglichen Methoden der Datenermittlung ist somit die Multimomentaufnahme das statistisch am besten abgesicherte Vorgehen, um die betriebliche Wirklichkeit und die Verhaltensmuster der Beteiligten abzubilden. Beispielsweise werden „beim Messen der Dauer von Vorgängen vergleichbare statistische Sicherheiten nur mit einem ungleich höheren, gewaltigen Aufwand erreicht“ [90 S.219]. Zeitwerte, die auf Multimomentaufnahmen aufbauen, sind Werte mit der höchsten Genauigkeit [103 S.75]. Inhärente Vorteile der Methode sind außerdem, dass in der Regel keine zusätzlichen Messgeräte benötigt werden und nur eine zeitweise Bindung des Beobachters an den beobachteten Arbeitsplatz besteht, wodurch Störungen vermieden werden und nahezu beliebig viele Arbeitsplätze beobachtet

werden können. Außerdem kann nach dem Gesetz der großen Zahlen [85] bei hinreichendem Stichprobenumfang ein abgesichertes Abbild des durchschnittlichen Ist-Ablaufes angenommen werden. Eine Unterbrechung der Beobachtung sowie der Wiederbeginn sind jeder Zeit möglich und die Auswertung ist relativ schnell und fehlerfrei durchführbar. Im Vergleich zu Zeitaufnahmen mit einer Stoppuhr kann der zeitliche Aufwand zwischen 40% und 70% geringer ausfallen [53].

Die Befragung von Meyer [80] untermauert, dass Zeitdaten nach wie vor eine Führungsgröße für das Unternehmen darstellen, denn 90% der befragten Unternehmen halten die klassischen Methoden der Zeitwirtschaft, mit Ergänzungen und Weiterentwicklungen, auch in Zukunft für notwendig. Aktualität, Transparenz und Aussagekraft durch eine anforderungsgerechte Genauigkeit sind die wichtigsten Forderungen, gefolgt von Schnelligkeit der Bereitstellung und vielseitiger Verwendbarkeit der Daten. Dies ist mit dem mathematisch-statistischen Verfahren der Multimomentaufnahme umsetzbar.

Die Eignung der Multimomentaufnahme auch als Grundlage zur Quantifizierung von Einflüssen zur Anpassung von GZW an zu erwartende Baustellenbedingungen wird am Beispiel von Pflasterarbeiten im Kapitel 3 theoretisch und im Kapitel 4 anhand der empirisch über die Multimomentaufnahme ermittelten Daten nachgewiesen.

3 Theoretischer Lösungsansatz

3.1 Die DIN ISO 9245 für maschinengeprägte Arbeiten

Analog zu der in Hoffmann [55 S.583] dargestellten Ergänzung der DIN ISO 9245 „Erdbaumaschinen, Leistungen der Maschine“ wird in dieser Untersuchung analysiert, ob auch die Einflüsse auf lohnintensive Arbeiten quantifizierbar sind. In der DIN ISO 9245 [22] wird von einer Grundleistung (Q_B) der Baumaschine ausgegangen, die mit der jeweiligen Arbeitseinrichtung bei einer bestimmten Einsatz- und Materialart kurzzeitig erreichbar ist. In die Grundleistung (Q_B) fließen sowohl die jeweiligen technischen Geräteparameter, wie beispielsweise Nenninhalt und Ladefaktor, als auch die so genannten Einsatzfaktoren entsprechend der Einflussgrößen Maschine, Material und Einsatzart unter der Voraussetzung qualifizierter und eingearbeiteter Baumaschinenführer ein. Leistungsmindernde Einflüsse aus Gerätezustand, Betriebs- und Baustellenorganisation sowie Witterung bleiben unberücksichtigt. Die Grundleistung (Q_B) ist somit die maximal theoretisch erreichbare Leistung der Baumaschine unter idealen Bedingungen auf der Baustelle.

Real sind ideale Baustellen- und Betriebsbedingungen aufgrund der Spezifik der Baustellenfertigung (vgl. 2.1.1) jedoch nicht existent. Laut DIN ISO 9245 [22] ist die Grundleistung (Q_B) entsprechend der auftretenden Bedingungen durch einen so genannten Nutzleistungsfaktor (f_E) anzupassen. Der Faktor f_E ist auf Basis langjähriger Untersuchungen [55] entstanden und quantifiziert verschiedene auftretende Baustellen- und Betriebsbedingungen. Er mindert den direkt zum Leistungserstellungsprozess genutzten Zeitanteil durch Verringerung der Grundleistung (Q_B). Die Anpassung der Grundleistung (Q_B) auf die im speziellen Fall tatsächlich auf Dauer erreichbare Nutzleistung (Q_A) entsprechend der Baustellen- und Betriebsbedingungen erfolgt für den Anwender mittels der Gleichung nach Formel 6:

Formel 6 Berechnung der Nutzleistung (Q_A) für Baumaschinen [22]

$$Q_A = Q_B \cdot f_E \text{ [Einheit/Zeit]}$$

Q_A	Nutzleistung der Baumaschine („applicable“)
Q_B	Grundleistung der Baumaschine („base“)
f_E	Nutzleistungsfaktor („effective“)

Die Quantifizierung des Nutzleistungsfaktors (f_E) erfolgt nach Hoffmann [55 S.584] mit Hilfe einer vier×vier Matrix und ermöglicht die Berechnung der entsprechend der Baustellen- und Betriebsbedingungen zu erwartenden Leistung der Baumaschine.

Die persönliche Verteil- und Erholzeit ist mit einem Anteil von 16% berücksichtigt.²⁰ Damit ist die maximal auf Dauer und unter sehr guten Baustellen- und Betriebsbedingungen zu erreichende Leistung der Baumaschine mit 84% der Grundleistung (Q_B) festgelegt. Von diesem Wert ausgehend können für die Kalkulation Anhaltswerte mit Hilfe des Nutzleistungsfaktors (f_E) entsprechend der Baustellen- und Betriebsbedingungen berechnet werden.

Diese für maschinenintensive Arbeiten bestehende Angleichung der Grundleistungswerte entsprechend der Maßgabe der zu erwartenden Baustellen- und Betriebsbedingungen gab die Anregung, die Einflüsse auf lohnintensive Arbeiten zu untersuchen und für eine Anwendung im Baubetrieb zu quantifizieren.

3.2 Die Einflüsse maschinen- und lohnintensiver Arbeiten

Sowohl die Grundleistung (Q_B) als Maximalwert der Leistung einer Baumaschine als auch der GZW als Minimalwert für die Dauer einer auszuführenden Arbeit sind nur unter idealen Bedingungen, d.h. keine Wirkung leistungsmindernder Einflüsse, auf der Baustelle und weder vom Mensch noch von der Maschine auf Dauer erreichbar. Beide beinhalten Ausgangsgrößen, welche die so genannten „technischen“ Parameter beinhalten. Es ist daher der Schluss zulässig, ebenfalls für durch die Arbeitperson geprägte Arbeiten einen Faktor für die Verteil- und Erholzeiten zu bestimmen und diesen dem GZW zuzurechnen. Gestützt wird dieser Ansatz durch Aussagen von Schröer [103] und die Festlegungen der in den gemeinsam vom Zentralverband des deutschen Baugewerbes, dem Hauptverband der deutschen Bauindustrie und der IG Bauen-Agrar-Umwelt herausgegebenen Arbeitszeit-Richtwerttabellen [66]. Es wird darin für die Verteilzeit ein Anteil von 15-20% (einschließlich des persönlichen Verteilzeitanteils von 5%) und für die Erholzeit von 5-10% angenommen.

In Analogie zur DIN ISO 9245 wird in dieser Untersuchung die Möglichkeit der Anpassung eines Zeitwertes an Einflüsse geprüft. Bei der Überprüfung der in Hoffmann [55 S.583] genannten Parameter sind Parallelen zwischen der Einstufung des Nutzleistungsfaktors (f_E) und den Einflussgrößen für lohnintensive Arbeiten als Basis zur Quantifizierung der Wirkung der Einflüsse auf den GZW (vgl. 1.3) festzustellen. Bei der Zuordnung der Einflüsse wurde sich an der Aufteilung nach Baustellen- und Betriebsbedingungen orientiert, jedoch ist diese nicht direkt auf die lohnintensiven Arbeiten übertragbar. Nachfolgende Tab. 1 listet die theoretisch auf lohnintensive Pflasterarbeiten wirkenden Einflüsse und deren Ursachen auf.

²⁰ Nach Hoffmann wird „zur Berücksichtigung der Verteil- u. Erholzeit erfahrungsgemäß mit einer Verfügbarkeit der Baumaschine von 50 min/h = 0,84 gerechnet.“[55 S.584]

Tab. 1 Einflüsse auf lohnintensive Pflasterarbeiten und deren Ursache

Einfluss	wird bedingt durch:
Qualifikation	Betrieb/Unternehmen
Leistungsbereitschaft	Betrieb/Unternehmen
Arbeitszeit	Betrieb/Unternehmen
Anzahl der Arbeitspersonen (Kolonne)	Betrieb/Unternehmen
Behinderungsgrad	Umfeld
Witterung	Umfeld
Baustellenorganisation	Baustelle
Baustelleneinrichtung	Baustelle
Mechanisierung	Objekt
Schwierigkeitsgrad Flächenzuschnitt	Objekt
auszuführende Leistung definiert durch Pflasterart, Bauweise und Verband	Objekt

Es werden im Unterschied zur DIN ISO 9245 neben den dort genannten Baustellenbedingungen zusätzlich Umfeldbedingungen und Objektbedingungen unterschieden, die unabhängig der Baustellenorganisation und -einrichtung auf den auszuführenden Vorgang wirken. Die zugeordneten Betriebsbedingungen Kolonne, Arbeitszeit sowie die fehlende Auflistung der persönlichen Verteil- und Erholzeit verdeutlichen den Bezug auf einen Zeitwert, der durch die Grund-, Verteil- und Erholzeit definiert ist (vgl. 2.2). Bei maschinenintensiven Arbeiten wird die Leistung der Maschine durch die Verteil- und Erholzeit, die aufgrund der Tätigkeit des Bedienungspersonals entsteht, gemindert, weil diese Einflussgrößen auf die Leistung sind. Tab. 1 gibt die Struktur zur Quantifizierung der Einflüsse auf den GZW bzw. Soll-Zeitwert (SZW) lohnintensiver Arbeiten.²¹ Der SZW entspricht der Vorgangsdauer.

Um eine dem Nutzleistungsfaktor f_E [55 S.584] entsprechende Matrix zur Bestimmung der Baustellen-, Betriebs- sowie Umfeldbedingungen lohnintensiver Arbeiten zu erarbeiten, gliedert sich die weitere Untersuchung wie folgt:

²¹ Die Definition des SZW und GZW sowie deren Ermittlung sind in 3.3 und 3.5.2.1 ausführlich erläutert.

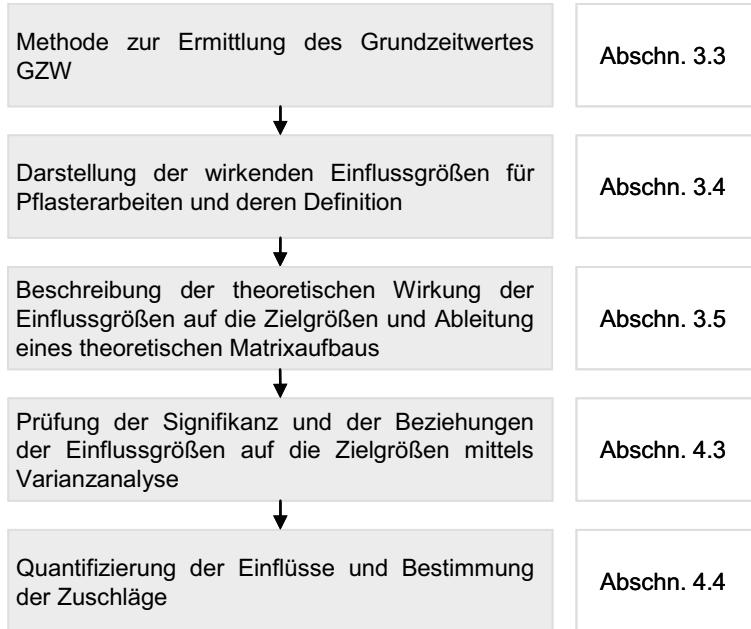


Abb. 13 Allgemeiner Untersuchungsablauf zur Quantifizierung der Einflüsse auf Zeitwerte

3.3 Methode der Grundzeitwert-Ermittlung

Die Methodik der Ermittlung der GZW basiert auf der Datenerfassung mit Hilfe der Multimomentaufnahme. Der Begriff der „Multimomentaufnahme“ stammt von DeJong und wurde 1954 erstmals im Schrifttum des REFA-Verbandes erwähnt (vgl. [14]). Seitdem wird diese Methode zur Untersuchung von Arbeitsprozessen verwendet und findet bis heute, trotz zunehmender Automatisierung und des technischen Fortschritts auf dem elektronischen Sektor, immer wieder Anwendung (vgl. [103, 105]).

Grundlage der Multimomentaufnahme ist das REFA-Standardprogramm, nach dem sich, ausgenommen des Leistungsgradbeurteilens²², auch die vorliegende Untersuchung richtet. Eine ausführliche Darstellung des Instruments der Multimomentaufnahme ist den REFA-Standardwerken [70, 120] zu entnehmen. Es wird zwischen der klassischen und der systematischen Multimomentaufnahme unterschieden. Bei der klassischen Multimomentaufnahme entsteht durch die unregelmäßigen Zeitintervalle, aufgrund der Grundforderung nach unabhängigen Beobachtungen, ein erhöhter Aufwand für die Vorbereitung sowie Verlustzeiten für den Beobachter durch unnötige Beobachtungspausen. Spranz [109] wies dazu nach, dass es nicht notwendig ist, auch die Beobachtungen zufällig anzurufen, um der Grundforderung unabhängiger Beobachtungen zu entsprechen. Lediglich sei zu vermeiden, dass das Intervall der Beobachtung nicht annähernd die gleiche Dauer hat, wie der Arbeitsvorgang selbst. Weiterführende Untersuchungen über die Genauigkeit klassischer und systematischer Multimomentaufnahmen ergaben, dass sowohl bei

²² Siehe dazu die ausführlichen Erläuterungen zur Problematik des Leistungsgradbeurteilens in 3.4.4.1.

regelmäßigen als auch bei unregelmäßigen Beobachtungsintervallen gleich große Streuungen der Zufallsvariablen bei gleicher Beobachtungszahl zu erwarten sind.[10 S.23ff, 109 S.80ff]

Voraussetzung für die angewendete systematische Multimomentaufnahme sind demnach nicht-rhythmische Arbeitsabläufe und eine wesentlich größere Dauer der einzelnen Ablaufabschnitte als die Dauer des Beobachtungsintervalls. „Praktisch erfolgt somit eine Annäherung an die Daueraufnahme als eine Zeitstudie mit grober Zeiteinteilung. Das Ergebnis wird genauer, wenn die Beobachtungen von einem Standpunkt aus erfolgen, also keine Rundgänge unternommen werden“.[112 S.42]

Für die Durchführung einer Multimomentaufnahme ist die Zuordnung der zur beobachteten Arbeit gehörenden Teiltätigkeiten entsprechend der jeweiligen Ablaufarten notwendig (vgl. Abb. 6). Mittels des mathematisch statistischen Verfahrens der Multimomentaufnahme wird durch das Zählen des Auftretens der Teiltätigkeiten zu festgelegten Zeitpunkten Auskunft über deren absolute (H_x) bzw. relative Häufigkeit (h_x), verbunden mit einer entsprechend statistisch gesicherten Genauigkeitsaussage, gegeben. Insbesondere durch die Möglichkeit, Arbeitsgruppen als Gesamtheit zu untersuchen, wird dieses Verfahren auf besondere Weise den Arbeitsbedingungen auf Baustellen an Zeitauswertungsverfahren gerecht und ist damit ebenfalls prädestiniert zur Ermittlung von Verteilzeitzuschlägen bzw. Störzeitanteilen [71, 86, 103, 133].

Ablauf der Grundzeitwert-Ermittlung

Die Methode zur Ableitung eines GZW am Beispiel Pflasterarbeiten bezieht sich auf eine Mengeneinheit und die tatsächlich dafür benötigte Zeitdauer. Der Wert ist demnach ein Zeitwert, der der Dauer je Mengeneinheit entspricht. Aufgrund der Ausführung von Pflaster- und Steinsetzarbeiten als Gruppenarbeit ist der GZW jederzeit durch Multiplikation mit der Anzahl der Arbeitspersonen in Lohnstunden pro Mengeneinheit umrechenbar.

Grundlage für die Ableitung des Zeitwertes sind, nach statistischer Aufbereitung des Datenmaterials, die durch die Multimomentaufnahme ermittelten Zeitanteile der einzelnen Ablaufarten. Es sind alle in 2.2.2 dargestellten, sowohl die Wertschöpfung prägenden als auch zu optimierenden Ablaufartenanteile durch die Multimomentaufnahme genau erfassbar.

Der über die nachfolgend dargestellte Methodik abgeleitete tägliche Grundzeitwert ($zw_g(a,tag)$) bezieht sich auf die jeweils beobachtete Bauarbeit (entspricht der ausgeführten Pflasterart (a)) und den Beobachtungstag (tag). Der $zw_g(a,tag)$ beinhaltet lediglich die Beobachtungen der Grundzeit ($H_g(a,tag)$) (Summe der Beobachtungen der Ablaufarten Haupttätigkeit ($H_{MH}(a,tag)$), Nebentätigkeit ($H_{MN}(a,tag)$) und ablaufbedingtes Warten ($H_{MA}(a,tag)$)). In Abb. 14 ist die Vorgehensweise zur Ableitung eines GZW(a) visualisiert. Anschließend werden die einzelnen Schritte zusammenfassend erläutert.

Für alle nachfolgenden Gleichungen und Berechnungsvorschriften gelten ebenfalls die Differenzierungen nach Pflasterart und Beobachtungstag auf Seite 16.

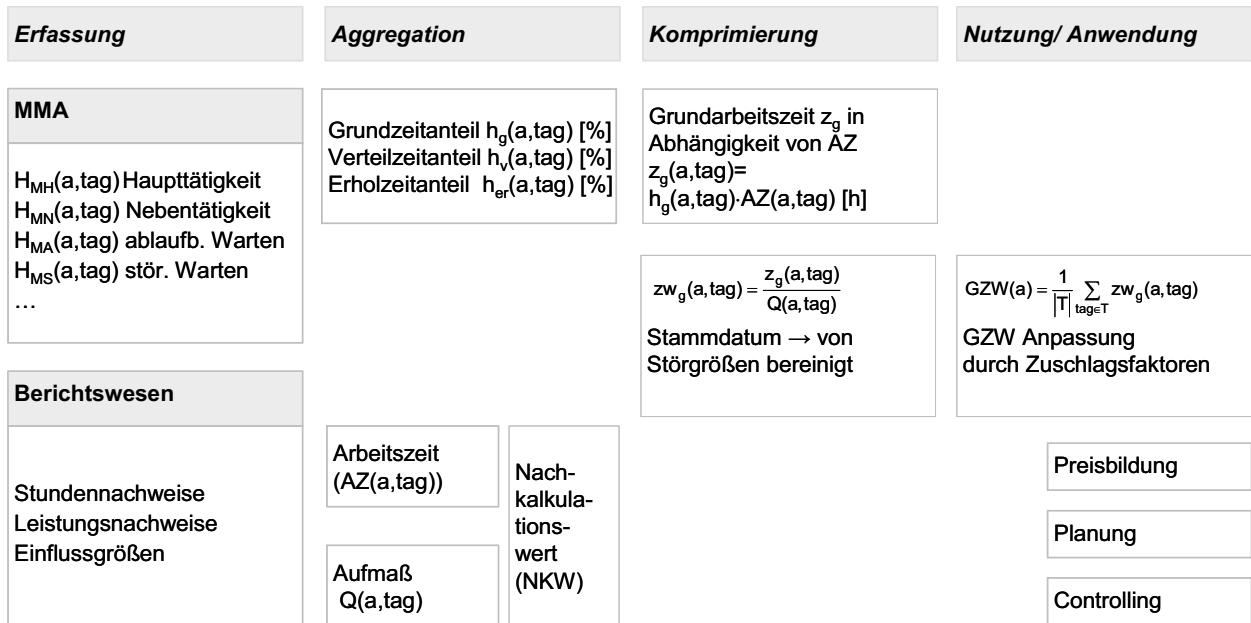


Abb. 14 Ermittlung des GZW(a) der jeweilig ausgeführten Pflasterarbeit

- **Erfassung**

Mit Hilfe der Multimomentaufnahme wird die absolute Häufigkeit (H_x) des Auftretens der einzelnen Ablaufarten erfasst. Gleichzeitig werden die aufgemessene Leistung ($Q(a,tag)$) nach DIN 18318 [24], die Arbeitszeit ($AZ(a,tag)$) sowie alle den Prozess beeinflussenden Faktoren und Randbedingungen notiert, um für die spätere Auswertung ein ausreichendes Niveau an Nachvollziehbarkeit zu erhalten. Nach Ende der täglichen Beobachtungen wird das in den Aufnahmebögen²³ vermerkte Auftreten der einzelnen Vorgänge ausgezählt und aufsummiert, so dass mit dem Bezug auf die tägliche Arbeitszeit ($AZ(a,tag)$) relative (prozentuale) Anteile (h_x) der einzelnen Zeitarten ableitbar sind.

- **Aggregation**

Aus der Aufsummierung der Beobachtungen sind die Anteile der einzelnen Ablaufarten ableitbar. Aus diesen lässt sich der Anteil der Grundzeit (h_g), Verteilzeit (h_v) und Erholzeit (h_{er}) in Bezug auf die Gesamtbeobachtungszahl (n) pro Tag berechnen. Nach statistischer Aufbereitung der Daten erfolgt die Ermittlung der effektiv zur Pflasterverlegung genutzten Zeit (z_g), die sich aus der Summe der Anteile der Ablaufarten Haupttätigkeit (MH), Nebentätigkeit (MN) und ablaufbedingtes Warten (MA) multipliziert mit der täglichen AZ bildet. Die Grundzeit ($z_g(a,tag)$) entspricht somit der von REFA definierten Grundzeit (t_g).

Die Quotientenbildung der täglich erfassten aufgemessenen Leistung ($Q(a,tag)$) und

²³ Ein Beispielaufnahmebogen ist im Anhang A (A.1.2) dargestellt.

der Arbeitszeit ($AZ(a,tag)$) ergibt den Nachkalkulationswert (NKW) (vgl. 1.3), der alle sowohl unmittelbaren als auch mittelbaren zur Wertschöpfung auf der Baustelle beitragenden Zeitanteile beinhaltet.

- Komprimierung

Die Zeit, die tatsächlich für die Wertschöpfung auf der Baustelle von der beobachteten Kolonne pro Tag benötigt wird, um einen m^2 der ausgeführten Oberflächenbefestigung herzustellen, lässt sich nach Formel 7 berechnen.

Formel 7 Berechnung des täglichen Grundzeitwertes ($zw_g(a,tag)$) für eine Pflasterart

$$zw_g(a,tag) = \frac{z_g(a,tag)}{Q(a,tag)} \quad [\text{Zeit/Einheit}]$$

$a \in A_{tag}$, $tag \in T$

$$z_g(a,tag) = h_g(a,tag) \cdot AZ(a,tag) \quad [\text{Zeit}] \quad h_g(a,tag) = \frac{H_g(a,tag)}{n(a,tag)} \quad [\%]$$

$$H_g(a,tag) = H_{MH}(a,tag) + H_{MN}(a,tag) + H_{MA}(a,tag)$$

$zw_g(a,tag)$	Zeitwert Grundzeit
$z_g(a,tag)$	Grundzeitanteil an der Arbeitszeit
$AZ(a,tag)$	Arbeitszeit
$Q(a,tag)$	täglich aufgemessene Leistung entsprechend der Pflasterart
$n(a,tag)$	Beobachtungszahl entsprechend Pflasterart und Beobachtungstag
$h_g(a,tag)$	relative Häufigkeit der Beobachtungen
$H_g(a,tag)$	absolute Häufigkeit der Beobachtungen Grundzeit
$H_{MH}(a,tag)$	absolute Häufigkeit der Beobachtungen Haupttätigkeit
$H_{MN}(a,tag)$	absolute Häufigkeit der Beobachtungen Nebentätigkeit
$H_{MA}(a,tag)$	absolute Häufigkeit der Beobachtungen ablaufbedingtes Warten

Auf Basis der für jeden Beobachtungstag (tag), die Kolonne und die verarbeitete Pflasterart (a) ermittelten täglichen GZW ($zw_g(a,tag)$) wird ein gemittelter Grundzeitwert der Pflasterart (GZW(a)) berechnet. Dieser GZW(a) ist für das Unternehmen ein auf eine Mengeneinheit der beobachteten Arbeit sowie die jeweilige Kolonne bezogenes Stammdatum:

Formel 8 Berechnung des durchschnittlichen Grundzeitwertes (GZW(a))

$$GZW(a) = \frac{1}{|T|} \sum_{tag \in T} zw_g(a,tag) \quad [\text{Zeit/Einheit}]$$

$a \in A_{tag}$, $tag \in T$

$GZW(a)$	Mittelwert der Grundzeitwerte (GZW) der Pflasterart
$zw_g(a,tag)$	täglicher GZW je Pflasterart und Beobachtungstag

Bei dem nach der beschriebenen Methode ermittelten GZW(a) handelt es sich um einen Zeitwert, der durch die alleinige Verwendung des Grundzeitanteils ($z_g(a,tag)$) keine störenden Einflüsse beinhaltet. Die Verteil- und Erholzeiten, die nur mittelbar dem Wertschöpfungsprozess auf der Baustelle dienen und grundsätzlich nicht vollständig zu vermeiden sind, werden mittels beschriebener Aufnahmetechnik herausgefiltert. Der GZW(a) ist ein Zeitwert (Vorgangsdauer) für die jeweilig beobachtete Arbeit unter „idealen“ Bedingungen, die auf der Baustelle jedoch kaum realisierbar sind.²⁴ Es ist folgend zu prüfen, inwieweit der GZW(a) durch die nicht zu beeinflussenden Rahmenbedingungen der Baustelle und des Projektes (Vorhaben) geprägt ist.

Grundlegend sind bei Verwendung des berechneten GZW(a), beispielsweise für die Planung oder Preisbildung, Zuschläge für Verteil- und Erholzeiten in Abhängigkeit der diese Zeitartenanteile prägenden Einflüsse hinzuzurechnen, um den SZW als einen alle Zeitanteile beinhaltenden Zeitwert zu berechnen. Infolgedessen müssen alle anzunehmenden Einflussgrößen definiert und in Hinblick auf ihre mögliche Wirkung untersucht werden, so dass die Quantifizierung der Einflüsse entsprechend ihrer Wirkung in Form einer Zuschlagsfaktorenmatrix zu einer einfachen, schnellen und sicheren Anpassung der GZW(a) führt.

3.4 Einflüsse auf Zeitwerte lohnintensiver Arbeiten

3.4.1 Gliederung der Einflüsse am Beispiel Pflasterarbeiten

Bautechnologische Vorgänge sind aufgrund der Besonderheit der Baustellenfertigung durch eine Vielzahl von nicht vorher bestimmbaren Einflüssen geprägt (vgl. 2.1.1).

Das Zeitverhalten bei der Realisierung einer Bauarbeit trägt stochastischen Charakter, d.h. die notwendige Dauer zur Realisierung einer Bauarbeit kann durch einen „Festwert“ nicht zutreffend beschrieben werden. Das bedeutet, dass bei einer vorgegebenen Arbeitsaufgabe die Dauer zu deren Realisierung durch das Einwirken verschiedener Einflüsse innerhalb eines Intervalls bestimmt ist.[88 S.27]

REFA [70] spricht in diesem Zusammenhang von der Problematik des Ermittelns der Einflussgrößen und deren Vernachlässigung, da es als viel aufwändiger angesehen wird, als die Erfassung der Zeit selbst. Im Ergebnis werden dadurch scheinbar genaue Zeiten für einen ungenau beschriebenen Ablaufabschnitt erhalten. Aufgrund dieser Sachlage ist es für die Quantifizierung der Wirkung der Einflüsse zunächst notwendig, die wichtigsten auf den Arbeitsvorgang wirkenden Faktoren zu definieren, zu erfassen und nachzuweisen, um in einem weiteren Schritt die Wesentlichen von den Unwesentlichen abstrahieren zu können.

²⁴ In der Praxis wird den idealen Bedingungen auch der Begriff „Laborbedingungen“ gleichgesetzt. Sie beinhalten keine störenden zeit- bzw. leistungsmindernden Einflüsse.

Die Genauigkeit der abgeleiteten Zeitwerte ist unmittelbar mit der Zuverlässigkeit und Vollständigkeit der als wesentlich erfassten Einflussgrößen verbunden. Die zeitlichen Unterschiede für die Ausführung eines Arbeitsvorgangs werden durch die Zeitarten bestimmenden Einflüsse beschrieben. Allgemein unterteilt man nach REFA [70] Einflussgrößen auf Baustellen in unwesentliche (nicht signifikante) und wesentliche (signifikante) (Abb. 15). Nicht erkannte oder aus Wirtschaftlichkeitsgründen nicht erfasste Einflussgrößen sind dabei wie unwesentliche Einflussgrößen zu behandeln [34].

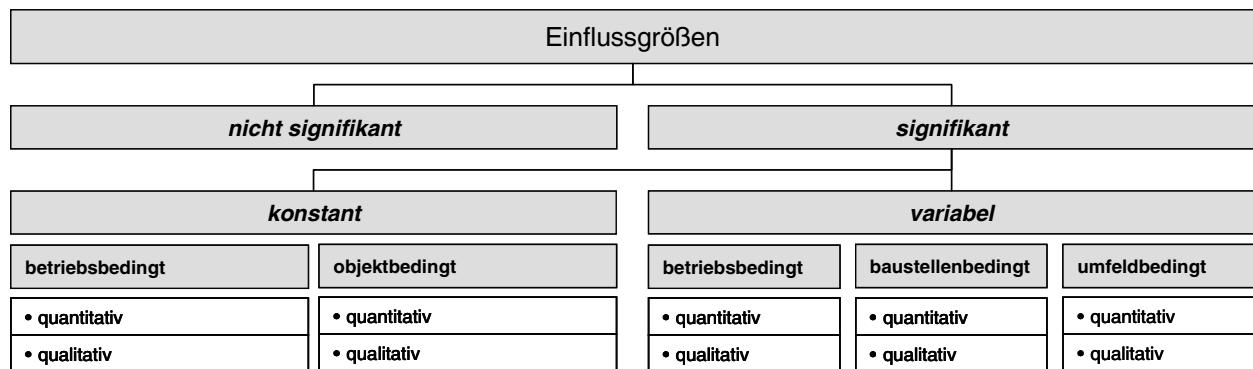


Abb. 15 Gliederung der Einflussgrößen (in Anlehnung an REFA [70] und DIN ISO 9245 [55])

In Anlehnung sowohl an die in REFA [70] beschriebene Unterteilung der konstanten und variablen Einflussgrößen in qualitative (Ausprägungen nominal oder ordinal skaliert) und quantitative (mess- oderzählbar) als auch die DIN ISO 9245 [55] wird, um die Quantifizierung zu erleichtern, in dieser Untersuchung bei den signifikanten Einflüssen zwischen betriebs-, baustellen- und umfeldbedingten Einflüssen unterschieden. Da die Zeitwerte direkt auf der Baustelle mittels Multimomentaufnahme ermittelt werden, ist bei den variablen Einflüssen eine getrennte Berücksichtigung der allgemeinen Baustellenbedingungen (Organisation) von den Umfeldbedingungen erforderlich.

Baustellenbedingungen sind definiert als die durch die Baustellenorganisation und –einrichtung kompensierten Rahmenbedingungen der Baustelle (Gegebenheiten der Baustelle).

Die Umfeldbedingungen werden in dieser Untersuchung definiert als spezifisch auf das Vorhaben bzw. Objekt wirkende Einflüsse (beispielsweise die Witterung) (vgl. 3.2).

Die variablen Betriebsbedingungen umfassen die Ausgangsgrößen des Unternehmens sowie dessen interne Organisation (beispielsweise die Zusammenarbeit zwischen Kolonnen und Bauleiter etc.).

REFA folgend wird sowohl innerhalb der konstanten als auch der variablen Einflussgrößengruppen zwischen quantitativ und qualitativ unterschieden. In dieser Untersuchung werden die auf Baustellen wirkenden Einflussgrößen am Beispiel von Pflasterarbeiten dargestellt und begründet.

Die auf die Ausführung von Pflasterarbeiten angenommenen Einflüsse (Tab. 1) wurden nach Möglichkeit quantitativ erfasst. Zum Großteil konnten diese jedoch nur aufgrund der Kenntnis von Sachzusammenhängen subjektiv bewertet und notiert werden. Für die Ableitung der Wirkung auf die Zielgrößen werden folgende Fragen untersucht:

1. Welches sind am Beispiel Pflasterarbeiten wirkende Einflüsse? Welche davon sind explizit zu berücksichtigen, um zu statistisch gesicherten Aussagen zu gelangen?
2. Welche Einflussgrößen haben tatsächlich eine nachweisliche Wirkung?
3. Ist die Quantifizierung der Einflüsse lohnintensiver Arbeiten ähnlich der Tabelle für f_E der DIN ISO 9245 [55] möglich?

3.4.2 Einflussgrößen lohnintensiver Arbeiten am Beispiel Pflasterarbeiten

Pflasterungen gehören zum oberflächennahen Abschluss auszuführender Arbeiten innerhalb eines Bauauftrages. Sie werden aufgrund paralleler Bauablaufplanung häufig zeitgleich zu Hoch- und Tiefbaumaßnahmen innerhalb eines Projektes ausgeführt. Somit sind zusätzlich auf die eigentliche Arbeitsausführung wirkende Einflüsse, wie die allgemeine Baustellenorganisation oder Ablaufplanung, mit zu berücksichtigen. Pflaster- und Steinsetzarbeiten zählen zu den lohnintensiven Gewerken. Sie werden entsprechend des Materials, der Geometrie sowie des Verbandes vielfach mit der Hand ausgeführt und als körperlich sehr anstrengend eingestuft [128]. In Abhängigkeit des vom Auftraggeber gewünschten Materials und Verbandes (beispielsweise großformatige Platten²⁵) werden zunehmend die Möglichkeiten der maschinellen Verlegung zur Erhöhung der Verlegeleistung und damit zur Steigerung der Produktivität genutzt.

Bauarbeiten werden in der Regel sowohl innerörtlich als auch außerhalb von Siedlungen in sich geschlossenen bzw. abgegrenzten Bereichen ausgeführt. Die Lage einer Baustelle spielt daher bei Betrachtung des Gewerks Pflaster- und Steinsetzarbeiten nur eine untergeordnete Rolle. Lediglich die Anlieferung von Materialien und Baustoffen kann beispielsweise im innerörtlichen Bereich mit Verzögerungen durch den Stadtverkehr verbunden sein und damit direkte Auswirkungen auf den Arbeitsfortschritt haben. Dieses ist in dieser Untersuchung im Behinderungsgrad erfasst.

Des Weiteren zählen, neben dem grundsätzlich auf die Bauausführung wirkenden baustellenbedingten Einflussfaktor Baustelleneinrichtung/-organisation, auch die betriebsbedingten Einflüsse: Qualifikation der Arbeitspersonen, Zusammensetzung der Kolonnen sowie Arbeitszeit und Leistungsbereitschaft. Gleichermassen sind als Grundlage der Einordnung des Zeitwertes die objektbedingten Einflussgrößen: Bauweise, zu verarbeitendes Material, Flächenzuschnitt sowie der Verband zu berücksichtigen. Die Möglichkeit des Einsatzes von Verlegemaschinen ist im Mechanisie-

²⁵ Merkblatt für Flächenbefestigungen mit Pflaster und Plattenbelegen [30]: Platten im Sinne dieses Merkblattes sind Erzeugnisse mit einem Verhältnis Länge zu Dicke (L zu D) ≥ 4 .

rungsgrad erfasst und technisch abhängig von den jeweiligen Flächengrößen und deren Zuschnitt. Der Mechanisierungsgrad zählt daher ebenfalls zu den Objektbedingungen. Zusätzlich haben die Witterung und der Behinderungsgrad, als umfeldbedingte Einflüsse, Wirkungen auf die Dauer der Ausführung der Arbeit und damit auf die Leistung und den zu erwartenden Zeitwert.

Die o. g. Einflüsse werden in einer in Fleischmann [28] zitierten Forschungsarbeit bestätigt, welche eine prinzipielle Wirkung von Einflussgrößen bei Analysen verschiedener Industriebaumaßnahmen nachweist. Darin ergaben die von einem Büro geplanten und vergebenen Projekte erst nach Korrektur mit so genannten Einflussfaktoren vergleichbare Einheitspreise. Als wichtigste Einflussgrößen werden der objektbedingte Schwierigkeitsgrad bei der Herstellung der Elemente, die Arbeitsbedingungen, die Baustellenverhältnisse sowie jahreszeitliche Einflüsse genannt [28 S.17].

Die Zuordnung der aufgezählten Einflussgrößen auf Pflasterarbeiten aus Tab. 1 ist in Anlehnung an die Unterteilung der Abb. 15 und der Zuordnung der Einflüsse der DIN ISO 9245 [55 S.584] für maschinenintensive Arbeiten in Abb. 16 dargestellt. Es ist zwischen Wirkungen auf die den GZW prägende aufgemessene Leistung $Q(a,tag)$ und auf die Zeitartenanteile der Verteil (h_v)- und Erholzeit (h_{er}) zu unterscheiden.

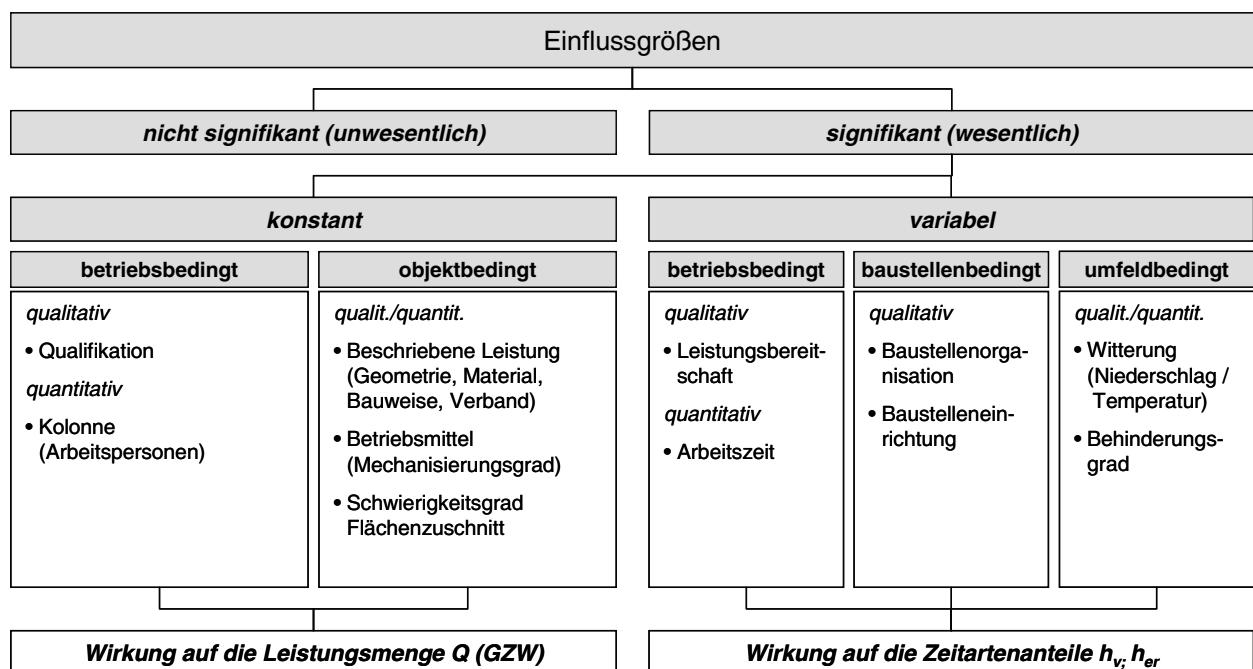


Abb. 16 Einflussgrößen auf Pflasterarbeiten (in Anlehnung an REFA [70] und DIN ISO 9245 [55])

Die signifikanten variablen Einflüsse haben bei gleichartigen Tätigkeiten Wirkung auf Anteile der Verteilzeit (h_v) und der Erholzeit (h_{er}) und damit auf die mittelbare Wertschöpfung. Die Einflussgrößen sind teilweise nicht vorhersagbar und tragen stochastischen Charakter. Sie führen zu einer Erhöhung des dem GZW aufzuschlagenden

Anteils. Die tatsächliche Dauer der Ausführung des beobachteten Vorgangs pro Mengeneinheit ändert sich dementsprechend.

Im Vergleich dazu sind die signifikanten, konstanten Einflussgrößen vorhersehbare Einflüsse, die den technischen Parametern der Ermittlung der Grundleistung (Q_B) für Baumaschinen nach DIN ISO 9245 [22, 55] gleichzusetzen sind. Sie charakterisieren den GZW durch ihre unmittelbare Wirkung auf die aufgemessene Leistung ($Q(a,tag)$) und haben somit direkten Einfluss auf die Wertschöpfung.

Um die Zuordnung aller Einflussgrößen klar abzugrenzen, werden im nächsten Abschnitt die in Abb. 16 genannten Faktoren definiert, die Art der Erfassung begründet sowie deren Stufungen für die Einordnung als Voraussetzung zur Ermittlung der Zuschläge bestimmt.

3.4.3 Konstante Einflussgrößen am Beispiel Pflasterarbeiten

3.4.3.1 Konstante betriebsbedingte Einflussgrößen

Pflasterarbeiten sind lohnintensive Arbeiten, bei denen die Arbeitspersonen leistungsbestimmend sind. Der abgeleitete Zeitwert ist aufgrund der Aufnahmemethode der Multimomentaufnahme geprägt von der Zusammensetzung der Kolonne und der Qualifikation der einzelnen Arbeitspersonen. Prinzipiell wird von den konstanten Einflüssen eine direkt auf die aufgemessene Leistung ($Q(a,tag)$) prägende Wirkung angenommen. Der Grundzeitanteil (h_g) wird unabhängig der bei der Ausführung herrschenden Bedingungen (Kolonne, Material, Verband etc.) als anteilig gleich bleibend an der Gesamtverteilung der Zeitarten vorausgesetzt.

Kolonne

Pflaster- und Steinsetzarbeiten werden in der Regel von ausgebildeten und für diese Arbeiten spezialisierten Facharbeitskräften ausgeführt. Auch die in dieser Untersuchung beobachteten Kolonnen der vier Unternehmen waren speziell für diese Arbeiten zusammengestellt. Es sind keine Unterschiede hinsichtlich der Qualität der Arbeitsausführung zwischen den Kolonnen zu beobachten gewesen. Es kann von einem einheitlichen Grad an Qualifikation und Berufserfahrung der Kolonnen ausgegangen werden, da diese gut eingearbeitet und in den jeweiligen Kolonnenzusammensetzungen bereits länger tätig waren. Damit bleibt das Kriterium der Qualifikation für die weitere Analyse unberücksichtigt.

Innerhalb der Kolonnen ist eine zeitweilige Schwankung der Arbeitspersonenanzahl aufgrund der betriebsbedingten Ressourcenplanung bzw. persönlicher Ausfallzeiten nicht vollständig vermeidbar. Die Erfahrungswerte der an der Untersuchung beteiligten Baufirmen gehen von einer idealen Kolonnenbesetzung für die Ausführung von Pflasterarbeiten mit 4 bis maximal 6 Arbeitspersonen aus. Kolonnenstärken darüber oder darunter führen theoretisch durch ineffiziente Arbeitsausführung zu Leistungseinbußen (beispielsweise eine gegenseitige Behinderung bei Überbesetzung).

Obwohl die beobachteten Kolonnen in der Regel der idealen Arbeitspersonenanzahl entsprachen, traten auch in dieser Untersuchung temporäre Schwankungen aufgrund von urlaub- und krankheitsbedingten Ausfällen auf. Für die Analyse des Einflusses der Kolonnenstärke (Arbeitspersonenanzahl) wurde daher folgende Einteilung zur Überprüfung der Wirkung des Einflusses Kolonne festgelegt:

Tab. 2 Kolonnenstärke

Kolonnenstärke (Arbeitspersonenanzahl)	
1	≤ 3 Arbeitspersonen
2	4 Arbeitspersonen
3	5 Arbeitspersonen
4	6 Arbeitspersonen
5	7 Arbeitspersonen
6	≥ 8 Arbeitspersonen

Es wird darauf hingewiesen, dass alle Beobachtungen zu Zeitpunkten stattfanden, an denen die Baustellen bereits über mehrere Tage in Betrieb waren und daher eingearbeitete Arbeitsabläufe hinsichtlich Arbeitsaufgabenverteilung und –organisation innerhalb der Kolonne vorausgesetzt werden konnten. Mögliche Einarbeitungseffekte (vgl. [78 S.289f]) sind auszuschließen.

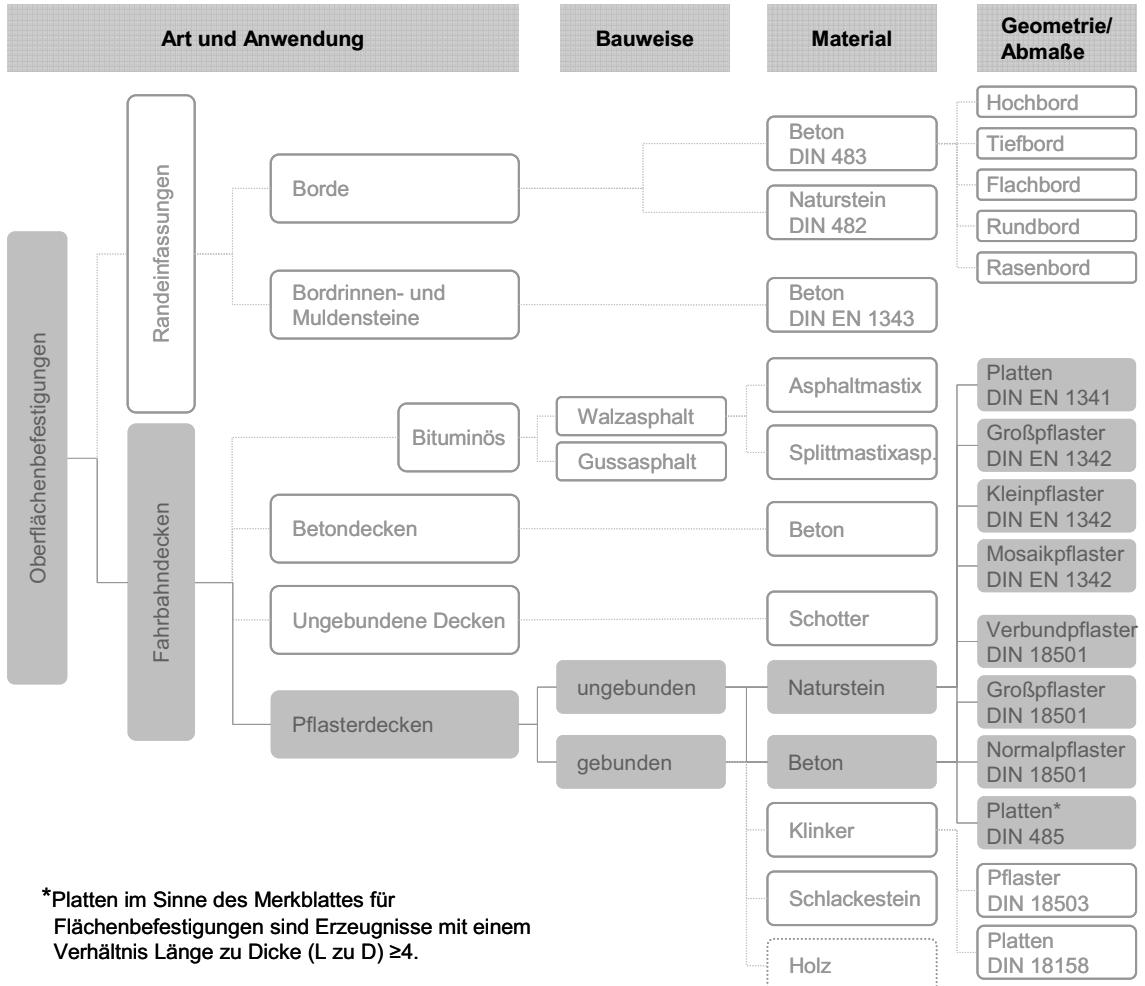
Inwieweit die direkte Wirkung der Arbeitspersonenanzahl auf die aufgemessene Leistung ($Q(a,tag)$) bei der Quantifizierung der Einflussgrößen zu berücksichtigen ist, wird in 3.5.1.1 untersucht.

3.4.3.2 Konstante objektbedingte Einflussgrößen

Beschreibung der Bauarbeit

Pflasterarbeiten gehören zu den Oberflächenbefestigungen. Gemäß der Art und Funktion, des Materials sowie der Geometrie lässt sich die in Abb. 17 dargestellte Gliederung aufstellen²⁶. Die dunkel hervorgehobenen Bereiche beziehen sich auf die in dieser Untersuchung analysierten Pflasterarbeiten.

²⁶ Grundlage der Erstellung dieser Gliederung sind Auswertungen der DIN Normen [23, 31], der Fachliteratur [69, 79, 107, 127] sowie Konsultationen von Fachleuten.



*Platten im Sinne des Merkblattes für Flächenbefestigungen sind Erzeugnisse mit einem Verhältnis Länge zu Dicke (L zu D) ≥ 4 .

Abb. 17 Pflaster im System der Oberflächenbefestigungen

Zur einfacheren Identifikation wurde jeder ausgeführten Arbeit für die Datenaufnahme, die anschließende Einpflege in eine Datenbank und die Auswertungsanalyse eine Schlüsselnummer in Anlehnung an das Programm sirAdos [108] zugewiesen. Die gewählte Nummer hat keinen Bezug zu den in den Beispielunternehmen gegebenenfalls verwendeten Bauarbeitenschlüsseln (BAS). Aufgrund der Datenhaltung in einer relationalen Datenbank ist es jedoch jederzeit möglich, durch zusätzliches Einfügen und Verknüpfen einer den betriebsinternen BAS definierenden Tabelle, die Schlüsselnummer auf das spezielle Unternehmen anzupassen.

Die gewählte Nummerierung gliedert sich entsprechend der ausgeführten Vorgänge nach folgenden Hauptkriterien:

Tab. 3 Kriterien zur Beschreibung der ausgeführten Vorgänge

Kriterien zur Beschreibung der ausgeführten Arbeit	
Material	Naturstein oder Beton
Geometrie	Pflaster, Platten oder Borte
Bauweise	gebunden, ungebunden oder gesetzt

Die Zuweisung von Schlüsselnummern für gleiche Vorgänge auf verschiedenen Baustellen ist Basis der Zeitwertermittlung. Die Beschreibung des Vorgangs ist die grundlegende Charakteristik des jeweiligen absoluten Zeitwertes und ermöglicht so die Vergleichbarkeit dieser zwischen den Unternehmen sowie den verschiedenen Baustellen und gewährleistet die in 2.1.3 geforderte Reproduzierbarkeit der Zeitwerte.

Die vollständige Zuordnung der Schlüsselnummern zu den beobachteten Pflasterdeckenarbeiten ist im Anhang C (0) dargestellt. Für die statistische Analyse ist diese Gliederungstiefe jedoch zu detailliert, so dass nach Abb. 17 Gruppen entsprechend des Materials und der Geometrie, auf der Grundlage unterschiedlich anfallenden Arbeitsaufwandes, gebildet wurden (Tab. 4).

Tab. 4 Pflasterarten

Pflasterarten	
1	Betonpflaster (ungebunden)
2	Betonpflaster (gebunden)
3	Natursteinpflaster
4	Betonplatten
5	sonstige (Borde, Rinnen etc.)

Die Bauweise wurde zunächst in Kombination zusammen mit der Materialart und der Geometrie als Kriterium erfasst. Aufgrund des unterschiedlich zu erwartenden Arbeitsaufwandes ist sie jedoch separiert und als zusätzliche Einflussgröße in Tab. 5 berücksichtigt worden. Dies hat zur Folge, dass in der Auswertung die Pflasterart 2 (Betonpflaster gebunden) nicht besetzt ist und in der späteren Auswertung als solche daher fehlt (vgl. Tab. 4).

Tab. 5 Bauweisen

Bauweise	
u	ungebundene Bauweise (Regelbauweise)
gb	gebundene Bauweise
s	gesetzte Bauweise (Borde)

Sowohl die Verlegung der Pflastermaterialien (entsprechend der Wünsche des Auftraggebers) im Zierverband oder in Farbkombinationen, als auch die Eigenschaften des Materials, wie beispielsweise die Stoßempfindlichkeit oder nicht exakte Abmaße bei Natursteinen, bedeuten eine diffizilere Handhabung und einen höheren Aufwand an Sorgfalt. Daraus resultiert ein theoretisch erhöhter Zeitwert, denn ein an den Kanten gefaster und mit vorgefertigten Abstandshaltern versehener Stein ist leichter zu setzen, als ein zu Kantenabplatzungen neigender und ohne Abstandshalter versehener Stein.

Somit ist dieser in der Handhabung anspruchsvoller. Es folgt daraus die Unterteilung der Pflaster entsprechend der Schwierigkeit des Verbands in:

Tab. 6 Verband

Verband	
e	einfacher Verband (keine Musterung) und/oder unempfindliches Material
s	schwieriger Verband (Musterung) und/oder empfindliches Material

Mechanisierungsgrad

Die bei Pflasterarbeiten eingesetzten Betriebsmittel beschränken sich im Wesentlichen auf Kleinwerkzeuge sowie Radlader, Ramm- bzw. Rüttelplatten und Abziehlehren. Wenn es die Baustellenbedingungen und das Material zulassen, sind der Einsatz selbst fahrender Verlegegeräte, handgeföhrter Verlegemaschinen bzw. hydraulischer Verlegegeräte als Anbaugeräte an Minibagger oder Vakuumgeräte möglich. Diese erleichtern die körperliche Arbeit und verringern die spezifischen Verlegekosten durch höhere Leistungen und einen geringeren Zeitaufwand

Als Einflussgröße für Pflasterarbeiten ist daher zwischen der Maschinenverlegung und der traditionellen Handverlegung im Ablegeverfahren zu unterscheiden. Die Hilfsmittel wie Radlader oder Rüttelplatte zählen dabei nicht als „Mechanisierung“, da sie den Arbeitsprozess lediglich unterstützen.

Tab. 7 Mechanisierungsgrad (MGrad)

Mechanisierungsgrad	
0	traditionelle Verlegung per Hand
1	Verlegung mit Verlegemaschine (selbst fahrend)

Der Mechanisierungsgrad (Tab. 7) hat direkten Einfluss auf die aufgemessene Leistung (Q(a,tag)). Die Zeitartenverteilung wird als gleich bleibend im Vergleich zur traditionellen Verlegung per Hand vorausgesetzt. Der Zeitwert ist für Maschinenverlegungen daher als deutlich geringer anzunehmen.

Schwierigkeitsgrad Flächenzuschnitt

Hinsichtlich des Flächenzuschnitts ist der Schwierigkeitsgrad einer Pflasterarbeit anhand des Hau- und Schnittkantenverhältnisses bestimmbar. Grundlage der Einteilung ist der Akkordtarifvertrag für Pflaster- und Steinsetzarbeiten [8] sowie die ART-Tabellen Pflaster- und Steinsetzarbeiten [19]. Darin werden bis zu einem Quotienten von 0,33m Hau- und Schnittkanten pro m² Fläche keine Zulagen erteilt. Es ist demnach bis zum Quotienten 0,3 kein aus tarifrechtlicher Sicht erhöhter Arbeits- und damit Zeitaufwand zu erwarten. Für die vorliegende Untersuchung wurde der Flächenzuschnitt entsprechend Tab. 8 unterteilt.

Tab. 8 Schwierigkeitsgrad Flächenzuschnitt (Hau- und Schnittkantenverhältnis)

Schwierigkeitsgrad Flächenzuschnitt	
g	0,1: gering; vorwiegend auf Großflächen im nicht innerörtlich Bereich
m	0,2: normal; im innerörtlich Bereich, mittlere bis größere Flächen mit Einfassungen, Straßeneinläufen etc.
h	0,3: hoch; vorwiegend auf innerörtlich Flächen, viele Anschlüsse an vorhandene Pflasterungen, häufige Einfassungen und Aussparungen, Straßeneinläufe etc.

Um eine gleich bleibende und sichere Einstufung des Schwierigkeitsgrades Flächenzuschnitt auf allen Baustellen während der Multimomentaufnahme zu garantieren, wurde als Referenzobjekt auf der Baustelle 1 das Hau- und Schnittkantenverhältnis berechnet.²⁷ Über die Bildung des Quotienten bezogen auf die erstellte Fläche pro Tag und die vorhandenen Schnittkanten, die auf Baustelle 1 gemessen wurden, ist die während der Aufnahme geschätzte Schwierigkeitsstufe überprüft und bei begründeten Abweichungen korrigiert worden. Die damit erhaltene Stufung diente in den Folgeuntersuchungen als Vorlage für die Abschätzung des Schwierigkeitsgrades und wurde stichprobenmäßig auf den jeweiligen Baustellen durch erneute Berechnungen auf ihre Richtigkeit geprüft.

3.4.4 Variable Einflussgrößen am Beispiel Pflasterarbeiten

3.4.4.1 Variable betriebsbedingte Einflussgrößen

Die variablen Einflussgrößen prägen die Zeitanteile, die nicht direkt der Wertschöpfung auf der Baustelle dienen, jedoch nie vollständig vermeidbar sind.

Arbeitszeit

Voraussetzung für die Berechnung des GZW sind neben dem Grundzeitanteil ($h_0(a,tag)$) die tägliche Arbeitszeit (AZ) und die aufgemessene Leistung ($Q(a,tag)$) (vgl. 3.3). Nach dem Arbeitszeitgesetz²⁸ darf die werktägliche Arbeitszeit des Arbeitnehmers acht Stunden nicht überschreiten. Der Arbeitnehmer kann jedoch bis zu maximal 10 Stunden täglich beschäftigt werden, wenn die mehr gearbeitete Zeit innerhalb von sechs Monaten bzw. 24 Kalenderwochen wieder ausgeglichen wird.²⁹ Aus arbeitspsychologischer und -physiologischer Sicht führt die Überschreitung einer täglichen Arbeitszeit von acht Stunden jedoch durch die Verlängerung des Arbeitszeitfensters eher zu einer Leistungsminderung als -steigerung (Abb. 18). Bei längeren

²⁷ Eine ausführliche Beschreibung der Beispielbaustellen befindet sich in Tab. 35 auf S. 96.

²⁸ § 3 ArbZG, Arbeitszeitgesetz vom 6. Juni 1994 (BGBl. I S. 1170, 1171) Stand: Zuletzt geändert durch Art. 229 V v. 31.10.2006 I 2407.

²⁹ Tarifverträge oder auf Basis von Tarifverträgen geschlossene Betriebsvereinbarungen können den Ausgleichszeitraum abweichend regeln.

Arbeitszeiten tritt neben einer zunehmenden Ermüdung gleichzeitig eine Verminderung der Leistungsbereitschaft auf, die die Zeitartenverteilung, d.h. das Verhältnis Verteilzeit (h_v) und Erholzeit (h_{er}) zur Grundzeit (h_g) verändert und damit die Wertschöpfung beeinflusst.

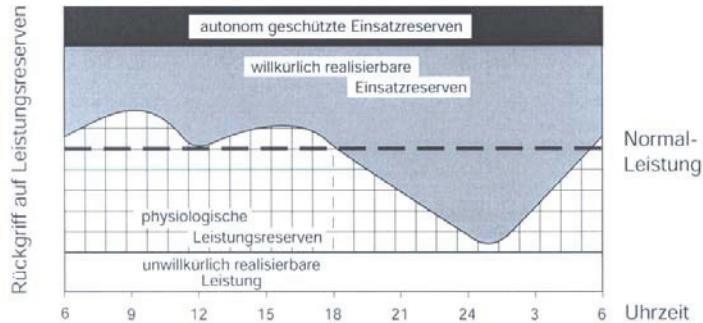


Abb. 18 Leistungsvermögen in Abhängigkeit der Tageszeit und der Arbeitszeitdauer [84 S.15]

Die Arbeitszeit (AZ) auf den Untersuchungsbaustellen betrug in der Regel nicht mehr als acht Stunden. Extremereignisse (Witterung), die eine Einstellung der Pflasterarbeiten verursachten, verkürzten diese entsprechend für den jeweiligen Beobachtungstag. Für die Berechnung der GZW hat dies jedoch keine relevante Bedeutung, denn auch in kürzeren oder längeren Produktionszeiten haben die auf der Baustelle wirkenden Faktoren Folgen auf die Zeitartenverteilung. Für die Analyse ist die Arbeitszeit (AZ) in folgende Arbeitszeitgruppen eingeteilt worden:

Tab. 9 Arbeitszeitgruppierung

Arbeitszeitgruppe	tägliche Arbeitszeit
1	≤ 4 Stunden
2	$> 4 \leq 8$ Stunden
3	$> 8 \leq 10$ Stunden

Aus der Gesamtbeobachtung wurden nicht gerechtfertigte Vorgänge in Anlehnung an die REFA Verteilzeitaufnahme (vgl. [93 S.210]) eliminiert, da sie nicht die tatsächliche Arbeitszeit (AZ) repräsentieren. Die für die Aufwandswertermittlung anzusetzende Arbeitszeit (AZ) wurde daher um diese Zeitartenanteile entsprechend des Beobachtungssintervalls korrigiert. Zu den Vorgängen gehören

- verspäteter Arbeitsbeginn,
- Privatgespräche,
- Zigarettenpausen außerhalb der regulären Pausen und
- die Mitarbeit in anderen Kolonnen.

Für die genannten Vorgänge trägt die Arbeitsperson die volle Verantwortung, da sie nicht zum regulären Arbeitsablauf gehören. Die Information über die nicht gerechtfertigten Vorgänge ist für die Aufwandswertermittlung relevant.

tigten Arbeitsunterbrechungen dienen vorrangig firmeninterner Prozess- und Organisationsoptimierung.

Leistungsbereitschaft (Leistungsgrad)

Nachfolgend wird dargestellt, warum die in Abb. 16 als Einflussgröße aufgelistete und nach REFA [70, 123] für die Ableitung von Zeitwerten anzuwendende Leistungsgradbeurteilung für diese Untersuchung nicht notwendig ist.

Ist-Zeiten sind für Arbeitsabläufe bei gleichen Arbeitsverfahren, unter gleichen Bedingungen bei mehrfacher Ausführung sowohl von Arbeiter zu Arbeiter als auch vom gleichen Arbeiter zu verschiedenen Zeiten unterschiedlich. Auch ohne, dass sich die Umgebungs faktoren ändern, unterliegen sowohl das Leistungsvermögen als auch die Leistungshergabe des einzelnen Menschen unbekannten bzw. unvorhersagbaren Schwankungen.

Die Mehrzahl der Verfahren des Leistungsgradbeurteilens bezieht sich auf die Größe der im Augenblick gezeigten menschlichen Leistung im Verhältnis einer Durchschnitts- oder Standardleistung.³⁰ In Deutschland wird zur Beurteilung des Leistungsgrades als Bezugsgröße die nach REFA [120] definierte „Normalleistung“ (100%) verwendet, mit deren Hilfe die Streuung der Ist-Zeiten einer Arbeitsgruppe bzw. -person ausgeglichen werden soll. Zur Leistungsgradbeurteilung, die auch als Streuungsminderung der Zeitwerte aufgrund des unterschiedlichen Leistungsangebotes der Arbeitsperson definiert wird, gibt es kontroverse Auffassungen, sei es im Hinblick auf den Zeitgrad (Presgrave [91]) oder das Zusammenwirken von Intensität und Wirksamkeit (REFA [93]). Kritische Stimmen weisen jedoch darauf hin, dass bei allen Verfahren in jedem Fall der Tatbestand des Schätzens verbleibt und die gemessenen Ursprungsdaten (Ist-Zeit und Ist-Leistung) durch die Beurteilung des Leistungsgrades verfälscht werden [106].

Als Grundproblem gilt bei der Beurteilung des Leistungsgrades die Festlegung der so genannten Normalleistung als Maß für die zu bewertende Arbeitsgruppe eines Unternehmens. Arbeitsleistungen weichen regional, örtlich und jahreszeitlich voneinander ab. Gleichzeitig werden sie von der Organisation der Baustelle, dem Einsatz der Baumaschinen und Geräte, aber auch von den Witterungsverhältnissen sowie vom Leistungswillen (Hawthorn-Effekt [101]) und dem Leistungsvermögen der einzelnen Arbeitsperson beeinflusst [87]. Zusätzlich spielt der Aspekt der Entlohnungsform und damit der finanzielle Anreiz für die Arbeitsgruppe bzw. die einzelne Arbeitsperson eine Rolle.

Die größte Genauigkeit der Beurteilung von Leistungsgraden in Bezug zu einer Normalleistung ist im Schäzbereich einer Leistung von 90% bis 110% der

Normalleistung nachweisbar ([13], [61], [100]). Allgemein kann sich die Leistungsspanne zur Ermittlung einer durchschnittlichen Normalleistung allerdings zwischen 60% und 150% bewegen [41] und die somit als „normal“ festgelegte Leistung für ein Unternehmen erheblich von der durchschnittlichen Normalleistung abweichen. Schott [100] stellte fest, dass eine Abhängigkeit der Genauigkeit von der Erfahrung und Ausbildung der Arbeitsstudienleute nicht nachweisbar ist. Verschiedentlich wurde versucht die Subjektivität des Leistungsgradschätzens durch eine objektive Methodik zu ersetzen³¹, jedoch ohne befriedigende Erfolge. Die grundlegende Schwierigkeit des Leistungsgradschätzens beruht nicht auf den persönlichen Schätzgewohnheiten der Beurteilenden, sondern vielmehr im Freimachen vom Eindruck der beobachteten (individuellen) Leistungskapazität in Richtung auf eine normale Leistungskapazität [72]. Spranz [109] setzt für die objektive Bestimmung der Abweichung einer Ist-Leistung von einer vorgestellten Bezugsleistung voraus, dass diese bekannt und reproduzierbar sowie die Abweichung der Ist-Leistung von der Bezugsleistung objektiv zu messen sein muss.

Bei Betrachtung der Definition der REFA-Normalleistung wird deutlich, dass dies keine statistisch-quantitativ definierte Bezugsleistung ist, d.h. sie ist nicht beweisbar oder objektiv reproduzierbar.

Die Leistungsgradbeurteilung ist wegen der dargestellten Problematik ebenfalls an der Professur für Baubetriebswirtschaft der Universität Rostock [115] untersucht worden. Im Ergebnis wurde kein nennenswerter Qualitätsgewinn für die abgeleiteten Zeitwerte durch eine Leistungsgradbeurteilung nachgewiesen. Die minimale Korrektur des durchschnittlichen täglichen Zeitaufwandwertes stand letztlich in keinem Verhältnis zu dem Aufwand, der zu der Beurteilung der Leistungsgrade notwendig wurde. Die „verwendete Methode zur Beurteilung der Leistung ist als nicht wirtschaftlich und wenig aussagekräftig bewertet worden“ [115 S.72]. Eine Streuungsminderung der Zeitwerte wird nachweislich nicht durch eine Leistungsgradbeurteilung erreicht ([13], [61], [109], [115]). Grund dafür ist einerseits die nicht auszuschließende Subjektivität des Beobachters. Andererseits ist die Festlegung einer gültigen Normalleistung, sowohl innerbetrieblich für eine oder mehrere Arbeitsgruppen als auch überbetrieblich, nicht möglich.

Angesichts der dargestellten Probleme bei der Beurteilung des Leistungsgrades basierend auf einer Normalleistung besteht vielmehr eine zusätzliche Fehlerquelle, als dass ein Genauigkeitsgewinn bei der Berechnung von Vorgabezeiten erzielt würde [102]. Die in vorliegender Untersuchung verwendete Datenerfassung mit Hilfe der Multimomentaufnahme mit einer Leistungsgradschätzung zu verbinden, ist laut

³⁰ Vgl. dazu bspw. „Efford rating procedure“ von Presgrave [91].

³¹ Beispielsweise Barthsche Kurven, Durchschnitts-Minima-Methode oder Streubilder von Eckenberg etc..

Pornschlegel [90] „wissenschaftlich und methodisch ... völlig unzulässig“ [90 S.218]. Zählstichproben sind Beobachtungen eines Tuns auf einen Blick. Ein Leistungsgradurteil setzt jedoch zwingend eine Beobachtung des tätigen Menschen während einer Zeit bzw. während eines gesamten Arbeitsablaufes voraus. Dies widerspricht damit dem Wesen einer Zählstichprobe.

3.4.4.2 Variable baustellenbedingte Einflussgrößen

Baustellenorganisation (Baustelleneinrichtung)

Eine rationelle Herstellung von Pflasterflächen setzt eine abgestimmte Zusammenarbeit der Einzelgewerke, eine optimale Anlieferung der Baumaterialien sowie eine sinnvolle Lagerung des Materials im Baustellenbereich voraus. Üblicherweise werden Betonpflastersteine in Paletten oder Paketen, gesichert gegen Beschädigung, auf die Baustelle transportiert. Innerhalb der Baustelle fährt der Steinsetzer diese mittels Transportkarre oder transportiert die Paletten mit dem Radlader, um sie in Griffweite abzusetzen. Natursteine hingegen werden in großen Säcken zu den Baustellen befördert und in diesen bzw. als freie Schüttungen gelagert. Der Transport erfolgt auch hier entweder vom Steinsetzer selbst mittels Transportbehälter (Mosaikpflaster) oder Radlader. Eine sinnvoll gestaltete Baustelleneinrichtung mit minimalen Wegstrecken und eine zeitoptimierte Anlieferungslogistik der benötigten Materialien für die Fertigung sind daher wichtige Voraussetzung für geringe Produktionszeiten.

Die Baustelleneinrichtung fungiert als Bindeglied zwischen Planung und Ausführung in der Bausausführung. Die Art und der Umfang der Baustelleneinrichtung sind abhängig sowohl vom Bauwerk, den dort tätigen Gewerken und der Bauzeit als auch von den Standortbedingungen sowie den Versorgungsmöglichkeiten. Eine optimale Baustelleneinrichtung muss

- einen ungestörten Bauablauf in jeder Bauphase,
- eine materialflussgerechte Anordnung der Elemente mit minimalen Transportwegen und
- die Einhaltung sämtlicher Emissionen, wie Lärm und Staub, in vorgesehenen Grenzen

gewährleisten (vgl. [6 S.522]). Die genannten verbalen Bewertungskriterien ermöglichen die Beurteilung der Baustellenorganisation infolge der Baustelleneinrichtung in den Stufungen der Tab. 10.

Tab. 10 Verbale Bewertungskriterien der Baustellenorganisation und -einrichtung

Baustelleneinrichtung/Organisation	
sehr gut	optimaler und funktionaler Bauablauf mit minimalen Transportwegen und materialflussgerechte Anordnung der Elemente
gut	funktionaler Bauablauf mit überwiegend minimalen Transportwegen und materialflussgerechter Anordnung der Elemente
mittel	zeitweilig gestörter Bauablauf mit längeren Transportwegen bzw. Störungen durch Wartezeiten aufgrund nicht materialflussgerechter Anordnung der Elemente
schlecht	Bauablauf gestört durch zu lange Transportwege und nicht sinnvolle materialflussgerechte Anordnung der Elemente

Gleichzeitig ist die Zusammenarbeit und Koordination der einzelnen Gewerke und Kolonnen auf der Baustelle ausschlaggebend, durch die die Wartezeiten gering gehalten und der Bauablauf nicht gestört werden.

Die Baustelleneinrichtung und -organisation haben Wirkung auf den Anteil der Vorgänge der Verteilzeit (h_v) und somit Einfluss auf die Größe des zu ermittelnden Korrekturfaktors k_E .

3.4.4.3 Variable umfeldbedingte Einflussgrößen

Witterung

Das Wetter, als stochastische Größe, ist schwer vorhersagbar. Ungünstige meteorologische Bedingungen stellen für Bauarbeiten Störgrößen dar, die zur Leistungsminderung - bis hin zum Leistungsausfall - führen können. Neben der geographischen Lage der Baustelle ist auch die Einflussstärke der Witterungsparameter von Bedeutung. Als wesentlich werden dafür der Niederschlag, die Temperatur und die Luftbewegung (Wind) eingestuft [29].

Die Baustelle als Arbeitsplatz ist dadurch gekennzeichnet, dass es sich um keinen örtlich begrenzten Bereich handelt und auf die Arbeitsperson somit nicht nur einzelne Noxen³² wirken. Das bedeutet, die Bedingungen entsprechen nicht immer dem Optimum, so dass der Arbeitende oft zusätzlichen Belastungen ausgesetzt ist. Es existieren verschiedene Untersuchungen über bestmögliche Witterungsbedingungen für Arbeiten im Freien. Nach Gafe [38] bestehen optimale Klima für die Tätigkeit eines körperlich schwer Arbeitenden dann, wenn diese eine ausgeglichene Wärmebilanz des Organismus ohne Inanspruchnahme der aktiven Regulierung der Körpertemperatur gestatten. Diese Umstände sind etwa im Lufttemperaturbereich von 14-17°C bei einer Luftfeuchtigkeit von 40-70% erfüllt (vgl. auch [27 S.173]).

³² Noxen sind definiert als Stoff oder Umstand, der eine schädigende Wirkung auf den Organismus ausübt.

Hahn [42] legte auf Grund seiner Untersuchungen Behaglichkeitszonen mit einer Luftfeuchte von 30-70% zwischen 12-24°C fest. Der Niederschlag wirkt aus seiner Sicht immer arbeitshemmend und kann bei längerer Dauer zum Extremaleinfluss - d.h. Arbeitseinstellung - werden. Allerdings konnten seine Untersuchungen keine Korrelationen zwischen den Leistungen und den verschiedenen Witterungseinflüssen nachweisen. Eine Untersuchung von Hasse u. a. [51] ordnet die kritische Belastbarkeit ohne Leistungseinbußen im Bereich bei 25°C ein, allerdings ohne Berücksichtigung anderer Einflussparameter. Budde [18] entwickelte entsprechend der Intensität der Wetterelemente für die Schlechtwetterzeit eine daraus resultierende Einstufung der Behinderungen der Bauarbeiten in sehr erschwert, erschwert und ungünstig beeinflusst³³. Hingegen gelang es Fetzner [27] Minderleistungsfaktoren für Mehrkosten spezieller Gewerke des Hochbaus aufgrund von Temperatur, Wind und Niederschlag sowie deren Kombination zu entwickeln. Diese bilden jedoch durch den Bezug auf spezielle Gewerke des Hochbaus und unter der Annahme, dass die Witterung dabei als hauptsächliche Ursache der Aufwandswertschwankung gesehen wird, für diese Untersuchung keine Basis.

Alle genannten Angaben variieren und beziehen sich nur zum Teil auf eine spezielle Bauarbeit. Daher sind sie nur bedingt anwendbar, denn nicht alle Bauarbeiten werden gleichermaßen durch Witterungseinflüsse beeinträchtigt. Beispielsweise haben Straßenbauarbeiten eine hohe Sensibilität in Hinblick auf Bodenfrost und Nässe, die bei Hochbauarbeiten eine geringfügigere Rolle spielen.

Verschiedene Untersuchungen [78, 88, 124, 135] zeigen, dass es durch den stochastischen Charakter des Wetters schwierig ist, gesicherte Aussagen über zu erwartende Streuungen der Zeitwerte aufgrund von Witterungseinflüssen zu treffen.

Außer Frage steht, dass Zeitwerte entscheidend von der Jahreszeit, in der das Gewerk ausgeführt wird, abhängig sind [59]. Laut Steinmetzger [113] gibt es bisher, mit Ausnahme der UV-Strahlung, keine Untersuchungen oder in Arbeit befindliche berufs- genossenschaftliche Vorschriften, die diese Thematik fundiert behandeln. Dies beweist die Schwierigkeit der Einbeziehung meteorologischer Aspekte in die Einflussgrößen- quantifizierung durch ihren einerseits stochastischen Charakter und andererseits ihre Erfassung durch entsprechende Messtechnik.

Die Einflussgröße Witterung als eine Kombination verschiedenster Wettererscheinungen wurde erfasst, jedoch erfolgte aus messtechnischen Gründen keine Aufzeichnung der einzelnen Witterungseinflüsse vor Ort. Die für die Auswertung verwendeten Daten sind Angaben des deutschen Wetterdienstes der Wetterstation Warnemünde [132], die von den Beispielbaustellen jeweils ca. 10 km Luftlinie entfernt

³³ Siehe dazu Tabelle im Anhang C (C.1.1).

liegt. Die Daten sind dennoch nur bedingt zu verwenden, denn die Angaben sind Punktmessungen, die nur schwierig auf eine Fläche eines Gebietes zu übertragen sind. Überdies handelt es sich um Tageswerte, d.h. es ist nicht ersichtlich wann, wie lange und in welchem Umfang die Ereignisse tatsächlich stattgefunden haben. Damit ist eine Verfälschung der tatsächlichen Wirkung des Einflusses, in dem diesem ein Zusammenhang mit der Zielgröße unterstellt und eine Bedeutung beigemessen wird, nicht auszuschließen.

Eine fundierte Untersuchung der Wirkung einzelner Wettererscheinungen ist nur mittels ausgefeilter Messtechnik vor Ort realisierbar. Es ist dabei der Kosten-Nutzen-Effekt in Hinblick auf die zu erwartenden Ergebnisse zu berücksichtigen. In dieser Arbeit werden Zeitwerte bezogen auf eine Mengeneinheit (Vorgangsdauer) ermittelt und untersucht, ob signifikante Abweichungen der Zielgrößen durch die jeweiligen Einflussgrößen erklärt werden können. Bei extremen Wetterereignissen, wie Starkregen oder Frost, wurden keine Beobachtungen durchgeführt, da diese eine Einstellung der Arbeiten und damit auch der Beobachtung verursachten.

Es ist jedoch davon auszugehen, dass die charakteristischen Witterungserscheinungen der einzelnen meteorologischen Jahreszeiten eine signifikante Änderung der Zielgrößen verursachen. Diese Einteilung ist sowohl in Fleischmann [28] als auch in den Festlegungen zum Winterbau [63] bzw. zur Schlechtwetterzeit [9] bestätigt worden. Es ergibt sich folgende Einteilung (Tab. 11):

Tab. 11 Wettergruppen nach meteorologischen Jahreszeiten

Witterung (meteorologische Jahreszeiten)		
F	Frühling	1. März bis 31. Mai
S	Sommer	1. Juni bis 31. August
H	Herbst	1. September bis 30. November
W	Winter	1. Dezember bis 28. Februar

Behinderungsgrad

Der Behinderungsgrad wird subjektiv durch die Einschätzung der zu erwartenden störungsbedingten Unterbrechungen des Arbeitsablaufes beurteilt³⁴, welche den Ablaufartenanteil h_{MS} durch beispielsweise Vorgänge wie

- außerplanmäßige Wartezeiten auf Material oder Arbeitsmittel,
- außerplanmäßige Wartezeiten aufgrund fehlender Anweisungen bzw. Informationen des Bau leitenden Personals oder auch
- Wartezeiten durch Umsetzung, Reparatur bzw. Wartung der Hilfsgeräte prägen.

³⁴ Die ausführliche Definition der Ablaufarten befindet sich im Anhang A (A.1.1).

Die unter dem Behinderungsgrad zusammengefasste Einstufung bezieht sich auf zu erwartende Behinderungen aufgrund betriebsinterner Organisation innerhalb des Projektes. Damit unterscheidet sich der Behinderungsgrad von der allgemeinen Baustellenorganisation als ein Resultat der innerbetrieblichen Organisation. Während der Beobachtung wurde der Behinderungsgrad subjektiv beurteilt und notiert. Eine Überprüfung dieser Einschätzung ist über die Mittelung der täglich erfassten störungsbedingten Unterbrechungen (MS) vorgenommen worden. Eine weitgehende Übereinstimmung der verbalen Einschätzung mit der Stufung des Behinderungsgrades anhand der erfassten Beobachtungen war feststellbar. Es lässt sich damit folgende Zuordnungseinteilung für den Behinderungsgrad festlegen:

Tab. 12 Behinderungsgrad (BGrad)

Behinderungsgrad (BGrad)		
K	keine bzw. kaum Behinderungen	Beobachtungen (H_{MS}) ≤ 1
B	geringer Behinderungsgrad	Beobachtungen (H_{MS}) > 1 und ≤ 5
C	mittlerer Behinderungsgrad	Beobachtungen (H_{MS}) > 5 und ≤ 10
D	hoher Behinderungsgrad	Beobachtungen (H_{MS}) > 10 und ≤ 15

3.5 Theoretische Quantifizierung der Einflüsse

3.5.1 Theoretische Wirkung der Einflussgrößen

Einflussgrößen auf Baustellen ergeben durch ihren teilweise stochastischen Charakter für den Prozessablauf ein Bedingungsgefüge mit einer Vielzahl von möglichen Ausprägungen. Es ist üblich, für die Beschreibung von Bauprozessen sowohl deterministische als auch stochastische Ansätze zu verwenden.

Nach Rotkegel [97] ist die Wirkung stochastischer Einflüsse prinzipiell bekannt, jedoch deren Größe im speziellen Fall nicht vorhersagbar. Daher werden stochastische Einflüsse anhand eines ausgewählten Wertebereiches mit statistischen Mitteln erklärt. Einerseits wird bei stochastischen Ansätzen versucht, „mit entsprechenden Modellen das Auftreten der Störgrößen eines Prozesses zu beschreiben und andererseits die Anfälligkeit des Prozesses gegenüber den ermittelten Störgrößen durch Kombination von unterschiedlichen Störgrößen mit Prozessverläufen darzustellen“ [4 S.4].

Für die deterministischen Betrachtungsweisen werden aus empirischen Werten feste Berechnungsvorschriften gebildet. Die Stochastik des Prozesses wird durch Abminderungs- oder Korrekturwerte berücksichtigt. Das bedeutet, die Parameter eines Prozesses sind durch einen analytischen Ausdruck bestimmt oder durch eine festgelegte Berechnungsvorschrift zu jedem Zeitpunkt ermittelbar.

Obgleich Rothkegel in [97] bemängelt, dass häufig komplizierte technologische Sachverhalte mit einfachen empirischen Mitteln beschrieben werden und dies damit

wenig zu einer „bewussten Bauprozessgestaltung“ beiträgt, werden zur besseren Beschreibbarkeit und Handhabbarkeit überwiegend Kennzahlen bzw. Korrekturwerte oder –faktoren verwendet, also deterministische Werte [4].

Die zu entwickelnde Quantifizierung von Einflüssen als Hilfsmittel zur Bestimmung von Zeitwerten entsprechend der zu erwartenden Bedingungen wird durch die Zusammensetzung des Zeitwertes (vgl. 2.2.3) aus den Zeitarten Grund-, Verteil- und Erholzeit bestimmt. Die in Abb. 16 dargestellten Einflüsse auf Pflasterarbeiten wirken entweder auf die aufgemessene Leistung ($Q(a,tag)$) (und damit zusammenhängend auch auf den GZW) oder auf die Anteile der Verteil- und Erholzeit (h_v und h_{er}). Es ergibt sich entsprechend der zu erwartenden Einflüsse ein SZW durch die Kombination des statistisch über die Multimomentaufnahme ermittelten GZW, des Korrekturfaktors k_E (entsprechend der variablen Einflussgrößen, die den Verteilzeitanteil (h_v) bestimmen) und des Faktors für die persönliche Verteil- und Erholzeit (k_{er}).

Für die persönliche Verteil- sowie Erholzeit werden in der Literatur zur Ermittlung von Arbeitszeitrichtwerten [66, 103] feste Zuschlagswerte angegeben (vgl. 3.2). Es wird daher in Abb. 19 für diese Zeitanteile zusammengefasst ebenfalls ein feststehender Zuschlagswert Erholung (k_{er}) dargestellt. Inwieweit dies anhand der bestehenden Daten realisierbar ist, wird im Kapitel 4 ausführlich untersucht. In Abb. 19 ist eine Übersicht der Ableitung und die Zusammensetzung eines SZW dargestellt, der sich auf den beobachteten Vorgang sowie die Kolonne bezieht.

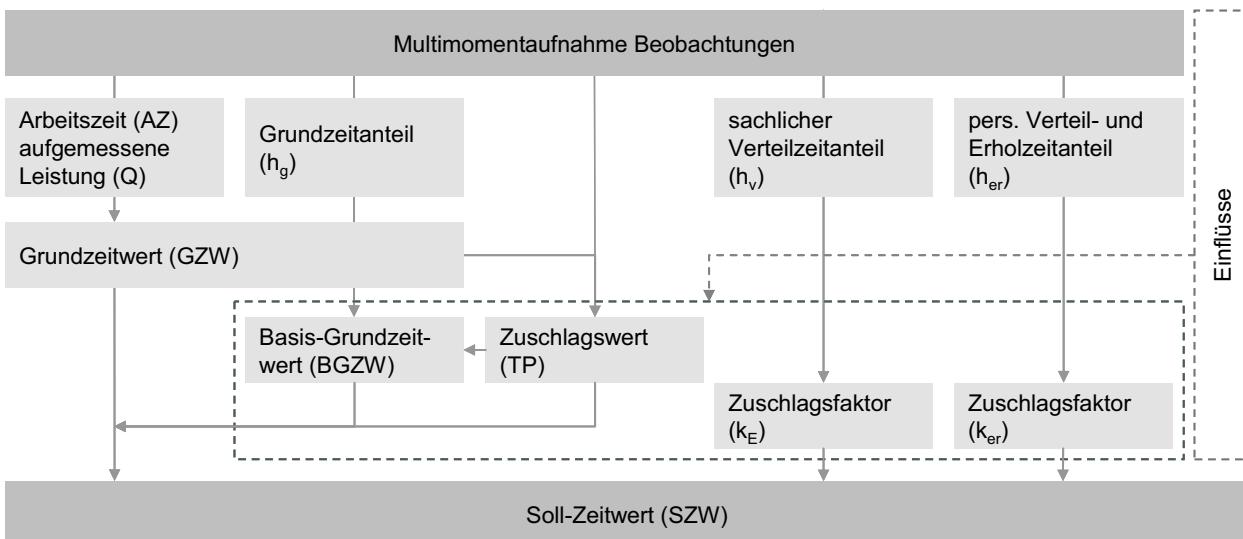


Abb. 19 Ableitung und Zusammensetzung des SZW

Da eine Wirkung der Einflüsse einerseits auf den GZW (und vorrangig der in ihm enthaltenen aufgemessenen Leistung ($Q(a,tag)$)) und andererseits auf die Anteile der Verteilzeit (h_v) und der Erholzeit (h_{er}) anzunehmen ist, werden die Zielgrößen Zuschlagsfaktor k_{er} , der Zuschlagsfaktor k_E und der GZW getrennt voneinander betrachtet. Der Vollständigkeit halber ist in Abb. 19 die Ableitung eines den GZW

bestimmenden Zuschlagswertes für die „technischen“ Parameter (TP) entsprechend der (nicht gesondert dargestellten) konstanten Einflussgrößen vorweggenommen, aus denen ein BGZW ableitbar ist. Eine genaue Beschreibung der Berechnung des BGZW erfolgt in Formel 9. Es ergibt sich für den zu erwartenden SZW der Kolonne und für den beobachteten Vorgang:

Formel 9 Zusammensetzung des Soll-Zeitwertes (SZW)

$$SZW = (BGZW + TP) \cdot (k_E + k_{er}) \text{ [Zeit/Einheit]}$$

SZW	Soll-Zeitwert
BGZW	Basis-Grundzeitwert
TP	Zuschlagswert entsprechend der „technischen“ Parameter
k_E	Zuschlagsfaktor für die Verteilzeitanteile (H_v)
k_{er}	Zuschlagsfaktor persönliche Verteil- und Erholzeitanteile (h_{er})

3.5.1.1 Einflüsse auf den Grundzeitwert (GZW) und deren theoretische Wirkung

Entsprechend der Abb. 16 charakterisieren die konstanten Einflussgrößen den GZW, d.h. sie legen diesen nach der vom Auftraggeber auszuführenden Pflasterarbeit für die beobachtete Kolonne fest. Im Vergleich zur DIN ISO 9245 [22] korrespondieren sie mit den technischen Parametern, die die Grundleistung (Q_B) der Baumaschine bestimmen. Der GZW ist damit ein theoretischer Grundwert, der in dieser Form auf der Baustelle nicht erreichbar ist. Der GZW je Beobachtungstag und Pflasterart ($zw_g(a,tag)$) wird laut 3.3 mit Hilfe des Grundzeitanteils $h_g(a,tag)$, der dazugehörigen Arbeitszeit ($AZ(a,tag)$) und der aufgemessenen Leistung ($Q(a,tag)$) ermittelt. Aufgrund der Zusammensetzung aus diesen Einzelgrößen ist bei der theoretischen Wirkung der Einflussgrößen insbesondere mit einer Wirkung auf die aufgemessene Leistung ($Q(a,tag)$) zu rechnen, welche bestimmend für die Änderung des GZW ist. Allgemein ist der Grundzeitanteil h_g als gleich bleibend anzunehmen, denn der zur planmäßigen Ausführung einer Leistung erforderliche Zeitanteil sollte theoretisch in etwa immer gleich sein, ungeachtet dessen, um welche Material-Geometrie-Kombination bzw. Verband oder Bauweise es sich handelt und wie der Flächenzuschnitt gestaltet ist.³⁵

Tab. 13 fasst die auf den GZW zu erwartenden Wirkungen der konstanten Einflüsse entsprechend den GZW prägenden Einzelwirkungen auf den Grundzeitanteil (h_g) und die aufgemessene Leistung ($Q(a,tag)$) zusammen.

³⁵ In der Literatur [10] wird für die Grundzeit (h_g) ein Anteil von etwa 70% als Durchschnittswert angegeben.

Tab. 13 Einflussgrößen auf den GZW und deren theoretische Wirkung

Einflussgröße	Theoretische Wirkung
Pflasterart (Material, Geometrie)	Die aufgemessene Leistung ist durch Geometrie und Material bestimmt und damit besteht ein Einfluss auf den Zeitwert pro Mengeneinheit.
Verband	Einfacher Verband bewirkt geringen GZW durch eine höhere $Q(a,tag)$.
Schwierigkeitsgrad Flächenzuschnitt	Kleines Hau- und Schnittkantenverhältnis führt zu einer höheren $Q(a,tag)$.
Bauweise	Regelbauweise bewirkt geringeren GZW durch höhere $Q(a,tag)$.
Kolonne (Arbeitsperson)	Viele Arbeitspersonen haben höhere $Q(a,tag)$, jedoch behindern sich zu große Arbeitsgruppen gegenseitig. Es ergibt sich eine kleinere Produktivität.
Mechanisierungsgrad	Handverlegung hat einen größeren Zeitbedarf als Maschinenverlegung pro Mengeneinheit (Verlegegeschwindigkeit größer = höhere $Q(a,tag)$).

Die Arbeitsvorgänge auf Baustellen verlaufen unregelmäßig. Die Funktionen der einzelnen Arbeiter in der Gruppe überschneiden sich wechselnd und sind nicht eindeutig abgrenzbar. Es ist deshalb die gesamte für den Arbeitsauftrag tätige Kolonne zu beobachten (vgl. 3.4.3.1). Der konstante betriebsbedingte Einfluss der Arbeitspersonenanzahl wird darum vernachlässigt und der GZW auf die jeweilig ausgeführte Arbeit und die beobachtete Kolonne festgelegt. Dies ist bei der Berechnung der Korrekturfaktoren zu berücksichtigen und bildet die Voraussetzung ihrer Anwendung.

Der Mechanisierungsgrad, als definierter konstanter objektbedingter Einfluss, ist in dieser Auflistung aufgeführt. Er wird allerdings in der weiteren Betrachtung nicht berücksichtigt, da bei einer wie in 3.4.2 beschriebenen Unterscheidung zwischen Maschinenverlegung (MG1) und Handverlegung (MG0) bei einem MG1 (100% maschinengeprägt) die Verlegemaschine System bestimmt ist. Die unter diesen Bedingungen ausgeführten Pflasterarbeiten sind daher nicht in die Analyse der durch die Arbeitsperson geprägten Arbeiten mit einzubeziehen. Die Ergebnisse der Maschinen geprägten Beobachtungen stellen eine Prüf- bzw. Anwendungsmöglichkeit des in Hoffmann [55 S. 584] dargestellten Nutzleistungsfaktors (f_E) dar.

Zusammenfassend sind für die Variation der einzeln beobachteten GZW des jeweiligen Vorgangs die konstanten objektbedingten Einflüsse Pflaster (Geometrie und Material), Verband und Bauweise sowie der Schwierigkeitsgrad des Flächenzuschnitts ausschlaggebend. Die Wirkung der in Abb. 16 genannten konstanten betriebsbedingten Einflüsse wird als vernachlässigbar angenommen.

Aufgrund der theoretischen Vorüberlegungen wird von einem linearen Verhalten bei der Quantifizierung der Einflüsse ausgegangen, d.h. mit einer Erhöhung oder Verringerung des Arbeitsaufwandes bzw. mit einer Verbesserung oder Verschlechterung der Einflüsse ist die Vorgangsdauer für eine Mengeneinheit Pflaster entsprechend länger oder kürzer.

3.5.1.2 Einflüsse auf den Zuschlagsfaktor k_E und deren theoretische Wirkung

Der Zuschlagsfaktor k_E wird geprägt durch den Anteil der Verteilzeit (h_v), der abweichend der REFA-Definition in dieser Untersuchung den Beobachtungen der sachlichen Verteilzeit entspricht (vgl. 2.2.1). Vorrangig wird die Verteilzeit (h_v) durch störungsbedingte Unterbrechungen (H_{MS}) und zusätzliche Tätigkeiten (H_{MZ}) bestimmt. Der Anteil der Verteilzeit (h_v) dient der mittelbaren Wertschöpfung auf der Baustelle und ist nie vollständig vermeidbar. Der Verteilzeitanteil (h_v) und der daraus ermittelte Zuschlagsfaktor k_E ergibt zusammen mit dem GZW und dem Anteil k_{er} für den Erholzeitanteil den SZW der auszuführenden Arbeit, der auf die Kolonne bezogen ist und den zu erwartenden Einflüssen entspricht.

Die in Abb. 16 als Einflussgröße aufgeführte Leistungsbereitschaft (Leistungsgrad) bleibt nach 3.4.4.1 unberücksichtigt. Für die beobachteten Arbeiten sind von den Unternehmen geeignete und geübte Arbeitsgruppen eingesetzt worden, die zu den Beobachtungszeitpunkten eingearbeitet waren, womit ein harmonischer, natürlicher und ausgeglichener Bewegungsablauf stattfand. Bestehende Streuungen der Zeitanteile durch Leistungsgradunterschiede der Kolonnen und einzelne Arbeitspersonen, die in den Ergebnissen der Analyse die Reststreuung erklären könnten, gleichen sich nach Spranz [109] durch die Methodik der Multimomentaufnahmen und deren Auswertungsstrategien aus. Des Weiteren wird eine direkte Wirkung der Arbeitszeit (AZ), aufgrund der Unabhängigkeit des Auftretens der Tätigkeiten der Ablaufarten „störungsbedingtes Unterbrechen“ (MS) oder „zusätzliche Tätigkeiten“ (MZ) als Einfluss ausgeschlossen. Die theoretischen Einflussgrößen und deren Wirkung auf k_E sind in Tab. 14 dargestellt.

Tab. 14 Theoretische Einflussgrößen auf den Zuschlagsfaktor k_E und deren Wirkung

Einflussgröße	Theoretische Wirkung
Baustelle	Baustellenorganisation und -einrichtung hat direkte Auswirkungen auf den k_E .
Behinderungsgrad	Außerplanmäßige Wartezeiten, störungsbedingte Unterbrechungen sowie zusätzliche Tätigkeiten erhöhen den k_E und vermindern die Produktivität auf der Baustelle.

Ferner ist über die Datenerfassung durch die Multimomentaufnahme beim k_E von einer Beeinflussung durch die Baustelle als nachweisbar anzunehmen, so dass sich die Verteilzeitanteile (h_v) mit schlechteren Baustellenbedingungen und nicht arbeitsflussgerechter Baustelleneinrichtung erhöhen und der Zeitwert für die Produktion einer Mengeneinheit größer wird. Der Behinderungsgrad (BGrad) quantifiziert die unabhängig von den Einflüssen der Baustelle beobachteten Beeinträchtigungen.

Für die Änderung der Zeitartenanteile entsprechend der Ausprägung der Einflussgrößen wird zunächst aus den theoretischen Vorüberlegungen, ebenso wie beim Zuschlagswert TP (vgl. 3.5.1.1), eine Linearität angenommen, d.h. mit zunehmend schlechteren Bedingungen wird eine lineare Erhöhung des auf den GZW aufzuschla-

genden Anteils des k_E vorausgesetzt. Dieser Ansatz ist reziprok dem für den Nutzleistungsfaktor (f_E) der DIN ISO 9245 [55] und wird im Rahmen der Analyse gesondert geprüft.

3.5.1.3 Einflüsse auf den Zuschlagsfaktor k_{er} und deren theoretische Wirkung

Die nach 2.2.1 von REFA abweichende Zuordnung der Ablaufarten beinhaltet in den Beobachtungen der Erholzeit (H_{er}) die Anteile persönlicher Verteil- sowie Erholzeit je Pflasterart und Beobachtungstag. Diese Zeitanteile bestimmen den k_{er} . Der Anteil der Erholzeit (h_{er}) beinhaltet nach Formel 5, neben den Beobachtungen für Erholung (H_{ME}), Vorgänge des persönlich bedingten Unterbrechens (H_{MP}) aufgrund von körperlichen Bedürfnissen sowie die Wege vom Pausenaufenthalt zu den jeweiligen Arbeitsplätzen auf der Baustelle. Die unter persönlich bedingtem Unterbrechen (H_{MP}) während der Multimomentaufnahme zusätzlich erfassten Beobachtungen für Zigarettenpausen und Privatgespräche werden, da sie nicht gerechtfertigte Arbeitsunterbrechungen darstellen, in der Analyse nicht berücksichtigt (vgl. 3.4.4.1). Die AZ wurde dementsprechend korrigiert.

Bei den für den Zuschlagsfaktor k_{er} zu analysierenden Ablaufartenanteilen ist durch die Aufnahmetechnik der Multimomentaufnahme eine prinzipielle Beeinflussung durch die Baustellenbedingungen anzunehmen. Die verschieden verarbeiteten Pflasterarten, gekennzeichnet durch Größe, Gewicht und Material, lassen in Bezug auf die aufzuwendende Arbeitskraft unterschiedliche Erholzeiten vermuten. Zusätzlich sind beim Setzen von Natursteinen durch einen höheren Schwierigkeitsgrad in der Verarbeitung zusätzliche Erholungszeiten nicht auszuschließen. Das bedeutet, die Pflasterart ist als ein Einfluss auf den Faktor k_{er} einzubeziehen. Es ist jedoch zu prüfen, inwieweit dieser Einfluss tatsächlich wirkt oder ob gegebenenfalls die Berücksichtigung der Pflasterart bei den Einflussgrößen auf den GZW als „technischer“ Parameter ausreicht.

Der variable umfeldbedingte Einfluss Witterung, aus dem bei extremen Ausprägungen (Temperatur und Niederschlag) erhöhte persönlich bedingte Unterbrechungen sowie zusätzliche Erholungspausen resultieren, ist eine nicht vorhersagbare stochastische Größe, die als Einfluss mit zu berücksichtigen ist (Tab. 15).

Tab. 15 Theoretische Einflussgrößen auf k_{er} und deren Wirkung

Einflussgröße	Theoretische Wirkung
Baustelle	Baustellenorganisation und -einrichtung haben Einfluss auf h_{er} .
Pflaster	Entsprechend der Geometrie/des Materials unterschiedliche Handhabung aufgrund Größe, Gewicht sowie Schwierigkeit und damit Erhöhung der h_{er} .
Witterung	Schlechte Witterung (Kälte und Regen) bedingen höhere h_{er} .

Die genannten Parameter und deren zu erwartendes Verhalten sind in der weiteren Betrachtung auf ihre tatsächliche Wirkung zu prüfen. Die Möglichkeit der Festsetzung

eines einheitlichen k_{er} wird nach 2.2.2 angestrebt. Inwieweit dies realisierbar ist, wird anhand der Beobachtungsdaten in 4.4.3 geprüft.

3.5.2 Quantifizierung der Einflussgrößen auf Basis der theoretischen Vorbetrachtung

Die in Hoffmann [55 S.584] dargestellten Nutzleistungsfaktoren (f_E) werden gemäß den Baustellen- und Betriebsbedingungen mittels einer vierstufigen verbalen Skala beschrieben und in einer vier×vier Matrix dargestellt. Aus der empirischen Sozialforschung ist bekannt, dass Menschen bei Einschätzungen anhand einer Stufung häufig die Tendenz zur Mitte zeigen und somit bei einer ungeraden Anzahl an Stufenwerten die Mitte signifikant öfter gewählt wird. Da bei einer geraden Anzahl an Stufenwerten keine wählbare Mitte existiert, ist der Anwender gezwungen, sich für eine Tendenz zu entscheiden.[15] Es wird daher für die in dieser Untersuchung zu entwickelnde Matrix lohnintensiver Arbeiten zunächst die Vierer-Einteilung der DIN ISO 9245 beibehalten. In der Signifikanzprüfung der Einflussgrößen mittels Varianzanalyse (siehe 4.3) wird diese Festlegung jedoch überprüft.

Bei Betrachtung der Vorüberlegungen zur vermuteten Wirkung der Einflussgrößen auf die Zielgrößen GZW mit der aufgemessenen Leistung ($Q(a,tag)$) und dem Grundzeitanteil (h_g), dem k_E sowie dem k_{er} wird deutlich, dass sich die in Abb. 16 erstellte Auflistung der Einflussgrößen entsprechend ihrer Wirkungen nicht exakt bestätigt. Die Pflasterart, gekennzeichnet durch Geometrie und Material, bildet die Ausgangsgröße der Festlegung des über die Multimomentaufnahme ermittelten Zeitwertes und ist Ausgangsgröße der Quantifizierung der Einflüsse. Die Wirkung der Einflussgrößen lässt sich unterscheiden in die aufgemessene Leistung ($Q(a,tag)$) prägenden Parameter und die Restzeitartenanteile (Verteil- (h_v) sowie Erholzeit (h_{er})) beeinflussenden Faktoren.

Es müssen für die Ermittlung der Zeitwerte folglich zwei Lösungsansätze verfolgt werden:

1. Quantifizierung der Einflüsse zur Angleichung des GZW entsprechend der „technischen“ Parameter und
2. Quantifizierung der Einflüsse zur Angleichung des GZW entsprechend der zu erwartenden Bedingungen.

3.5.2.1 Quantifizierung der Einflüsse zur Angleichung des GZW entsprechend der „technischen“ Parameter

Der GZW wird mittels Multimomentaufnahme für die beobachtete Kolonne und das verarbeitete Pflaster entsprechend der in 3.3 beschriebenen Methode ermittelt. Damit ist der GZW(a) für die Kolonne des Unternehmens und das verlegte Pflaster definiert. Aufgrund des angenommenen Unterschiedes zwischen den verarbeiteten Materialen sowie der Geometrie in Bezug auf den Zeitwert werden diese als Ausgangswerte

festgelegt. Es sind damit nach 3.4.3.2 entsprechend der vorliegenden Multimomentaufnahme die GZW(a) für

- Betonpflaster,
- Betonplatten,
- Natursteinpflaster,
- Borde, Rinnen etc.

berechenbar. Die ebenfalls in Tab. 13 genannte betriebsbedingte Einflussgröße Kolonne (Arbeitspersonen) hat theoretisch Auswirkungen auf die aufgemessene Leistung ($Q(a,tag)$) und den Grundzeitanteil ($h_g(a,tag)$) je Beobachtungstag. Aufgrund der Zunahme der Arbeitspersonenzahl in der Kolonne wird die aufgemessene Leistung pro Tag einerseits erhöht, jedoch verringert sich der Anteil der H_g durch den Anstieg der störungsbedingten Unterbrechungen durch gegenseitige Behinderungen und die dadurch nicht mehr arbeitsflussgerechten Abläufe. Durch das anzunehmende umgekehrt proportionale Verhalten dieser beiden Größen bei gleich bleibender Arbeitszeit (AZ) ist daher ein auf dem gleichen Niveau liegender GZW anzunehmen. Der Einfluss der Arbeitspersonenzahl wird daher ausgeschlossen, in der Analyse jedoch überprüft.

Der tägliche Grundzeitwert ($z_{w_g}(a,tag)$) nach Formel 8 bezieht sich auf die tatsächlich verbrauchte Zeit pro Mengeneinheit der jeweilig beobachteten Kolonne (Kolonnenzeitwert³⁶) und Pflasterart am Beobachtungstag. Die betriebsbedingte Einflussgröße Qualifikation ist nach 3.4.3.1 als Einflussgröße nicht zu berücksichtigen.

Entsprechend der „technischen“ Parameter, unter denen die Arbeiten ausgeführt werden, ist der GZW(a) zusätzlich gekennzeichnet durch

- die Bauweise,
- den Verband sowie
- den Schwierigkeitsgrad Flächenzuschnitt (Hau- und Schnittkantenverhältnis)³⁷.

Diese „technischen“ Ausführungsparameter treten unterschiedlich kombiniert auf. Entsprechend ihrer möglichen Kombination sind sie den Kriterien „sehr einfach“, „einfach“, „schwierig“ und „sehr schwierig“ zuzuordnen (Tab. 16).

Es ergeben sich bezüglich der Zuordnung der „technischen“ Parameter für die beobachtete Pflasterart (als Objektbedingung) die in Tab. 16 dargestellten Kombinationen.

³⁶ Dieser Wert ist der reine Kolonnenzeitwert (Vorgangsdauer) und entspricht nicht dem Lohnstundenaufwandswert der Kolonne.

³⁷ In Tab. 13 ist der Mechanisierungsgrad als Einflussgröße mit aufgeführt. Für Arbeitsperson geprägte Arbeiten ist der Mechanisierungsgrad 0 (Handverlegung). Deshalb erfolgt keine Berücksichtigung des Mechanisierungsgrades (vgl. 3.4.3.2).

Tab. 16 Kombinationsmöglichkeiten der „technischen“ Parameter

Technische Parameter*								
	sehr einfach		einfach		Schwierig		sehr schwierig	
Bauweise (bw)	u	u	u	u	u	U		
Verband (v)	e	e	e	s	s	S		
Flächenzuschnitt (sgf)	g	m	h	g	m	H		
Bauweise (bw)			gb	gb	gb	Gb	gb	gb
Verband (v)			e	e	e	S	s	s
Flächenzuschnitt (sgf)			g	m	h	G	m	h

Es existieren nicht für jeden verbal beschriebenen „technischen“ Parameter vier vollständig besetzte Tabellenfelder. Für die Ableitung des Zuschlagswertes (TP) ist dies jedoch unwesentlich, da dieser auf einer Mittelwertbildung basiert.

Nach Tab. 16 sind jedem Tupel innerhalb einer Stufe tägliche GZW ($zw_g(a,tag)$) entsprechend der Bedingungen der Beobachtung auf der Baustelle zugeordnet.³⁸ In einem ersten Schritt wird der Mittelwert der täglichen Grundzeitwerte ($zw_g(a,tag)$) jedes Feldes der Stufe ($\overline{zw_g}(K)$) entsprechend der jeweiligen Kombinationsmöglichkeit gebildet (Formel 10). Für alle nachfolgenden Berechnungen gilt ebenfalls die auf S.16 festgelegte Definition der Pflasterart und des Beobachtungstages.

³⁸ Zu den in Tab. 16 dargestellten Tupeln werden tägliche GZW je Pflasterart und Beobachtungstag ($zw_g(a,tag)$) nach Formel 7 den technischen Parameterkombinationen zugeordnet.

Theoretischer Lösungsansatz

Formel 10 Berechnung der $\overline{zw_g}(K)$ entsprechend des jeweiligen Feldes „technische“ Parameter

$$\overline{zw_g}(K) = \frac{1}{|J_K|} \sum_{(a,tag) \in J_K} zw_g(a,tag) \text{ [Zeit/Einheit]}$$

$K \in MdKombi$, $a \in A_{tag}$, $tag \in T$

$MdKombi$ Menge der Kombinationen, d.h. $\{u,gb\} \times \{e,s\} \times \{g,m,h\} = \{(bw, v, sgf) \mid bw \in \{u, gb\}, v \in \{e, s\}, sgf \in \{g, m, h\}$

$MdStufen$ Menge der Stufen, d.h. {sehr einfach, einfach, schwierig, sehr schwierig}
 J_K $\{(a,tag) \mid a \in A_{tag}, tag \in T \text{ mit } Kombi(a,tag)=K\}; K \in MdKombi$

$Kombi(a,tag)$ Die am Tag (tag) der Pflasterart a zugeordnete Kombination, $a \in A_{tag}$, $tag \in T$

$\overline{zw_g}(K)$ Mittelwert der täglichen GZW entsprechend der Einflussgrößenkombination

$zw_g(a,tag)$ täglicher Grundzeitwert

bw Bauweise (gb-gebunden, u-ungebunden)

v Verband (e-einfach, s-schwierig)

sgf Schwierigkeitsgrad Flächenzuschnitt (g-gering, m-mittel, h-hoch)

Im nachfolgenden zweiten Schritt wird die Berechnung des Mittelwertes entsprechend der Stufe ($\overline{zw_g}(\text{stufe})$) der „technischen“ Parameter durchgeführt (Formel 11).

Formel 11 Berechnung der $\overline{zw_g}(\text{stufe})$ entsprechend der „technischen“ Parameter Stufe

$$\overline{zw_g}(\text{stufe}) = \frac{\sum_{K \in MdKombi_{\text{stufe}}} \overline{zw_g}(K)}{|MdKombi_{\text{stufe}}|} \text{ [Zeit/Einheit]}$$

$\text{stufe} \in MdStufen$

$MdStufen$ Menge der Stufen, d.h. {sehr einfach, einfach, schwierig, sehr schwierig}

$MdKombi_{\text{stufe}} = \begin{cases} \{(u,e,g), (u, e, m)\}, & \text{stufe} = \text{sehr einfach} \\ \{(u,e,h), (u, s, g), (gb,e,g), (gb,e,m)\}, & \text{stufe} = \text{einfach} \\ \{(u,s,m), (u, s, h), (gb,e,h), (gb,s,g)\}, & \text{stufe} = \text{schwierig} \\ \{(gb,s,m),(gb, s, h)\}, & \text{stufe} = \text{sehr schwierig} \end{cases}; \text{stufe} \in MdStufen$

$MdKombi$ Menge der Kombinationen, d.h. $\{u,gb\} \times \{e,s\} \times \{g,m,h\} = \{(bw, v, sgf) \mid bw \in \{u, gb\}, v \in \{e, s\}, sgf \in \{g, m, h\}\} = \bigcup_{\text{stufe} \in MdStufen} MdKombi_{\text{stufe}}$

$\overline{zw_g}(\text{stufe})$ Mittelwert der jeweiligen Stufe der „technischen“ Parameter

$\overline{zw_g}(K)$ Mittelwert der täglichen GZW entsprechend der Einflussgrößenkombination

bw Bauweise (gb-gebunden, u-ungebunden)

v Verband (e-einfach, s-schwierig)

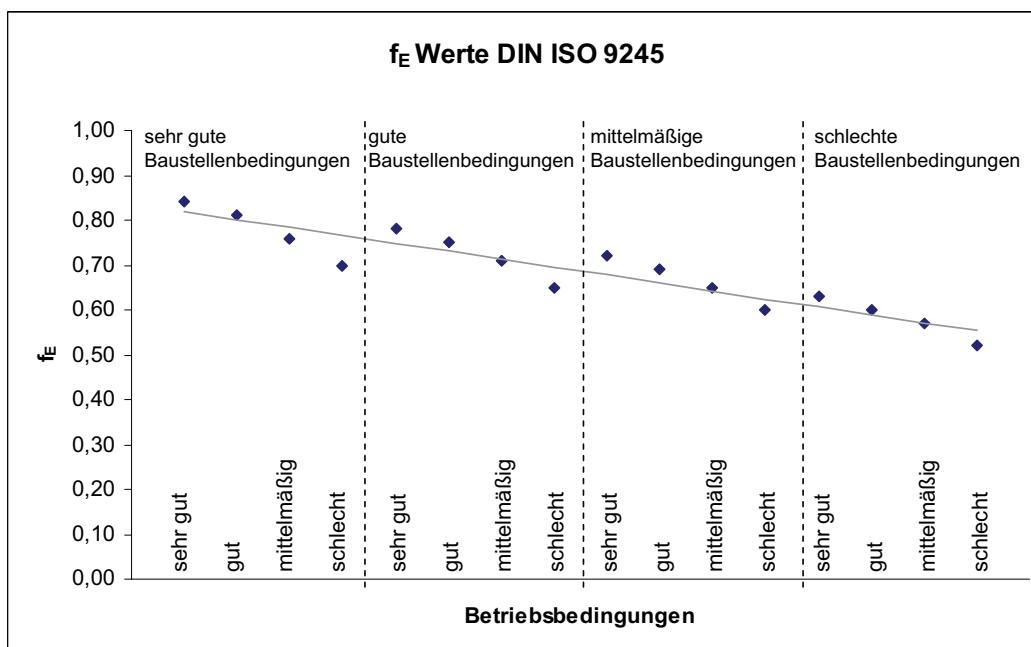
sgf Schwierigkeitsgrad Flächenzuschnitt (g-gering, m-mittel, h-hoch)

In Tab. 17 ist die Berechnung beispielhaft für die Einflüsse dargestellt, die sehr gute „technische“ Parameter charakterisieren.

Tab. 17 Beispielberechnung des $\overline{zw_g}$ (sehr einfach) nach Tab. 16

Technische Parameter		Einfach		schwierig		sehr schwierig	
sehr einfach		$\overline{zw_g}(u, e, h)$	$\overline{zw_g}(u, s, g)$	$\overline{zw_g}(u, s, m)$	$\overline{zw_g}(u, s, h)$		
$\overline{zw_g}(u, e, g)$	$\overline{zw_g}(u, e, m)$						
		$\overline{zw_g}(sehr\ einfach)$	$\frac{(\overline{zw_g}(u, e, g) + \overline{zw_g}(u, e, m))}{2}$			$\overline{zw_g}(gb, s, m)$	$\overline{zw_g}(gb, s, h)$

Die für die Analyse der „technischen“ Parameter verwendeten GZW beziehen sich dabei immer auf die jeweils beobachteten Kolonnen. Der Stufe „sehr einfach“ wird zur Berechnung der Zuschlagswerte über die Regression der Wert 1 zugeordnet. Jede folgende Stufe erhöht sich in ihrer Wertigkeit linear um 1. Diese Annahme resultiert aus dem Verhalten der in Hoffmann [55] dargestellten Nutzleistungsfaktoren (f_E) zur Angleichung der Grundleistung (Q_B) einer Baumaschine. Werden diese in einem Koordinatensystem aufgetragen, ist erkennbar, dass eine gleichmäßige Änderung der Bedingungen gegeben ist (Abb. 20), die zunächst auch für lohnintensive Arbeiten angenommen wird.

Abb. 20 Darstellung des Nutzleistungsfaktors f_E

Der berechnete $\overline{zw_g}(\text{stufe})$ der jeweiligen „technischen“ Parameter ist ein Anteil am GZW und wird in [Zeit/Einheit] angegeben. Mittels Regressionsrechnung ist über die GZW der jeweiligen Stufe bezogen auf die Pflasterart (GZW(a)) der Anteil ermittelbar, der durch die „technischen“ Parameter (TP(stufe)) verursacht wird:

Theoretischer Lösungsansatz

Formel 12 Regressionsmodell zur Berechnung der TP(stufe) und des BGZW(a)

$$\overline{zw_g}(\text{stufe}) = b_0 + b_1 \cdot sw(\text{stufe}) \quad [\text{Zeit/Einheit}]$$

$$\begin{aligned} TP(\text{stufe}) &= b_1 \cdot sw(\text{stufe}) \quad [\text{Zeit/Einheit}] \\ BGZW(a) &= b_0 \quad [\text{Zeit/Einheit}] \end{aligned}$$

$a \in A_{\text{tag}}$, $\text{tag} \in T$

$$sw(\text{stufe}) = \begin{cases} 1, \text{ sehr einfach} \\ 2, \text{ einfach} \\ 3, \text{ schwierig} \\ 4, \text{ sehr schwierig} \end{cases}$$

$\overline{zw_g}(\text{stufe})$ Grundzeitwert je technische Parameterstufe

BGZW(a) Basis-Grundzeitwert je Pflasterart

TP(stufe) Zuschlagswert „technische“ Parameter

b_1 Regressionskoeffizient

b_0 konstantes Glied

$sw(\text{stufe})$ technische Parameter Stufe

Voraussetzung dafür ist die korrekte Zuordnung der Ausführungsparameter entsprechend der festgelegten Kriterien. Der gemittelte Grundzeitwert je technische Parameterstufe und Pflasterart ($\overline{zw_g}(\text{stufe})$) teilt sich nach Formel 13 damit in einen fiktiven³⁹ BGZW(a), der dem konstanten Glied der Regressionsgleichung entspricht, und in einen durch die Extraktion der konstanten Einflüsse gebildeten TP(stufe), der sich aus dem Regressionskoeffizienten und der „technischen“ Parameterstufe errechnet. Der BGZW(a) bezieht sich - ebenso wie der GZW(a) - auf die untersuchte Pflasterart.

Formel 13 Zusammensetzung des $\overline{zw_g}(\text{stufe})$ entsprechend der „technischen“ Parameterstufe

$$\overline{zw_g}(\text{stufe}) = BGZW(a) + TP(\text{stufe}) \quad [\text{Zeit/Einheit}]$$

$a \in A_{\text{tag}}$, $\text{tag} \in T$, $\text{stufe} \in \text{MdStufen}$

MdStufen Menge der Stufen, d.h. {sehr einfach, einfach, schwierig, sehr schwierig}

$\overline{zw_g}(\text{stufe})$ Grundzeitwert je Pflasterart und technische Parameterstufe

BGZW(a) Basis-Grundzeitwert Pflasterart

TP(stufe) Zuschlagswert für die „technische“ Parameterstufe

Nach Umstellung der Formel 13 lässt sich der Zeitanteil ermitteln, der direkt durch die konstanten Einflüsse („technische“ Parameter) bestimmt wird. Über die Berechnung des

³⁹ Fiktiv bedeutet im vorliegenden Zusammenhang, dass dieser Wert tatsächlich nicht erreichbar ist, da Pflaster- und Steinsetzarbeiten immer unter jeweils einer der genannten technischen Ausführungskombinationen ausgeführt werden.

Zuschlages TP(stufe) ergibt sich beispielsweise für Folgeprojekte die Möglichkeit, aus einem mittels Multimomentaufnahme ermittelten GZW(a) der Kolonne, durch direktes Ablesen des für diesen Wert entsprechend der „technischen“ Parameter geltenden TP(stufe), einen BGZW(a) der Kolonne zu ermitteln. Für zukünftige Projektplanungen und Kalkulationen ist es somit möglich, nach der vom Auftraggeber gewünschten „technischen“ Parameterkombination, die dem entsprechenden Stufenfeld zugeordnet wird, den zu erwartenden GZW(a) zu berechnen.

Grundsätzlich ist der BGZW(a) bei langfristiger Veränderung innerhalb der Kolonne (Betriebsbedingung) neu zu berechnen und regelmäßig zu überprüfen, da sich dieser Zeitwert aus der Eigenschaft der Pflasterarbeit als Gruppenarbeit ableitet. Die ermittelte Zeit ist die Dauer zur Ausführung des beobachteten Vorgangs durch die Kolonne und jederzeit in Lohnstundenwerte (Multiplikation mit der Anzahl der Arbeitspersonen) bzw. Leistungswerte umrechenbar.

Gemäß Tab. 17 und der in den theoretischen Vorüberlegung angenommenen, jedoch noch zu prüfenden Linearität der Zeitwerte ist nach Tab. 16 folgender minimaler Zuschlagswert $TP(stufe)_{min}$ bzw. maximaler Zuschlagswert $TP(stufe)_{max}$ entsprechend der jeweilig verarbeiteten Pflasterart definierbar (Tab. 18):

Tab. 18 Definition des $TP(stufe)_{min}$ und $TP(stufe)_{max}$

Einflüsse $TP(stufe)$	Bauweise	Verband	Schwierigkeitsgrad Flächenzuschnitt
minimaler Zuschlag $TP(stufe)_{min}$	ungebunden (Regelbauweise)	gebunden	geringes bis mittleres H.-S.-Verhältnis (a oder b)
maximaler Zuschlag $TP(stufe)_{max}$	einfach (keine Musterung, unempfindliches Material)	schwierig (Musterung, empfindliches Material)	mittleres bis hohes H.-S.-Verhältnis (b oder c)

Das bedeutet, aus der Analyse der Daten der vorliegenden Untersuchung ist in ausgeführter Regelbauweise, einfachem Verband, mit einem geringem Hau- und Schnittkantenverhältnis der niedrigste Zuschlagswert $TP(stufe)$ errechenbar. In gebundener Bauweise, schwierigem Verband, mit einem hohen Hau- und Schnittkantenverhältnis ergibt sich der höchste Zuschlagswert $TP(stufe)$ für einen berechneten BGZW(a). Der $TP(stufe)$ ist ein absoluter Zeitwert, der aus der Analyse der Variation der ermittelten GZW(a) resultiert. Das heißt, für die Quantifizierung der Einflüsse werden die einzelnen Pflasterarten entsprechend ihrer Festlegung nach Material und Geometrie auf signifikante Wirkung der Einflüsse Schwierigkeitsgrad, Bauweise und Verband geprüft.

3.5.2.2 Quantifizierung der Einflüsse zur Angleichung des GZW entsprechend der zu erwartenden Baustellen-, Betriebs- und Umfeldbedingungen

In der in 3.5.2.1 beschriebenen Tab. 16 wurden die direkt den GZW(a) bestimmenden Einflüsse berücksichtigt. Um einen den tatsächlichen Bedingungen entsprechenden

SZW für die Verwendung im Unternehmen zu ermitteln, ist die Bestimmung dieses Anteils jedoch ebenfalls erforderlich.

Von den in der theoretischen Vorbetrachtung genannten Einflüssen auf den Anteil der Verteilzeit⁴⁰ (h_v) (Tab. 14) und den Anteil der persönlichen Verteil- und Erholzeit (h_{er}) (Tab. 15) wird, aufgrund der angestrebten Festlegung des Zuschlages für die Erholzeit auf einen einheitlichen Wert, zunächst eine gemeinsame Wirkung auf den prozentualen Anteil an der Gesamtarbeitszeit angenommen. Für die Quantifizierung ergeben sich damit als umfeldbedingte Einflüsse die Witterung und der Behinderungsgrad. Die Witterung wird nach 3.4.4.2 durch Einteilung in meteorologische Jahreszeiten definiert, so dass die Ausführungszeit zur Durchführung der Arbeiten nach Wunsch des Auftraggebers prinzipiell bekannt und leicht für den Auftragnehmer (Anwender) einzuordnen ist. Der Behinderungsgrad, deutlich zu trennen von der allgemeinen Baustellenorganisation und der Baustelleneinrichtung, ist aufgrund der Schwierigkeit der Vorhersage lediglich schätzbar.

Es ergeben sich auf diese Weise für die Betriebs- und Umfeldbedingungen (BUB) folgende in Tab. 19 zusammengefassten Kombinationen. Es erfolgt die Zuordnung der Einflussgrößen entsprechend der verbalen Kriterien „sehr gut“, „gut“, „mittelmäßig“ und „schwierig“ analog der in Hoffmann [55] beschriebenen Tabelle für den Nutzleistungsfaktor (f_E) Faktor. Diese Zuordnung wird in der anschließenden statistischen Analyse überprüft (vgl. 4.3.2.1).

Tab. 19 Kombinationen der die Anteile h_v bzw. h_{er} beeinflussenden Betriebs- und Umfeldbedingungen

BUB*		gut		mittelmäßig		schlecht	
sehr gut	gut	k	k	c	c	k	b
k	k	k	k	c	c	k	b
S	S	F	H	F	H	W	W
		b	b	d	d	c	d
		F	H	F	H	W	W
		c	d				
		S	S				

*Behinderungsgrad
(Tab. 12)

k - keine Behinderungen
b - geringe Behinderungen
c - mittlere Behinderungen
d - viele Behinderungen

Jahreszeit
(Tab. 11)

F - Frühling
S - Sommer
H - Herbst
W - Winter

⁴⁰ Nach Formel 5 ist die Verteilzeit der Anteil $h_v(a,tag)$. Diese von REFA abweichende Festlegung ist in 2.2.1 erläutert. Da sich die Zeitartenanteile in dieser Untersuchung immer auf den Beobachtungstag (tag) und die jeweilig beobachtete Pflasterart (a) beziehen, wird im Folgenden zur Vereinfachung für den Verteilzeitanteil nur h_v geschrieben.

Die Kombinationen der Betriebs- und Umfeldbedingung (BUB) ergeben bis zu sechs Felder je Stufe. Die nicht vollständige Besetzung jedes Feldes pro Stufe ist für die Ableitung der Zuschlagsfaktoren unwesentlich, da die Basis der Ermittlung, ebenso wie für den TP(stufe), ein Mittelwert ist.

Für die Analyse ist die Aufteilung der zu untersuchenden Daten aufgrund der Voraussetzung, dass sich die Verteil- und Erholzeiten unabhängig vom verarbeiteten Material verhalten, nicht notwendig, da diese nach 3.5.1.1 lediglich auf die aufgemessene Leistung (Q(a,tag)) wirken.

Entsprechend der Aussagen in 3.5.1.3 und 3.5.1.2 wird für die Anteile der Verteil- und Erholzeit (h_v und h_{er}) gleichzeitig eine Abhängigkeit von den Aufnahmebedingungen der Baustellen vorausgesetzt. Das bedeutet, der variable baustellendbedingte Einfluss der Baustelleneinrichtung und -organisation ist ebenfalls bestimmd. Die Material- und Geometriekombination hat auf den zu ermittelnden Korrekturfaktor keinen Einfluss, da diese „technischen“ Parameter im TP(stufe) bereits enthalten und durch den GZW(a) festgelegt sind.

Es ergibt sich somit eine Matrixstruktur bezüglich der Zuordnung der in Tab. 20 dargestellten Baustellenbedingungen (BB) und der beschriebenen BUB. Die BUB sind in jeder Stufe der BB in der gleichen Kombination festgelegt. Aus diesem Grund wird beispielhaft die Kombination der sehr guten BB mit den vier möglichen BUB dargestellt. Die vollständige Matrix als Zuordnungsvorlage für den Anwender ist im Anhang D (D.3.2) dargestellt.

Tab. 20 Zuordnung der BB(sehr gut) und BUB

BUB*		sehr gut		gut		mittelmäßig		schlecht	
BB									
sehr gut	k	b	k	k	c	c	k	b	
	S	S	F	H	F	H	W	W	
			b	b	d	d	c	d	
			F	H	F	H	W	W	
			c	d					
			S	S					

*Die Auflistung der BUB erfolgt entsprechend Tab. 19.

Für die Berechnung der Korrekturfaktoren k_E der Matrix sind durch die Multimomentaufnahme die Anteile für die Verteilzeit (h_v) gegeben. Das bedeutet, den Tupeln innerhalb der Stufe sind die Werte des Verteilzeitanteils ($h_v(a,tag)$) entsprechend der Beobachtung auf der Baustelle zuordenbar. Im ersten Schritt wird auch hier der Mittelwert des Einzelwertes jedes Feldes der Stufe ($\bar{h_v}(K)$) berechnet. Es gilt für alle

nachfolgenden Berechnungen die auf S.16 festgelegte Definition der Pflasterart und des Beobachtungstages.

Formel 14 Berechnung der Anteile Mittelwerte $\bar{h}_v(K)$ entsprechend der BB und BUB (vgl. Tab. 20)

$$\bar{h}_v(K) = \frac{1}{|J_K|} \sum_{(a,tag) \in J_K} h_v(a,tag)$$

$K \in \text{MdKombi}$, $a \in A_{tag}$, $tag \in T$

MdKombi Menge der Kombinationen, d.h. $\{sg,g,m,s\} \times \{k,b,c,d\} \times \{F,S,H,W\} = \{(BB, BGrad, JZ) \mid BB \in \{sg,g,m,s\}, BGrad \in \{k,b,c,d\}, JZ \in \{F,S,H,W\}\}$

J_K $\{(a,tag) \mid a \in A_{tag}, tag \in T \text{ mit } \text{Kombi}(a,tag)=K\}$, $K \in \text{MdKombi}$

$\text{Kombi}(a,tag)$ Die am Tag (tag) der Pflasterart a zugeordnete Kombination, $a \in A_{tag}$, $tag \in T$

$\bar{h}_v(K)$	Mittelwert der h_v je Pflasterart und Tag entsprechend der Einflussgrößen-Kombination
BB	Baustellenbedingungen (sg -sehr gut, g-gut, m-mittel, s-schlecht)
BGrad	Behinderungen (k-keine, b-geringe, c-mittlere, d-viele)
JZ	meteorologische Jahreszeit (F-Frühling, S-Sommer, H-Herbst, W-Winter)
$h_v(a,tag)$	Anteil der Verteilzeit je Pflasterart und Beobachtungstag

In einem zweiten Schritt wird der Mittelwert entsprechend der Stufe ($\bar{h}_v(\text{stufe})$) ermittelt, der dem Korrekturfaktor k_E entspricht (Formel 15).

Formel 15 Berechnung der Anteile Mittelwerte \bar{h}_v (stufe) entsprechend der BB und BUB (vgl. Tab. 20)

$$\bar{h}_v(\text{stufe}) = \frac{\sum \bar{h}_v(K)}{|\text{MdKombi}_{(s1,s2)}|}$$

stufe \in MdStufen

$$\text{MdKombi}_{(s1,s2)} = \begin{cases} \{(s1,k,S), (s1,b,S)\}, & s2 = \text{sehr gut} \\ \{(s1,k,F), (s1,k,H), (s1,b,F), (s1,b,H), (s1,c,S), (s1,d,S)\}, & s2 = \text{gut} \quad ; \quad s1 \in \text{BB} \\ \{(s1,c,F), (s1,c,H), (s1,d,F), (s1,d,H)\}, & s2 = \text{mittel} \quad \wedge \quad (s1,s2) \in \text{MdStufen} \\ \{(s1,k,W), (s1,b,W), (s1,c,W), (s1,d,W)\}, & s2 = \text{schlecht} \end{cases}$$

MdStufen Menge der Stufen, d.h. $\{(\text{sehr gut}, \text{sehr gut}); (\text{sehr gut}, \text{gut}); (\text{sehr gut}, \text{mittel}); (\text{sehr gut}, \text{schlecht}); (\text{gut}, \text{sehr gut}); (\text{gut}, \text{gut}); (\text{gut}, \text{mittel}); (\text{gut}, \text{schlecht}); (\text{mittel}, \text{sehr gut}); (\text{mittel}, \text{gut}); (\text{mittel}, \text{mittel}); (\text{mittel}, \text{schlecht}); (\text{schlecht}, \text{sehr gut}); (\text{schlecht}, \text{gut}); (\text{schlecht}, \text{mittel}); (\text{schlecht}, \text{schlecht})\}$

MdKombi Menge der Kombinationen, d.h. $\{ \text{sg}, \text{g}, \text{m}, \text{s} \} \times \{ \text{k}, \text{b}, \text{c}, \text{d} \} \times \{ \text{F}, \text{S}, \text{H}, \text{W} \} = \{ (\text{BB}, \text{BGrad}, \text{JZ}) \mid \text{BB} \in \{ \text{sg}, \text{g}, \text{m}, \text{s} \}, \text{BGrad} \in \{ \text{k}, \text{b}, \text{c}, \text{d} \}, \text{JZ} \in \{ \text{F}, \text{S}, \text{H}, \text{W} \} \}$
 $= \bigcup_{\text{stufe} \in \text{MdStufen}} \text{MdKombi}_{(\text{stufe})}$

$\bar{h}_v(\text{stufe})$ Stufenmittelwert des Zeitanteils h_v entsprechend der BB und BUB

$\bar{h}_v(K)$ Mittelwert der h_v entsprechend der Einflussgrößen-Kombination

BB Baustellenbedingungen (sg -sehr gut, g-gut, m-mittel, s-schlecht)

BGrad Behinderungen (k-keine, b-geringe, c-mittlere, d-viele)

JZ meteorologische Jahreszeit (F-Frühling, S-Sommer, H-Herbst, W-Winter)

In Tab. 21 ist die Berechnung der $\bar{h}_v(\text{stufe})$ als Voraussetzung der Ableitung des Korrekturfaktors k_E beispielhaft für sehr gute Baustellenbedingungen (BB) und gute Betriebs- und Umfeldbedingungen (BUB) dargestellt.

Tab. 21 Beispielberechnung des $\bar{h}_v(\text{sehr gut}, \text{sehr gut})$

BB	BUB							
	sehr gut		gut		mittelmäßig		Schlecht	
sehr gut	$\bar{h}_v(\text{sg}, \text{k}, \text{S})$	$\bar{h}_v(\text{sg}, \text{b}, \text{S})$	$\bar{h}_v(\text{sg}, \text{k}, \text{F})$	$\bar{h}_v(\text{sg}, \text{k}, \text{H})$	$\bar{h}_v(\text{sg}, \text{c}, \text{F})$	$\bar{h}_v(\text{sg}, \text{c}, \text{H})$	$\bar{h}_v(\text{sg}, \text{k}, \text{W})$	$\bar{h}_v(\text{sg}, \text{b}, \text{W})$
			$\bar{h}_v(\text{sg}, \text{b}, \text{F})$	$\bar{h}_v(\text{sg}, \text{b}, \text{H})$	$\bar{h}_v(\text{sg}, \text{d}, \text{F})$	$\bar{h}_v(\text{sg}, \text{d}, \text{H})$	$\bar{h}_v(\text{sg}, \text{c}, \text{W})$	$\bar{h}_v(\text{sg}, \text{d}, \text{W})$
			$\bar{h}_v(\text{sehr gut}, \text{sehr gut}) = \frac{(\bar{h}_v(\text{sg}, \text{k}, \text{S}) + \bar{h}_v(\text{sg}, \text{b}, \text{S}))}{2}$					

Der niedrigste dem berechneten GZW hinzuzurechnende Korrekturfaktor ($k_{E\min}$) entspricht den besten Bedingungen und einem resultierenden kleinen SZW. Der ($k_{E\max}$) drückt die schlechtesten Bedingungen aus und ist die Ursache für einen hohen SZW.

Theoretischer Lösungsansatz

Tab. 22 Definition der Korrekturfaktoren $k_{E\min}$ und $k_{E\max}$

k_E	Einfluss	Wetter	Behinderungsgrad	Baustellenbedingungen
$k_{E\min}$		kein bzw. geringer Behinderungsgrad (k oder b)	Sommer (S)	sehr gut
$k_{E\max}$		mittlerer bzw. hoher Behinderungsgrad (c oder d)	Winter (W)	Schlecht

Aufgrund der zu erwartenden Streuung der \bar{h}_v (stufe) wird zur Berechnung allgemein anwendbarer Korrekturfaktoren k_E für die jeweiligen BB- und BUB-Kombination ebenso wie für den TP(stufe) eine Regressionsrechnung durchgeführt, um auch für die nicht durch empirische Daten besetzten Felder der Stufen Zuschlagswerte zu berechnen. Es gilt dabei die gleiche Annahme der Wertigkeit der Stufen entsprechend des Verhaltens des Nutzleistungsfaktors (f_E) (vgl. 3.5.2.1).

Für die persönliche Verteil- und Erholzeit wird aufgrund einer einfacheren Handhabung ein fester Faktor k_{er} für den Anwender angestrebt. Er ist der Mittelwert des Anteils der Beobachtungen für die persönliche Verteil- und Erholzeit (h_{er}) und berechnet sich nach Formel 16.

Formel 16 Berechnung des k_{er}

$$\bar{k}_{er} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (h_{er}(a, tag))_i$$

$a \in A_{tag}$, $tag \in T$

\bar{k}_{er}	Zuschlagsfaktor Erholzeitanteil
$h_{er}(a, tag)$	persönlicher Verteil- und Erholzeitanteil je Beobachtungstag und Pflasterart
n	Anzahl der h_{er} Werte

Der SZW bezogen auf die jeweilige Pflasterart berechnet sich somit nach Formel 17.

Formel 17 Berechnung des SZW

$$SZW = GZW \cdot (k_E + k_{er}) = (BGZW + TP(stufe)) \cdot (k_E + k_{er}) \text{ [Zeit/Einheit]}$$

stufe \in MdStufen

MdStufen, d.h. {sehr einfach, einfach, schwierig, sehr schwierig}

SZW	Soll-Zeitwert
GZW	Grundzeitwert
BGZW	Basis-Grundzeitwert
TP(stufe)	Zuschlagswert technische Parameter
k_E	Zuschlagsfaktor Verteilzeit
k_{er}	Zuschlagsfaktor persönliche Verteil- und Erholzeit

3.5.3 Zusammenfassung

Die Ausgangsgrößen für die Quantifizierung der Einflussgrößen lohnintensiver Arbeiten als Grundlage zur Bestimmung von Ausführungszeiten am Beispiel von Pflasterarbeiten wurden mittels Multimomentaufnahme erhoben. Die Aufnahmetechnik der Multimomentaufnahme ermöglicht eine Aufschlüsselung der einzelnen Ablaufartenanteile und die Zuordnung der jeweiligen Einflussgrößen. Somit sind die einzelnen den SZW prägenden Anteile getrennt voneinander darzustellen und zu analysieren.

Es ist die Abstraktion eines GZW bezogen auf die Kolonne und festgelegt auf die Pflasterart möglich, in Anlehnung an die Grundleistung (Q_B) für Baumaschinen der DIN ISO 9245.

Zusammenfassend erfolgt die Berechnung eines an die zu erwartenden Baustellen- und Betriebsbedingungen angepassten SZW am Beispiel Pflasterarbeiten entsprechend Abb. 21:

Theoretischer Lösungsansatz

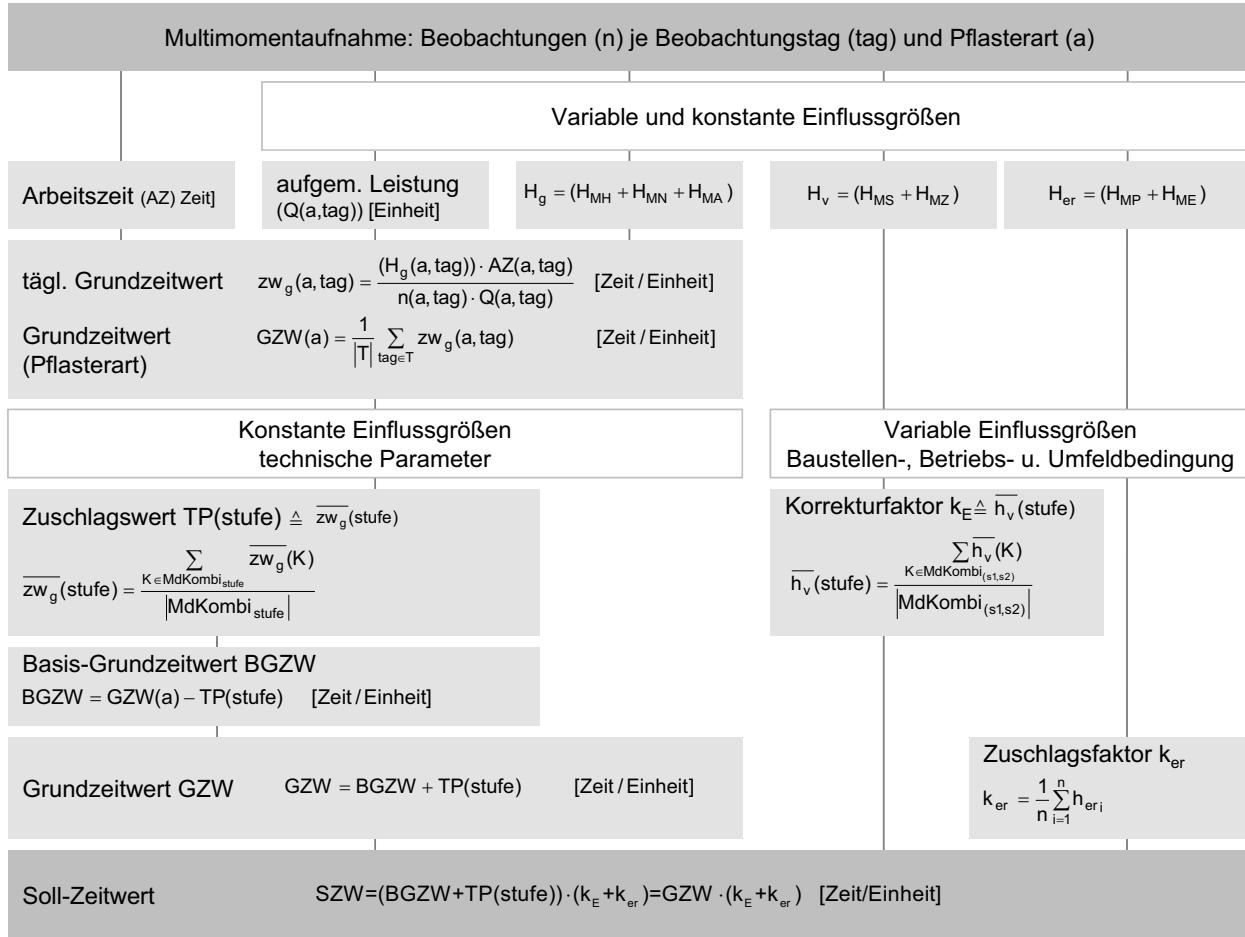


Abb. 21 Übersicht der Ermittlung eines Soll-Zeitwertes (SZW) am Beispiel Pflasterarbeiten

4 Analyse zur Quantifizierung der Einflüsse

4.1 Mathematische Grundlagen

4.1.1 Datenanalyse und Data Mining

Die Aufgabe der Datenanalyse ist Strukturen innerhalb von Daten aufzudecken sowie Zusammenhängen zu modellieren und abzubilden. Prinzipiell wird zwischen deskriptiver Methode und multivariater Analyse unterschieden. Deskriptive Methoden charakterisieren einzelne Variablen durch Kennwerte, zum Beispiel Mittelwert oder Standardabweichung (σ). Multivariate Methoden setzen verschiedene Gesamtheiten der erfassten Werte einer Größe miteinander in Beziehung.

Für den Nachweis qualitativer und quantitativer Kausalzusammenhänge zwischen den Einflussgrößen auf der Baustelle und den einzelnen Zeitartenanteilen werden die zu den multivariaten Methoden gehörenden Verfahren des Data Mining verwendet. Data Mining wird in der Literatur sehr weit gefasst und soll hier in Anlehnung an Schäfer [99] als „rechnerbasierter Prozess zur hypothesefreien Ermittlung von Mustern in großen Datenbeständen mittels multivariater Analysemethoden“ verstanden werden. Als Muster gilt dabei jegliche Beziehung zwischen den Datensätzen und Variablen, den Daten innerhalb eines Datensatzes sowie sonstige Regelmäßigkeiten. Zu den Methoden des Data Mining zählen

- Methoden der multivariaten Statistik,
- Methoden des maschinellen Lernens bzw. künstliche Intelligenz und
- Methoden der Zeitreihenanalyse bzw. Methoden zur Analyse von Einzelereignissen und Ereignisreihen.[99 S.64]

Die speziell in dieser Untersuchung angewendeten Verfahren sind den Methoden der multivariaten Statistik zugeordnet. Diese sind für den vorliegenden Untersuchungszweck geeignet, denn ihr primäres Ziel ist die Überprüfung der auf sachlogischen bzw. theoretischen Überlegungen basierenden Vorstellung über die Zusammenhänge zwischen Variablen anhand empirisch ermittelter Daten. Alle Tests und Berechnungen in dieser Untersuchung wurden mit Hilfe von SPSS für Windows Version 15.0.1 durchgeführt.

4.1.2 Multivariate statistische Datenanalyse

Trotz der in den letzten Jahren erfolgten großen Fortschritte bei den Methoden des maschinellen Lernens und der künstlichen Intelligenz gehören die multivariaten statistischen Methoden nach wie vor zu den bedeutendsten des Data Mining [99 S. 64ff]. Mit ihrer Hilfe lässt sich feststellen, ob in den betrachteten Daten trotz stochastischer Merkmalsverteilungen nachvollziehbare Zusammenhänge bestehen und diese gegebenenfalls modellierbar sind. Allen multivariaten statistischen Methoden sind

eine gute Transparenz bei der Interpretation der Ergebnisse und eine hohe Effizienz bei der Analyse großer Datenbestände gemein. Aufgrund ihrer Robustheit gegenüber Mängeln im Datenmaterial, beispielsweise bei fehlenden Werten, sind sie damit auch für die Analyse der in dieser Untersuchung über die Multimomentaufnahme erfassten Daten geeignet, da nicht für jeden Beobachtungstag vollständige Datensätze notiert worden sind.

Problematisch ist, dass der Großteil der multivariaten Methoden einen linearen oder zumindest näherungsweise linearen Zusammenhang zwischen den Daten voraussetzt und daher nur über Umwege mit einzelnen Verfahren auch nichtlineare Zusammenhänge ermittelbar sind. Daher müssen die in der Analyse verwendeten Datensätze im Vorfeld auf ihre Linearität geprüft werden. Ist diese Voraussetzung nicht gegeben, lassen sich trotzdem aufgrund der Abarbeitung der Berechnungsalgorithmen ohne Iterationen nahezu immer Ergebnisse erzielen. Im Anhang D (D.1) ist eine Übersicht und Bewertung wichtiger statistischer Methoden des Data Mining dargestellt.

Für die vorliegende Untersuchung sind die Daten aufbereitet und in einheitlicher Struktur in einer Urdatei (Datenbank) zusammengeführt worden. Vor der Datenanalyse wurden offensichtliche Fehler im Datenmaterial beseitigt, d.h. stichprobenmäßige Plausibilitätskontrollen und Ausreißertests durchgeführt, so dass für die anschließende Analyse grobe Fehler in den Datensätzen auszuschließen sind.

Für die zu bearbeitende Problemstellung ist die multivariate Regressionsanalyse in Kombination mit der Varianzanalyse angewendet worden. Beide Verfahren gehören zu den Struktur prüfenden Verfahren, die Kausalanalysen ermöglichen. Aufgrund der bereits in 3.5.1 ausführlich sachlogisch beschriebenen Vorstellung über die möglichen Zusammenhänge zwischen den Zielvariablen GZW ($Q(a,tag)$, $h_g(a,tag)$), den Anteilen der Verteil- (h_v) sowie Erholzeit (h_{er}) in Bezug auf ihre Einflussgrößen ist bereits eine Voraussetzung der Anwendung für die Analyse der über die Multimomentaufnahme empirisch ermittelten Daten gegeben.

Die auf den Baustellen erfassten Einflüsse sind überwiegend nicht metrisch skaliert. Um eine Wirkung der unabhängigen Variablen (Einflüsse) auf nominalem Skalenniveau auf die metrisch skalierten abhängigen Variablen GZW (definiert durch $(Q(a,tag)$, $h_g(a,tag)$ und $AZ(a,tag)$) und die Anteile der Verteil- und Erholzeit (h_v und h_{er}) zu prüfen, findet die **Varianzanalyse** Anwendung. Entsprechend der Anzahl der Faktoren (notierte Einflüsse) und deren Faktorstufen (Ausprägungen der Einflüsse) wird zwischen einfaktorieller bzw. mehrfaktorieller Varianzanalyse unterschieden. Mit der Varianzanalyse können die Mittelwerte der Faktorstufen gleichzeitig untersucht werden, mit dem Ziel die Signifikanz des Unterschiedes der Mittelwertdifferenzen zu überprüfen. Die Varianzanalyse zeigt, ob mindestens ein Unterschied zwischen multiplen Vergleichsgruppen signifikant ausfällt. Voraussetzung dabei ist die Homogenität der Varianzen, d. h. es muss ungefähr eine gleiche Varianz in den Vergleichsgruppen

gegeben sein. Das Modell für eine einfaktorielle Varianzanalyse ist nachfolgend in Formel 18 dargestellt.

Formel 18 Modell der einfaktoriellen Varianzanalyse (allgemein)

$$y_{gk} = \mu + \alpha_g + \varepsilon_{gk}$$

y_{gk}	Beobachtungswert mit
μ	Gesamtmittelwert der Grundgesamtheit (durch \bar{y} der Stichprobe geschätzt)
α_g	Wirkung der Stufe g des Faktors durch die Abweichung vom Gesamtmittelwert der
	Grundgesamtheit
ε_{gk}	nicht erklärter Einfluss der Zufallsgrößen der Grundgesamtheit

Zum Nachweis der Signifikanz des Faktors (Einfluss) erfolgt die statistische Prüfung über den F-Test⁴¹, anhand des Vergleichs des empirischen F-Wertes mit dem theoretischen F-Wert laut Tabelle ([3 S.809ff]). Ist der empirische F-Wert größer als der theoretische kann ein Einfluss des Faktors geschlussfolgert werden. Voraussetzungen der Anwendung der Varianzanalyse sind eine Normalverteilung der abhängigen Variablen und die genannte Varianzhomogenität der Vergleichsgruppen. Mit Hilfe der Varianzanalyse wird für die durchzuführende Analyse versucht eine Wirkung der in Abb. 16 dargestellten Einflüsse nachzuweisen, um damit die Voraussetzung der Berücksichtigung dieser für die Quantifizierung der Einflüsse zu bilden.

Die Bedeutung der **Regressionsanalyse** liegt für die Analyse der Baustellendaten dieser Untersuchung darin, dass sie als ein flexibles Analyseverfahren sowohl für die Beschreibung und Erklärung von Zusammenhängen als auch für die Durchführung von Prognosen einsetzbar ist. Mit ihrer Hilfe sind Wirkungsbeziehungen quantifizierbar, in diesem Fall die Einflüsse auf der Baustelle und deren Wirkung auf die Zeitartenanteile. Wesentlich ist dabei, eine Funktion zu finden, die diese Abhängigkeit möglichst genau beschreibt. Klassisch ist die Regressionsanalyse einsetzbar, wenn sowohl die abhängigen als auch die unabhängigen Variablen metrisch skaliert sind. Durch Anwendung der so genannten Dummy-Variablen-Technik⁴² lassen sich aber auch nominal skalierte Variablen (Einflüsse auf den Baustellen) in die Berechnung mit einbeziehen. Unter der Voraussetzung, dass sich die aus der Multimomentaufnahme ermittelten GZW bzw. die Ablaufartenanteile der Verteilzeit (h_v) und der Erholzeit (h_{er})

⁴¹ Der F-Test ist ein statistischer Test mithilfe dessen mit einer gewissen Konfidenz entschieden werden kann, ob zwei Stichproben unterschiedlicher Grundgesamtheiten sich hinsichtlich ihrer Varianz statistisch signifikant unterscheiden. Er dient damit unter anderem zur generellen Überprüfung von Unterschieden zwischen zwei statistischen Populationen. Als Prüfwert des F-Tests wird der F-Wert berechnet, welcher unter der Nullhypothese einer F-Verteilung mit n_1 und n_2 Freiheitsgraden gehorcht.[60 S.236]

⁴² Dummy-Variablen sind binäre kodierte Variablen, die die Werte 0 und 1 annehmen.

linear zu den Einflussgrößen verhalten und sich damit bei schlechtesten Bedingungen der größte SZW berechnet bzw. umgekehrt, bei den besten Bedingungen den niedrigsten SZW ergeben, wird ein Regressionsmodell gebildet und die Schätzung der Regressionsgeraden durchgeführt. Der Regressionsansatz hat allgemein die Form nach Formel 19.

Formel 19 Regressionsansatz

$$\hat{Y} = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots b_jX_j + \dots b_JX_J$$

\hat{Y}	Schätzung der unabhängigen Variablen Y
b_0	konstantes Glied
b_j	Regressionskoeffizient ($j=1,2,\dots,J$)
X_j	unabhängige Variable ($j=1,2,\dots,J$)

Die in der Regressionsgleichung nicht erfassten Einflussgrößen spiegeln sich in Abweichungen von der Regressionsgeraden wieder, die sich in den Residuen e_k repräsentieren⁴³. Ein beobachteter Wert setzt sich somit additiv zusammen aus einer systematischen Komponente b_0 , die sich entsprechend der Einflussgrößen und deren Koeffizienten linear ändert, und der Residualgröße e_k , die durch die Funktion bzw. die unabhängigen Variablen nicht erklärt werden kann. Die Zielsetzung besteht darin, dass die nicht erklärten Abweichungen möglichst klein sind. Dies bedeutet, dass die unbekannten Parameter $b_0, \dots, b_j, \dots, b_J$ so zu bestimmen sind, dass die Summe der quadrierten Residuen minimal wird (Kleinste-Quadrat-Kriterium). Die Ermittlung der Regressionsparameter erfolgt durch die Minimierung der Summe der Abweichungsquadrate. Damit lautet die Zielfunktion der multivariaten Regression (Formel 20):

⁴³ Die Differenz zwischen den beobachteten Werten der abhängigen Variablen und den aus dem Modell errechneten Schätz- oder Vorhersagewerten. Fälle mit großen Residuen sind Fälle, die durch das betreffende Modell nicht gut erklärt werden.[60]

Formel 20 Zielfunktion der multivariaten Regression

$$\sum_{k=1}^K e_k^2 = \sum_{k=1}^K [y_k - (b_0 + b_1 x_{1k} + b_2 x_{2k} + \dots + b_j x_{jk} + \dots + b_J x_{jk})]^2 \rightarrow \min$$

K	Zahl der Beobachtungen (k = 1, 2, ..., K)
e_k	Werte der Residualgröße
y_k	Werte der unabhängigen Variablen (k = 1, 2, ..., K)
b_0	konstantes Glied
J	Zahl der unabhängigen Variablen
x_{jk}	Werte der unabhängigen Variablen (j = 1, 2, ..., J; k = 1, 2, ..., K)
b_j	Regressionskoeffizient (j = 1, 2, ..., J)

Als globale Prüfkriterien der Regressionsgeraden dienen das Bestimmtheitsmaß (R^2), die F-Statistik und der Standardfehler. Die Regressionskoeffizienten werden mittels F-Test und der Errechnung der Konfidenzintervalle der Regressionskoeffizienten getestet. Auf die genannten Prüfkriterien wird in 4.2.4 anhand der Auswertung des Datenmaterials ausführlich eingegangen. Weiterführende ausführlichere Beschreibungen der Varianz- und Regressionsanalyse sind in der Fachliteratur [3, 60, 114] zu finden und werden daher an dieser Stelle nicht näher ausgeführt.

Zusammenfassend ist für diese Untersuchung in einem ersten Schritt die Prüfung der Wirkung der auf der Baustelle notierten Einflüsse mit Hilfe der Varianzanalyse notwendig, um die Einflüsse im anschließenden zweiten Schritt über die Regression weitestgehend exakt zu quantifizieren, so dass gegebenenfalls für nicht beobachtete (jedoch mögliche) Ausprägungen eines Einflusses Werte prognostizierbar werden.

4.1.3 Voraussetzung der Anwendung statistischer Methoden

Die überwiegende Zahl statistischer Verfahren zur Prüfung hinsichtlich der Zuverlässigkeit und Genauigkeit von Daten geht nach 4.1.2 von normal verteilten Grundgesamtheiten und einer Zufälligkeit der Stichprobenentnahme aus. Nach dem zentralen Grenzwertsatz der Wahrscheinlichkeitsrechnung ist die Summe beliebig verteilter unabhängiger Zufallsgrößen näherungsweise normal verteilt, wenn die Zahl der Summanden hinreichend groß ist [3].

Bei der Voraussetzung, dass zwischen einer hinreichend großen Anzahl von Ablaufabschnitten eines Vorgangs keine gegenseitige Abhängigkeit besteht, kann damit von einer Normalverteilung der Messwerte ausgegangen werden. Im Baubetrieb setzt sich der Teilvergäng als untere Grenze aus voneinander unabhängigen Elementarbewegungen zusammen. Somit können „bei Arbeitsuntersuchungen, die auf dieser Einteilung basieren, mit großer Wahrscheinlichkeit ebenfalls normal verteilte Grundgesamtheiten angenommen werden“ [109 S.150].

Die Einhaltung der Forderung nach Zufälligkeit der Stichprobe ergibt sich aus der Datenerfassung auf der Baustelle. Die Notierungen im Rahmen der systematischen

Multimomentaufnahme erfolgten in regelmäßigen Intervallen. Diese haben als Voraussetzung eine Ungleichheit mit den zu beobachtenden Vorgängen. Die gewählten Beobachtungsintervalle von zweieinhalb bis fünf Minuten gewährleisten dies aufgrund der nichtzyklischen Vorgänge bei Pflasterarbeiten. Somit hat jedes Ereignis die gleiche Beobachtungschance und die Zufälligkeit der Stichprobe ist gewährleistet. Eine Häufung bestimmter Vorgänge ist auszuschließen. Die Aufnahmetechnik ergibt ein dichtes und gleichmäßiges Netz von Notierungen, so dass sich das Verfahren der Multimomentaufnahme nahezu „dem Messen der Dauern von Vorgängen annähert“ [70 S.84] (vgl. 2.3.2).

Die auf der Baustelle erfassten Daten müssen zunächst entsprechend 4.1.2 auf die notwendigen Voraussetzungen

- Normalverteilung,
- statistische Sicherheit sowie
- Linearität

für die Anwendung der Varianz- und Regressionsanalyse zur Quantifizierung der Einflüsse am Beispiel von Pflasterarbeiten untersucht werden. Die Prüfung auf Varianzhomogenität erfolgt im Rahmen der Durchführung der Varianzanalyse für die zu betrachtenden Sachverhalte und wird nicht im Vorfeld untersucht. Des Weiteren sind die Daten auf Ausreißer zu prüfen.

4.2 Vorberichtung der Ausgangsdaten

4.2.1 Grunddaten

In der Vorbereitung der Auswertung wurden die Daten nach 4.1.3 bezüglich ihrer sachlogischen Zusammensetzung und Gruppierungsmöglichkeiten gesichtet. Die verwendeten Grunddaten resultieren aus Aufzeichnungen vier verschiedener Baustellen, die in einem Zeitraum von vier Jahren mittels der in 3.3 beschriebenen Methode der systematischen Multimomentaufnahme erfasst wurden. An den Beobachtungstagen wurden in regelmäßigen Intervallen die durch die Arbeitsgruppen ausgeführten Arbeiten beobachtet und notiert. In der gesamten Beobachtungszeit sind ca. 54.800 Einzelbeobachtungen, einschließlich der nicht für die Analyse berücksichtigten Vorgänge (vgl. 3.4.4.1), an 120 Beobachtungstagen aufgezeichnet worden. Die Zusammenfassung der Einzelbeobachtungen je Kolonne des jeweiligen Beobachtungstages (tag) sowie der ausgeführten Arbeit (Pflasterart (a)) ergaben insgesamt 178 akkumulierte Datensätze. Aufgrund der parallelen Ausführung unterschiedlicher Arbeiten am selben Tag existieren dafür zum Teil verschiedene Datensätze. In den Datensätzen sind durch die Einarbeitung der Notierungen in eine ausschließlich für die vorliegende Analyse konzipierte relationale Datenbank Informationen enthalten über

- die Anteile der einzelnen Ablaufarten an den Zeitarten (Einzelbeobachtungen der ausgeführten Teilvorgänge) sowie
 - die aufgetretenen Einflussgrößen
- der jeweiligen Pflasterart am Beobachtungstag.

Statistische Auswertungsverfahren setzen prinzipiell Stichproben voraus, die frei von unter Ausnahmebedingungen entstandenen Beobachtungen sind, wie beispielsweise Störungen des untersuchten Sachverhaltes etc.. Es ist daher vor jeder Auswertung zu prüfen, ob Extremwerte noch als zur Stichprobe gehörig angesehen werden können. Als Ausreißer sind Werte zu identifizieren, deren Abstand von den übrigen Messwerten der Stichprobe so groß ist, dass auf das Vorliegen untersuchungsfremder Umstände geschlossen werden muss [36].

Aus den 178 Datensätzen sind zunächst 20 Datensätze aufgrund von Aufnahmefehlern auszuschließen gewesen und in der weiteren Analyse nicht berücksichtigt worden. Um weitere mögliche Extremwerte zu identifizieren, wurde der Gesamtdatenbestand von 158 Datensätzen mit Hilfe des Ausreißertests nach Grubbs [40] geprüft. In den Datenreihen kommen als Ausreißer Minimum und Maximum in Betracht. Für diese wird die Prüfgröße (PG_{Grubbs}) berechnet, die den Abstand vom Mittelwert darstellt (Formel 21).

Formel 21 Berechnung der Prüfgröße PG_{Grubbs}

$$PG_{Grubbs} = \frac{|x_i - \bar{x}|}{\sigma}$$

\bar{x}	Mittelwert
x_i	verdächtiger Wert
σ	Standardabweichung
PG_{Grubbs}	Prüfgröße nach Grubbs

Die Prüfgröße PG_{Grubbs} gibt an, wie viele Standardabweichungen der zu testende Wert x vom Mittelwert entfernt liegt. Ist die Entfernung „zu groß“, wird der Wert als Ausreißer betrachtet. Welche Abstände noch akzeptabel sind, ist in der Tabelle der Grubbs-Verteilung festgelegt. Ein identifizierter Ausreißer wird aus der Datenmenge entfernt und die neuen Minimum- und Maximumwerte werden einem erneuten Test unterzogen.

Die Daten beinhalteten insgesamt einen als Ausreißer zu prüfenden Datensatz⁴⁴. Der Grubbs-Test ergab für diesen Tag und die ausgeführte Arbeit folgende Ergebnisse:

⁴⁴ Der Datensatz bezieht sich ausschließlich auf einen einzelnen Beobachtungstag.

Tab. 23 Ergebnisse des Ausreißertest nach Grubbs

Ausreißertest nach Grubbs	$h_g(a,tag)$	$h_v(a,tag)$	$h_{er}(a,tag)$
verdächtiger Wert x_i	0,204	0,781	0,015
Prüfgröße PG_{Grubbs}	4,425	4,943	0,249
Wert aus der Tabelle der Vergleichsgröße VG zum Grubbs-Test für 99% Sicherheit (145 Datensätze)	3,723	3,723	3,723
PG_{Grubbs} Vergleich mit Vergleichsgröße (VG)	$PG_{Grubbs} > VG$	$PG_{Grubbs} > VG$	$PG_{Grubbs} < VG$
Ergebnis	Ausreißer	Ausreißer	kein Ausreißer

Es ist zu erwarten, dass der Tabellenwert für die Vergleichsgröße (VG) bei einem Datenbestand von 158 Datensätzen nicht über die errechnete Prüfgröße ansteigt. Daraus ist zu schlussfolgern, dass der Datensatz, der sowohl beim Grundzeitanteil ($h_g(a,tag)$) als auch beim Verteilzeitanteil ($h_v(a,tag)$) einen Ausreißer enthält, vollständig aus der Analyse herauszunehmen ist. Alle anderen Minimums- und Maximumswerte ergaben bei weiterer Prüfung keine Ausreißer und sind vollständig für die Analyse verwendet worden. Es stehen insgesamt 157 Datensätze zur Verfügung. Diese teilen sich auf in die Beobachtungen für Pflasterarbeiten mit Verlegemaschine (50 Datensätze) und Pflasterarbeiten in traditioneller Handverlegung (107 Datensätze). Nachfolgende Betrachtungen zur Güte und den statistischen Kenngrößen beziehen sich aufgrund der Analyse der Einflüsse auf lohnintensive Arbeiten auf die 107 Datensätze der Pflasterarbeiten in Handverlegung.

4.2.2 Güte der Daten und statistische Kenngrößen

Entsprechend der in 4.1.3 für die Anwendung der Varianz- und Regressionsanalyse genannten Voraussetzungen werden die Analysedaten zunächst hinsichtlich ihrer statistischen Kenngrößen überprüft.

Statistische Sicherheit

Um anhand der Daten statistisch gesicherte Aussagen zu treffen, ist der dafür notwendige Beobachtungsumfang der Multimomentaufnahme zu bestimmen. Allgemein ist die relative Häufigkeit (h_x) eines Ereignisses⁴⁵ x eine Zufallsvariable. Angaben über die zu erwartende Abweichung vom tatsächlichen Wert werden mit der von Haller-Wedel [46] abgeleiteten Multimoment-Hauptformel errechnet. Der absolute Fehler (f) des Ereignisanteils h_x ergibt sich aus:

⁴⁵ Für die vorliegende Untersuchung ist dies der relative Anteil (h_x) der Ablaufart bzw. Zeitart in Bezug auf die Gesamtbeobachtungszahl.

Formel 22 Berechnung des absoluten Fehlers (absolutes Abweichungsmaß)

$$f = \pm u \cdot \sqrt{\frac{\bar{h}_x \cdot (1 - \bar{h}_x)}{n}} \cdot 100\%$$

f absoluter Fehler

\bar{h}_x Schätzwert für das unbekannte Ergebnis

u Fraktile der Normalverteilung bei statistischer Sicherheit 95% ist $u=1,96$

n Gesamtzahl der Beobachtungen

Damit kann der relative Fehler (ε) errechnet werden aus:

Formel 23 Berechnung des relativen Fehlers [117] (relatives Abweichungsmaß)

$$\varepsilon = \frac{f}{\bar{h}_x} \cdot 100\%$$

ε relativer Fehler

f absoluter Fehler

\bar{h}_x wahrer Wert für den Anteil des Ereignisses i an der Grundgesamtheit

Der wahre Wert für den Anteil des Ereignisses x liegt damit zwischen $\bar{h}_x - f \leq h_x \leq \bar{h}_x + f$.

Demnach kann für den kleinsten zu erwartenden Vorkommnisanteil \bar{h}_x und den zulässigen Fehler f bzw. ε die erforderliche Anzahl von Beobachtungen zur Erreichung statistisch gesicherter Aussagen ermittelt werden.

Formel 24 Allgemeine Berechnung der erforderlichen Beobachtungsanzahl

$$n_{\text{erf}} \approx \frac{u^2 \cdot \bar{h}_x \cdot (1 - \bar{h}_x)}{f^2}$$

\bar{h}_x Schätzwert für das unbekannte Ereignis

u Fraktile der Normalverteilung bei statistischer Sicherheit 95% ist $u=1,96$

f absoluter Fehler

n_{erf} erforderliche Beobachtungszahl

Für die Analyse sind die Anteile der Verteilzeit (h_v) und der Erholzeit (h_{er}) ausschlaggebend. Aufgrund der Ergebnisse von Lindemann [75], Werner [128] und Haide [43] wurde, abweichend von der klassischen im Baubetrieb angesetzten Einteilung (70% Grundzeit, 20% Verteilzeit sowie 10% Erholzeit) für diese Untersuchung ein Verteilzeitanteil (h_v) von nur 15% angenommen.

Der Anteil der Erholzeit (h_{er}) bleibt mit 10% gleich der klassischen Zeitartenteilung. Als kleinster Zeitartenanteil bildet die Erholzeit (h_{er}) die Grundlage der Berechnung des notwendigen Beobachtungsumfanges, um zu statistisch gesicherten Aussagen zu gelangen. Da für Bauarbeiten ein relativer Vertrauensbereich von 10% als ausreichend angesehen wird [75], ergibt sich damit für den Erholzeitanteil (h_{er}) von 10% für den absoluten Fehler

$$f = 10\% \text{ von } 10\% h_{er} \triangleq 1\%$$

als Vertrauensbereich.

Damit ist die für die Analyse erforderliche Anzahl der Beobachtungen für statistisch gesicherte Aussagen nach Formel 24 errechenbar. Danach sind rd. 3.460 Beobachtungen notwendig, um eine 95%ige Sicherheit zu gewährleisten, dass der wahre, jedoch unbekannte Anteil der in der Beobachtung ermittelten Anteile der Erholzeit (h_{er}) um weniger als 1% vom Ergebnis der Multimomentaufnahme abweicht. Diese Beobachtungsanzahl ist jedoch nur zutreffend, sofern sich der angenommene Anteil der Erholzeit (h_{er}) mit 10% als richtig herausstellt. Ist der tatsächliche Anteil geringer, müssen mehr Beobachtungen erfasst werden, um die statistische Sicherheit von 95% zu erreichen. Für die Grundzeit (h_g) und Verteilzeit (h_v) sind höhere Anteile zu erwarten. Durch die geforderte hohe Beobachtungszahl der Erholzeit (H_{er}) ist auch die Einhaltung der statistischen Sicherheiten für diese Anteile gewährleistet.

Die nachfolgenden Tabellen (Tab. 24, 25 und 26) stellen die Zuverlässigkeit der Daten bei einer 95%en Sicherheit mit einem Vertrauensbereich von 10% für die einzelnen Baustellen und für die Beobachtung insgesamt dar. Es wurden hierbei nur die in die Analyse der lohnintensiven Arbeiten einbezogenen Beobachtungen verwendet.

Tab. 24 Ergebnisse der Prüfung der statistischen Sicherheit der h_{er} (MG0)

		Beobachtungen n H_{er}	gesamt	relativer Anteil h_{er} [%]	absoluter $f_{soll} h_{er}$ [%]	absoluter $f_{ist} h_{er}$ [%]	statist. Sicherheit $f_{ist} < f_{soll}$	relativer Fehler ε [%]
Baustelle	1	317	4.541	6,981	0,698	0,741	nein	10,617
	2	326	4.469	7,295	0,729	0,762	nein	10,452
	3	933	9.390	9,936	0,994	0,605	ja	6,090
	4	762	8.751	8,708	0,871	0,591	ja	6,784
Gesamt		2.338	27.151	8,611	0,861	0,334	ja	3,875

Tab. 25 Ergebnisse der Prüfung der statistischen Sicherheit der h_a (MG0)

		Beobachtungen n H_g	gesamt	relativer Anteil h_g [%]	absoluter $f_{Soll} h_g$ [%]	absoluter $f_{ist} h_g$ [%]	statist. Sicherheit $f_{ist} < f_{soll}$	relativer Fehler ε [%]
Baustelle	1	3.742	4.541	82,405	8,240	1,108	ja	1,344
	2	3.318	4.469	74,245	7,424	1,282	ja	1,727
	3	7.127	9.390	75,900	7,590	0,865	ja	1,140
	4	7.299	8.751	83,408	8,341	0,779	ja	0,934
Gesamt		21.486	27.151	79,135	7,914	0,483	ja	0,611

Tab. 26 Ergebnisse der Prüfung der statistischen Sicherheit der h_v (MG0)

		Beobachtungen n H_v	gesamt	relativer Anteil h_v [%]	absoluter $f_{Soll} h_v$ [%]	absoluter $f_{ist} h_v$ [%]	statist. Sicherheit $f_{ist} < f_{soll}$	relativer Fehler ε [%]
Baustelle	1	482	4.541	10,614	1,061	0,896	nein	10,617
	2	825	4.469	18,461	1,846	1,138	nein	10,452
	3	1.330	9.390	14,164	1,416	0,705	ja	6,090
	4	690	8.751	7,885	0,788	0,565	ja	6,784
Gesamt		3.327	27.151	12,254	1,225	0,390	ja	3,875

Die statistische Sicherheit des Anteils der Erholzeit (h_{er}) (Tab. 24) und der Verteilzeit (h_v) (Tab. 26) ist für die Baustellen 1 und 2 nicht erreicht. Die Gesamtbeobachtungszahl hätte für den tatsächlich erreichten Anteil der Erholzeit (h_{er}) bzw. der Verteilzeit (h_v) höher liegen müssen. Für die Analyse werden jedoch die gesamten Beobachtungsdaten verwendet, welche die statistische Sicherheit gewährleisten, d.h. dass beispielsweise der wahre Anteil der Erholzeit (h_{er}) mit einer statistischen Sicherheit von 95% auf $8,277\% \leq h_{er} \leq 8,945\%$ für die Gesamtbeobachtung und Verwendung in der Analyse eingrenzbar ist.

Es sind aufgrund der dargestellten Ergebnisse für die Analyse bei der Verwendung von Teilmengen geringere Gesamtbeobachtungszahlen zu berücksichtigen. Bei Aussagen zu den Teilmengen ist daher die statistische Sicherheit separat nachzuweisen und für die Ergebnisbeurteilung zu berücksichtigen. Die vollständigen Ergebnisse sind im Anhang B (B.1.3) zu finden. In den entsprechenden Abschnitten wird darauf zusätzlich darauf verwiesen.

Nachweis der Normalverteilung

In Untersuchungen von Johann [61] und Winkelmann [134] wurde festgestellt, dass „...der Nachweis für die Normalverteilung vom Mittelwert von x eigentlich überflüssig ist, da nach dem zentralen Grenzwertsatz die Mittelwerte von Stichproben aus beliebigen Verteilungen stets normal verteilt sind, wenn die Anzahl der Mittelwerte groß genug ist“

[61 S.86].“ Bekräftigt wird dies gleichermaßen von Bauch [4], der bei der Überlagerung mehrerer unabhängiger Einzelwirkungen bei Bauprozessen für die Endverteilung ebenso eine typische Normalverteilung feststellte und dies gleichfalls nach dem Grenzwertsatz von Poisson erklärte. Die Poissonverteilung geht bei genügend großer Anzahl von Werten (n-unendlich) aus der Binomialverteilung hervor und nach Laplace und Bernoulli kann diese bei entsprechend großen Beobachtungszahlen durch eine Normalverteilung approximiert werden. Winkelmann [134] gibt anhand seiner Untersuchungen 15 bis 20 Werte als notwendige Mindestanzahl an, um ein aussagefähiges Ergebnis zu erhalten.

Zur Prüfung der Normalverteilung einer Stichprobe existieren verschiedene Verfahren, die in der einschlägigen Fachliteratur ausführlich beschrieben werden [3, 60]. Für die Prüfung auf Normalverteilung der Daten in dieser Untersuchung wurde der Kolmogorov-Smirnov-Test [60 S.535ff] gewählt. Dieser prüft auch für kleinere Stichproben, ob die Verteilung einer Stichprobenvariablen mit einer theoretischen Verteilung übereinstimmt oder nicht.

Die Grundlage der Quantifizierung der Einflussgrößen sind die Anteile der Verteil- und Erholzeit (h_v und h_{er}). Daher wird als Voraussetzung für die Anwendung der statistischen Auswertungsverfahren die Summe dieser Anteile auf Normalverteilung untersucht. Das Ergebnis des durchgeführten Tests der aufsummierten relativen Häufigkeiten der Anteile der Verteil- und Erholzeit (h_v und h_{er}) ist in Tab. 27 dargestellt.

Tab. 27 Test auf Normalverteilung der Anteile (h_v und h_{er}) lohnintensiver Arbeiten

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest		($h_v + h_{er}$)
N		107
Parameter der Normalverteilung ^{a,b}	Mittelwert	0,210658
	Standardabweichung	0,0859402
Extremste Differenzen	Absolut	0,078
	Positiv	0,078
	Negativ	-0,044
Kolmogorov-Smirnov-Z		0,802
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		0,540

^a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

^b Aus den Daten berechnet.

Bei einem Signifikanzniveau von 5% ($\alpha=0,05$) kann die Hypothese H_0 (die Daten sind normal verteilt) angenommen werden ($0,54>0,05$). Der zur Bestätigung zusätzlich durchgeführte Schnelltest von Pearson und Stephens⁴⁶ [109] untermauert diese

⁴⁶ Vgl. Anhang B (B.1.2).

Aussage zusätzlich. Abb. 22 visualisiert die Verteilung des zu untersuchenden Anteils (h_v und h_{er}).

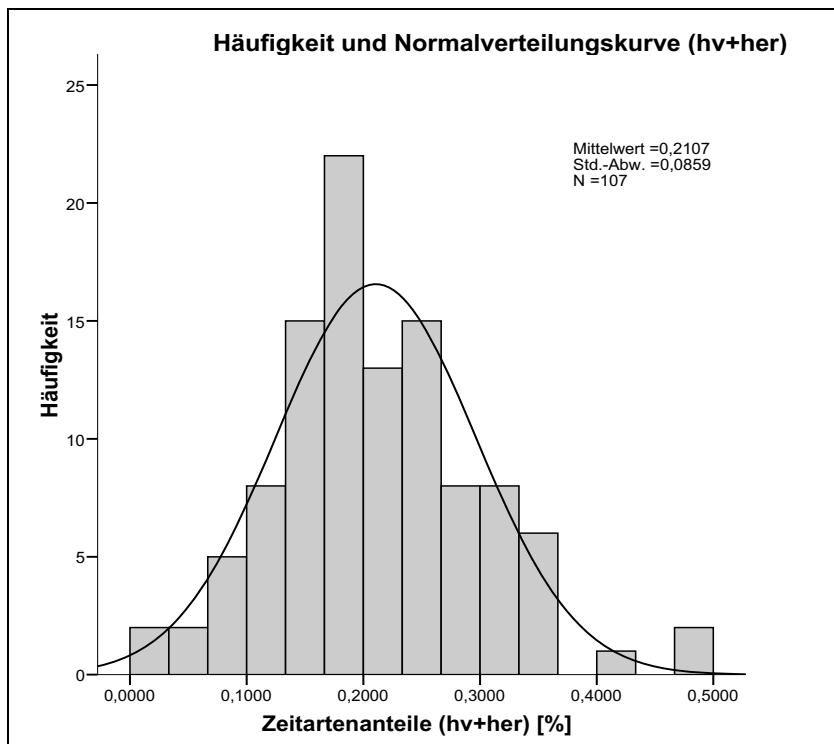


Abb. 22 Grafische Darstellung der Verteilung des Anteils h_v und h_{er} der gesamten Beobachtungstage lohnintensiver Arbeiten

Es ist die Forderung hinsichtlich einer Normalverteilung von Zeitdaten aus 4.1.3 an vorliegenden Daten bestätigt und die geforderte Voraussetzung der Normalverteilung der abhängigen Variablen für die Anwendung multivariater Analyseverfahren erfüllt. Die in der Analyse verwendeten Teilmengen bzw. die jeweils für die Analyse verwendeten Ablaufartenanteile wurden analog ebenfalls auf Normalverteilung gestestet und als solche bestätigt. Ausführlich sind auch diese Ergebnisse im Anhang B (B.1.2) dargestellt.

4.2.3 Arbeitszeitgliederung auf den Untersuchungsbaustellen

Die Arbeitszeitgliederung auf den Untersuchungsbaustellen gibt einen Überblick über die Anteile der Ablaufarten bzw. Zeitarten am Arbeitsprozess und lässt Tendenzen hinsichtlich Arbeitsorganisation und -ablauf erkennen. Prinzipiell ist diese durch die detaillierte Aufschlüsselung bis zur Ebene der einzelnen Teilvorgänge für Verlustquellenanalysen und damit verbundene Optimierungsbetrachtungen nutzbar.

Tab. 28 stellt die notierten Beobachtungen und deren prozentuale Anteile für die Zeit- und Ablaufarten der einzelnen Baustellen sowie insgesamt in Bezug auf die Gesamtbeobachtungen der lohnintensiven Arbeiten dar.

Tab. 28 Zeitarten- und Ablaufartenanteile an der Gesamtarbeitszeit (MG0)

		Baustelle 1		Baustelle 2		Baustelle 3		Baustelle 4		Gesamt	
		H _x	h _x [%]								
Zeitarten	t _g	3.742	82,40	3.318	74,24	7.127	75,90	7.299	83,41	21.486	79,14
	t _v	482	10,61	825	18,46	1.330	14,16	1.018	11,63	4.100	15,10
	t _{er}	317	6,98	326	7,29	933	9,94	434	4,96	1.565	5,76
Ablaufartenanteil	MH	2.318	51,05	1.545	34,57	4.659	49,62	4.760	54,39	13.282	48,92
	MN	1.044	22,99	1.259	28,17	1.998	21,28	2.186	24,98	6.487	23,89
	MA	380	8,37	514	11,50	470	5,01	353	4,03	1.717	6,32
	MZ	340	7,49	482	10,79	965	10,28	487	5,57	2.274	8,38
	MS	142	3,13	343	7,68	365	3,89	203	2,32	1.053	3,88
	MP	64	1,41	135	3,02	246	2,62	328	3,75	773	2,85
	ME	253	5,57	191	4,27	687	7,32	434	4,96	1.565	5,76
Gesamt		4.541	100,00	4.469	100,00	9.390	100,00	8.751	100,00	27.151	100,00

Durch die Aufnahme der Daten über längere Beobachtungszeiträume und auf unterschiedlichen Baustellen ist bei der Gesamtbeobachtungsverteilung von Durchschnittswerten auszugehen. Die geforderte statistische Sicherheit ist für diese in allen Ablauf- und Zeitarten gegeben (siehe Anhang B (B.1.3)). Die erreichte Genauigkeit (Vertrauensbereich) kann nach Formel 22 berechnet werden. Für die Gesamtbeobachtung ergeben sich Genauigkeiten der Grundzeit mit $\pm 0,48\%$, der Verteilzeit mit $\pm 0,45\%$ und der Erholzeit mit $\pm 0,25\%$.

Im Vergleich der in 4.2.2 beschriebenen angenommenen Teilung der Arbeitszeit in 75% Grundzeit (h_g), 15% Verteilzeit (h_v) und 10% Erholzeit (h_{er}) ist nach Tab. 28 (Zeile Zeitarten, Spalte Gesamt) ein deutlicher Unterschied erkennbar. Es sind daraus folgende grundlegende Schlussfolgerungen über die Baustellen- und Ablauforganisation zulässig:

- Baustelle 2 hat den geringsten Grundzeitanteil (h_g), der aus einem zu hohen Verteilzeitanteil (h_v) resultiert. Der im Vergleich zu den anderen Baustellen sehr hohe Beobachtungsanteil für störungsbedingte Unterbrechungen (h_{MS}) sowie zusätzliche Tätigkeiten (h_{MZ}) lässt auf eine ungünstige Baustellenorganisation schließen. Der sehr geringe Erholzeitanteil (h_{er}) für Pflasterarbeiten zeigt⁴⁷, dass der Bauablauf mit Störungen behaftet gewesen ist und somit störungsbedingte Wartezeiten unwillkürlich der Erholung dienten, die als solche nicht erkannt wurden.
- Baustelle 4 weist den höchsten Anteil der Grundzeit (h_g) auf und liegt mit ihren Verteilzeitanteilen niedriger als die restlichen Baustellen. Bei Betrachtung der aufge-

⁴⁷ „Bei einigen traditionellen Technologien und schweren körperlichen Arbeiten“ sind Erholzeiten von rd. 10% erforderlich [136].

schlüsselten Grundzeit (Tab. 28) wird deutlich, dass der Anteil der Haupttätigkeit (h_{MH}) von 54,39% den Aussagen von Berner [10] entspricht, der bei Untersuchungen von Verlustquellen auf Baustellen einen allgemeinen Anteil h_{MH} über 50% feststellte, um einen Bauablauf ohne größere Zeitverluste zu gewährleisten. Baustelle 4 zeichnet sich demnach durch eine sehr gute Baustellen- und Ablauforganisation aus.

- Baustelle 3 entspricht in etwa der angenommenen Soll-Zeitartenverteilung.
- Baustelle 1 erreicht den hohen Anteil der Grundzeit (h_g) durch geringere Verteil- und Erholzeitanteile. Dies lässt auf eine gute Baustellenorganisation schließen, jedoch liegt der Haupttätigkeitsanteil h_{MH} nur gering über 50% und lässt nach Berner [10] auch hier Verlustquellen vermuten.

Die Zeitartenverteilung der Gesamtbeobachtung mit 79,14% Grundzeit (h_g), 15,10% Verteilzeit (h_v) und 5,76% Erholzeit (h_{er}) ist günstiger als die angenommene Soll-Zeitartenverteilung (vgl. 4.2.2). Der Verteilzeitanteil (h_v) liegt annähernd im Normalbereich, der nach einer Befragung bei REFA Fachleuten einem Anteil für die Verteilzeit (h_v) von ca. 13% entspricht [10 S.122]. Die Verschiebung der Anteile der Ablaufarten ist auf Einflussgrößen zurückzuführen, die in der weiteren Untersuchung näher beleuchtet und quantifiziert werden. Auf eine weiterführende Interpretation der Zeitartenverteilung wird im Rahmen der Zielstellung dieser Untersuchung verzichtet.

4.2.4 Linearität

Die Linearität der zu analysierenden Werte, als Voraussetzung der Anwendung multivariater Analysemethoden, wurde mittels Test des Regressionskoeffizienten untersucht. Dabei wird geprüft, ob für die Grundgesamtheit der Variablen ein linearer Regressionszusammenhang angenommen werden darf.

Zuschlagswert für die „technischen“ Parameter

Die Prüfung des linearen Verhaltens entsprechend der „technischen“ Parameter erfolgt über die Zuordnung der berechneten GZW(a) gemäß der theoretischen Vorbetrachtung nach Tab. 16 in 3.5.2.1. Entsprechend der Festlegung des zu ermittelnden GZW(a) auf Material und Geometrie sowie die Kolonne sind die Gruppen Betonpflaster, Betonplatten und Natursteinpflaster auf lineares Verhalten geprüft worden. Beispielhaft ist das Ergebnis der Analyse für Betonpflaster in Tab. 29 dargestellt.

Analyse zur Quantifizierung der Einflüsse

Tab. 29 Prüfung des Regressionskoeffizienten der GZW(Betonpflaster) entsprechend der „technischen“ Parameterstufen

Koeffizienten ^a							
Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten		T	Signifikanz
		B	Standardfehler	Beta			
1	(Konstante)	0,030	0,002			14,657	0,043
	technische Parameter (TP(stufe))	0,033	0,001	1,000		34,286	0,019

^a Abhängige Variable: GZW(Betonpflaster)

Der Test bestätigt, dass die Ablehnung der Nullhypothese H_0 (kein linearer Zusammenhang [60 S.412ff]) mit dem Signifikanzniveau 0,019 korrekt und bei einem berechneten Bestimmtheitsmaß (R^2) von 0,998 ein linearer Zusammenhang nachgewiesen ist (vgl. Tab. 30).

Tab. 30 Modellzusammenfassung Prüfung des Regressionskoeffizienten GZW(Betonpflaster)

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
1	1,000 ^a	0,999	0,998	0,0013622

^a Einflussvariablen: (Konstante), Technische Parameter (TP(stufe))

Der Nachweis für Betonplatten ist ebenfalls erfolgt und im Anhang B (B.1.4) zu finden. Für Natursteinpflaster konnte aufgrund der geringen Datenmenge der Nachweis nicht geführt werden.

Zuschlagsfaktor k_E

Die Prüfung auf Linearität des Verteilzeitanteils (h_v) wird durchgeführt, da dieser den k_E Faktor definiert. Der Anteil der Verteilzeit (h_v) wird durch die variablen Einflüsse geprägt und ist daher für die einzelnen lohnintensiven Pflasterarbeiten als nicht unterschiedlich anzunehmen. Es ist daher keine Unterteilung wie bei den „technischen“ Parametern notwendig.

Tab. 31 Prüfung des Regressionskoeffizienten des Anteils h_v (MG0) entsprechend der BB und BUB

Koeffizienten ^a							
Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten		T	Signifikanz
		B	Standardfehler	Beta			
1	(Konstante)	0,042	0,013			3,117	0,017
	BB und BUB (k_E (stufe))	0,015	0,002	0,948		7,906	0,000

^a Abhängige Variable: h_v (MG0)

Der durchgeführte und in Tab. 31 dargestellte Test des Regressionskoeffizienten der Gesamtdaten lohnintensiver Arbeiten bestätigt, dass die Ablehnung der Nullhypothese H_0 (kein linearer Zusammenhang [60 S.412ff]) mit dem Signifikanzniveau 0,000 korrekt

und bei einem berechneten Bestimmtheitsmaß (R^2) von 0,899 ein linearer Zusammenhang nachgewiesen ist (Tab. 32).

Tab. 32 Modellzusammenfassung Prüfung des Regressionskoeffizienten h_v (MG0)

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
1	0,948 ^a	0,899	0,885	0,0196803

^a Einflussvariablen: (Konstante), BB und BUB (k_E (stufe))

Die Regressionsgerade ist aufgrund des positiven empirischen T Wertes ansteigend. Infolge der Akkumulation der Beobachtungsdaten aufgrund der Überlegungen in 3.5.2.2 ist eine linear ansteigende Tendenz der Zielgröße zu erwarten. Die fehlenden und durch die weitere Untersuchung zu berechnenden Korrekturfaktoren k_E werden näherungsweise entsprechend des Verlaufes der Regressionsgeraden erwartet.

4.2.5 Datenanalyse

Um sachlogisch begründete Ausgangsdaten in der Analyse zu verwenden, wird untersucht, inwieweit die erfassten Basisgrößen den Zuschlagswert für „technische“ Parameter (TP(stufe)) in Bezug auf den GZW(a) signifikant beeinflussen und inwieweit der Korrekturfaktor k_E , definiert durch den Verteilzeitanteil (h_v) sowie der angestrebte Festzuschlagsfaktor k_{er} , definiert durch den persönlichen Verteil- und Erholzeitanteil (h_{er}), signifikant durch die Einflüsse bestimmt werden. Des Weiteren ist festzustellen, ob die Stufungen der Einflussgrößen geeignet oder diese gegebenenfalls neu zusammenzufassen sind, um die Quantifizierung der Einflüsse entsprechend der Baustellen- (BB) sowie der Betriebs- und Umfeldbedingungen (BUB) durchzuführen.

Nach den in den Abschnitten 4.2.1 und 4.2.2 erfüllten Voraussetzungen werden für die statistische Analyse 107 Datensätze lohnintensiver Pflasterarbeiten verwendet, die frei von Extremwerten sind und nachweislich aus einer normal verteilten Grundgesamtheit stammen. Die statistische Sicherheit des kleinsten zu erwartenden Anteils der Erholzeit (h_{er}) wurde für die Gesamtbeobachtung nachgewiesen und wird für die jeweilig in der Analyse betrachteten Teilmengen zur Ableitung gesicherter Aussagen ebenso geprüft⁴⁸. Die weitere Vorgehensweise erfolgt entsprechend der theoretischen Vorbetrachtung (Abb. 23).

⁴⁸ Die ausführlichen Ergebnisse sind im Anhang B (B.1.3) zu finden.

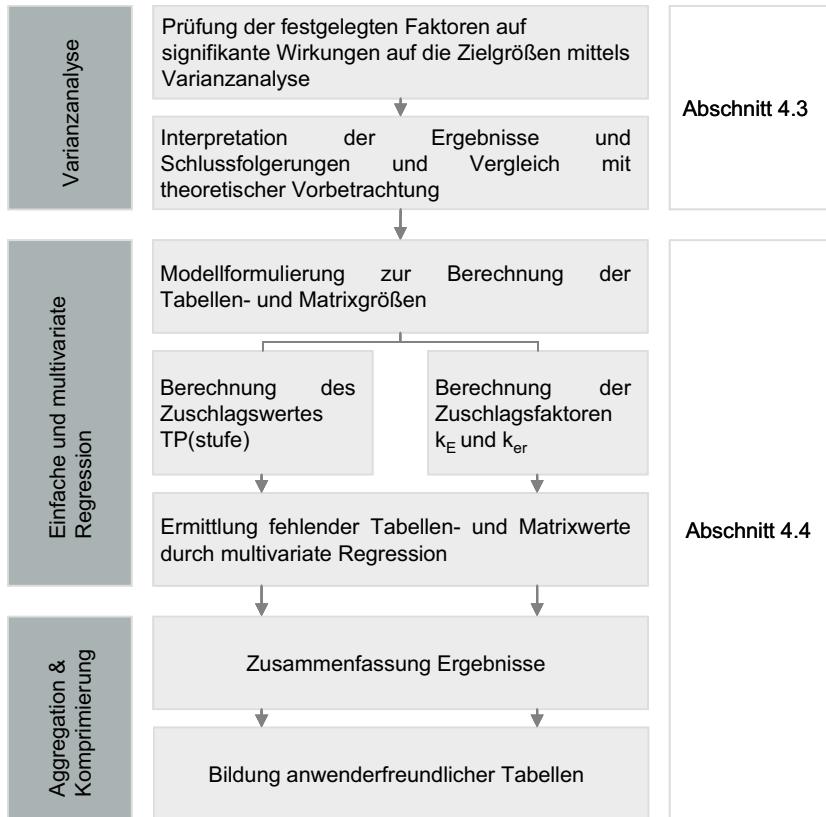


Abb. 23 Analyseverlauf zur Quantifizierung der Einflussgrößen

4.3 Prüfung der Signifikanz der Einflussgrößen

Bereits 1975 stellte Spranz [109] in seiner Arbeit fest, dass „bei der Auswertung von Zeitdaten, die bei Untersuchungen von Arbeitsabläufen auf Baustellen anfallen, es im allgemeinen Schwierigkeiten bereitet, über eine erkennbare Haupteinflussgröße hinaus weitere Einflussgrößen in ihrer Auswirkung auf den Zeitbedarf signifikant nachzuweisen“ [109 S.166]. Ursache dafür sind das durch die Gegebenheiten der Baustellenfertigung große Streuverhalten der Daten und die meist sehr kleinen Stichprobenumfänge. Auch in dieser Untersuchung ist der Stichprobenumfang klein, obgleich eine große Menge an Einzeldaten vorliegt. Trotzdem wurden die Zielgrößen und deren Streuungsursachen analysiert und konnten nachgewiesen werden. Der für die auszuführende Arbeit zu berechnende SZW ist die Summe des durch die konstanten Einflüsse geprägten GZW und des durch die variablen Einflüsse geprägten Zuschlags aus Verteil- und Erholzeiten (vgl. Formel 9). Es werden daher zur Quantifizierung der Einflüsse der GZW und die die Zuschlagsfaktoren bestimmenden Anteile der Verteil- und Erholzeit getrennt voneinander betrachtet.

4.3.1 Die Wirkung der konstanten Einflussgrößen auf den Grundzeitwert (GZW)

Entsprechend der theoretischen Vorberichtigung in 3.5.2.1 wurden die in Tab. 13 zusammengefassten Einflüsse auf den GZW mit Hilfe der univariaten Varianzanalyse auf ihre signifikante Wirkung überprüft. Die theoretisch entwickelte Zusammensetzung

des Zuschlagswertes TP(stufe) wird damit praktisch anhand der Variation der empirisch ermittelten GZW nachgewiesen.

In die Analyse gehen alle Datensätze der Handverlegung (MG0) ein⁴⁹, exklusiv der Beobachtungen für Bordsetzarbeiten⁵⁰. Aufgrund fehlender aufgemessener Leistungen (Q(a,tag)) an diversen Beobachtungstagen war es nicht für alle 107 Datensätze der Handverlegung (MG0) möglich, einen täglichen Grundzeitwert ($zw_g(a,tag)$) abzuleiten, so dass sich der Datenumfang auf 71 zu analysierende Beobachtungstage reduziert.

Prüfung der konstanten Einflüsse

Die Prüfung der in Tab. 13 aufgeführten Einflüsse ergibt über die einfaktorielle Varianzanalyse zunächst für alle Einflüsse eine signifikante Wirkung auf den GZW. Jedoch ist der Levene-Test⁵¹ auf Varianzhomogenität, als Voraussetzung der Anwendung der Varianzanalyse, nur bei den Einflussgrößen Material und Arbeitsperson erfüllt und somit auch nur für diese anwendbar. Als Ursache ist zu vermuten, dass die in Tab. 13 aufgeführten Einflüsse in Interaktion miteinander stehen und die Ausprägung des GZW gemeinsam beeinflussen. Aus diesem Grund wurden mit Hilfe der mehrfaktoriellen Varianzanalyse die Interaktionen und die gegebenenfalls gemeinsamen Wirkungen der Einflüsse überprüft.

In der Analyse wurden alle konstanten Einflüsse in einem Modell untersucht. Der GZW ist dabei die zu betrachtende Zielgröße (abhängige Variable), dessen Variation durch die unabhängigen Variablen erklärt wird. Die Ergebnisse der mehrfaktoriellen Varianzanalyse, die auch die Überprüfung der Wechselwirkungen nach sachlogisch vermuteten Zusammenhängen zwischen den Einflüssen einschließt, sind bei gegebener Gleichheit der Fehlervarianzen (Signifikanz $\alpha=0,066$) in nachfolgender Tab. 33 dargestellt.

⁴⁹ Mittels Maschinenverlegung sind höhere Leistungswerte und damit geringere Zeitwerte erreichbar, die jedoch nicht Bestandteil vorliegender Untersuchung sind. Für diese Maschinen geprägten Arbeiten findet die DIN ISO 9245 [55] Anwendung.

⁵⁰ Die Q(a,tag) der Borde wird in [m] und die Q(a,tag) für Pflaster und Platten in [m^2] angegeben. Damit ist die direkte Vergleichbarkeit nicht gegeben. Borde bleiben bei Betrachtungen des GZW und dessen Variation daher unberücksichtigt.

⁵¹ Levene-Test: Prüfung der Homogenität der Varianzen in den Vergleichsgruppen als Voraussetzung der Anwendung der Varianzanalyse. Dabei muss die ermittelte Signifikanz größer dem Signifikanzniveau von $\alpha=0,05$ sein [60].

Tab. 33 Ergebnisse der mehrfaktoriellen Varianzanalyse des GZW

Einflussgrößen	Ergebnisse der Varianzanalyse GZW		
	Signifikanz	Testschärfe*	Varianzhomogenität
Anzahl der Arbeitspersonen	0,067	67,5%	0,066
Pflasterart	0,000	99,9%	
Pflasterart · Bauweise · Verband	0,017	80,5%	
Pflasterart · Verband · SGrad · Flächenzuschnitt	0,046	77,7%	

*Testschärfe: Wahrscheinlichkeit der Ablehnung der Nullhypothese H_0 (H_0 : keine Unterschiede zwischen den Gruppen)

Aus Tab. 33 wird deutlich, dass die Pflasterart als direkter und die Anzahl der Arbeitspersonen als „nicht“ Einfluss unter Berücksichtigung der gleichzeitigen Wirkung der restlichen Variablen und deren Wechselwirkungen nachweisbar sind. Die Variablen des Varianzmodells Bauweise, Verband und Schwierigkeitsgrad Flächenzuschnitt wirken in Kombinationen auf die Variation des GZW. Die Ergebnisse sind wie folgt zu interpretieren:

- Anzahl der Arbeitspersonen (Kolonne)

Nach 3.5.2.1 ist der Zuschlagswert der technischen Parameter (TP(stufe)) auf die Pflasterart (a) sowie das Unternehmen (Kolonne) bezogen. Die Einflussgröße der Arbeitspersonenzahl steht nicht in direkter Wechselwirkung zu den anderen auf den GZW wirkenden Einflüssen. Sie ist als Einfluss im mehrfaktoriellen Design der Varianzanalyse berücksichtigt, jedoch wurden ihr keine Wechselwirkungen zugewiesen. Die nicht signifikante Wirkung ist auch im durchgeführten Post-Hoc-Test⁵² bestätigt, der keine Gruppenunterschiede ergab (siehe Anhang C (C.2)). Die nachweislich nicht signifikante Wirkung auf die Variation des GZW ist damit bestätigt.

Eine Erklärung dafür ist, dass eine Unterbesetzung, trotz eines hohen Anteils der Grundzeit (h_g), eine Verminderung der Wertschöpfung (geringere $Q(a,tag)$) durch beispielsweise gestörte und nicht arbeitsflussgerechte Abläufe zur Folge hat. Zusätzlich besteht dabei die Gefahr, die dauerhafte Leistungshergabe der Arbeitspersonen durch eine Überbelastung zu beeinträchtigen. Bei einer Überbesetzung der Kolonne dagegen verringert sich, beispielsweise durch gegenseitige Behinderungen, der Anteil der Grundzeit (h_g) aufgrund zusätzlicher, vermeidbarer Wartezeiten, die ebenfall negativ auf den Leistungserstellungsprozess, d. h. eine Verminderung der aufgemessenen Leistung ($Q(a,tag)$), wirken. Somit ist aufgrund der Bildung des täglichen Grundzeitwertes ($zw_g(a,tag)$) aus dem Quotienten des Anteils $h_g(a,tag)$ an der täglichen Arbeitszeit ($AZ(a,tag)$) und der aufgemessenen Leistung ($Q(a,tag)$) ein

⁵² Der Post-Hoc-Spannweitentest gehört, wie der paarweise Mehrfachvergleich, zu den multiplen Vergleichen. Sie untersuchen Vergleichsgruppen auf nicht signifikante Mittelwertdifferenzen. Jeweils zwei Gruppen, die sich nicht unterscheiden, werden als neue homogene Gruppe ausgewiesen. Ausführlich siehe dazu in Backhaus [3 S.355ff].

etwa umgekehrt proportionales Verhalten zu erwarten. Dieses spiegelt sich in der geringen Streuung des GZW in Bezug auf die Arbeitspersonenanzahl der Kolonnen wider. Nach den Erfahrungswerten der an der Untersuchung beteiligten Firmen ist eine Kolonnenbesetzung mit 4 bis max. 6 Arbeitspersonen je Pflasterkolonne optimal, da bei dieser Größe ein arbeitsflussgerechter Ablauf gewährleistet ist (vgl. 3.4.3.1).

Aufgrund der Datenerfassung über das Verfahren der Multimomentaufnahme ist somit der GZW für das Unternehmen und damit die Kolonne entsprechend der theoretischen Vorbetrachtung definiert. Eine Interaktion mit anderen Einflussgrößen ist auszuschließen.

- **Pflasterart**

Die Einflussgröße Pflasterart (a) ist in der mehrfaktoriellen Varianzanalyse sowohl als Haupteinfluss als auch in Wechselwirkung mit der Bauweise, dem Schwierigkeitsgrad Flächenzuschnitt sowie dem Verband als signifikant nachweisbar. Der Post-Hoc-Mehrfachvergleich ergibt eine Unterscheidung zwischen Natursteinpflaster und Betonpflaster sowie -platten. Dies wird ebenfalls bei Betrachtung des Unterschiedes der gegen Extremwerte robusteren Mediane der Gruppen Beton und Naturstein bestätigt⁵³.

Die zusätzlich durchgeführte Prüfung der Einflussgröße Geometrie, welche die Pflasterart neben dem Material mit definiert, brachte keine Ergebnisse. Allerdings weist der Median der Gruppen dieser Einflussgröße ebenfalls einen nicht zu vernachlässigenden Unterschied auf. Dieser lässt zusammen mit der theoretischen Vorüberlegung die Trennung zwischen Pflaster und Platten zu.⁵⁴. Die in Tab. 4 festgelegten Pflastergruppen (vgl. 3.4.3.2) werden daher beibehalten und bilden die Grundlage der Berechnung des Zuschlagswertes TP(stufe).

- **Bauweise**

Für die Einflussgröße Bauweise ist, aufgrund einer fehlenden Varianzgleichheit, über die einfaktorielle Varianzanalyse keine signifikante Wirkung nachweisbar. Damit wäre diese als „technischer“ Parameter auszuschließen. Die Betrachtung des Medianen der beiden Gruppen zeigt jedoch ebenfalls einen Unterschied⁵⁵ zwischen dem GZW in gebundener und in Regelbauweise auf, der ebenfalls nicht vernachlässigbar ist. Gleichzeitig ergab die Interaktionsprüfung in der mehrfaktoriellen Varianzanalyse

⁵³ Der Median GZW(Pflaster) beträgt $0,11\text{h}/\text{m}^2$ (Mittelwert $0,12 \pm 0,023\text{h}/\text{m}^2$ mit S=95%) und der Median GZW(Platten) beträgt $0,06\text{h}/\text{m}^2$ (Mittelwert $0,07 \pm 0,017\text{h}/\text{m}^2$ mit S=95%). Für die Einflussgröße Material beträgt der Median GZW(Beton) $0,06\text{h}/\text{m}^2$ (Mittelwert $0,08 \pm 0,009\text{h}/\text{m}^2$ mit S=95%) und der Median GZW(Natur) $0,017\text{h}/\text{m}^2$ (Mittelwert $0,17 \pm 0,035\text{h}/\text{m}^2$ mit S=95%).

⁵⁴ Zur Unterscheidung zwischen Pflastersteinen und Platten sind die Steine definiert, die laut DIN ein Längen- zu Dickenverhältnis von ≥ 4 aufweisen [32].

⁵⁵ Der Median GZW(a) in Regelbauweise beträgt $0,067 \pm 0,016\text{h}/\text{m}^2$ mit S=95% und der Median GZW(a) in gebundener Bauweise beträgt $0,1649 \pm 0,0515\text{h}/\text{m}^2$ mit ebenfalls einer statistischen Sicherheit von S=95%.

eine signifikante Wirkung der Kombination aus Pflasterart, Bauweise und Verband, so dass diese als Einflussgröße nicht auszuschließen ist.

- Verband

Die Einflussgröße Verband, welche den Schwierigkeitsgrad der Verlegung bestimmt, ist nicht im Rahmen einer einfaktoriellen Varianzanalyse nachweisbar. Die Überprüfung der Interaktionswirkung der Einflüsse Pflasterart, Verband und Schwierigkeitsgrad Flächenzuschnitt fordert jedoch die Beibehaltung als Einflussgröße (vgl. Tab. 33). Die vorgenommene Unterteilung in einfach und schwierig ist bestätigt, jedoch aufgrund der geringen Differenzierung in dieser Form für zukünftige Analysen zu überdenken.

- Schwierigkeitsgrad Flächenzuschnitt

Die Signifikanz des Schwierigkeitsgrades Flächenzuschnitt (Hau- und Schnittkantenverhältnis) ist in der Interaktionswirkung auf den GZW mit der Pflasterart und dem Verband nachweisbar. Es bestätigt sich mit vorliegenden Untersuchungsdaten die für den Akkordlohn festgesetzte Grenze zur Erhöhung des Leistungslohnes ab einem Quotienten des Hau- und Schnittkantenverhältnisses von 0,3 (vgl. [8, 19] und 3.4.3.2). Für die Quantifizierung des Zuschlagswertes TP(stufe) wird jedoch die differenziertere Einteilung nach Tab. 8 beibehalten, da für die Berechnung der TP(stufe) Gruppenmittelwerte der einzelnen Stufen in Kombination aus mehreren Eigenschaften gebildet werden (vgl. Tab. 16 und Tab. 17).

Die vollständigen Ergebnisse der Prüfung der Einflüsse, sowohl auf den GZW als auch auf den Anteil der Grundzeit (h_g) sowie die aufgemessene Leistung ($Q(a,tag)$) sind im Anhang C (C.2) zu finden. Der Grundzeitanteil (h_g) ist bei den „technischen“ Einflussgrößen bis auf die bereits betrachtete Einflussgröße Arbeitspersonen nicht signifikant unterschiedlich. Die aufgemessene Leistung ($Q(a,tag)$) wird von der Pflasterart sowie nachweislich vom Verband und Schwierigkeitsgrad Flächenzuschnitt geprägt. Die tägliche Arbeitszeit ($AZ(a,tag)$) ist nach 3.4.4.1 unabhängig von den konstanten Einflüssen.

Das in 3.5.1.1 angenommene theoretische Verhalten der konstanten Einflüsse wurde bestätigt. Aufgrund der Analyse der Gesamtdaten lohnintensiver Arbeiten und der sachlogischen Zusammenhänge ist anzunehmen, dass mit schwierigeren Ausführungsbedingungen die Arbeiten zeitintensiver werden und diese als „technische“ Parameter für die Berechnung des TP(stufe) unter der Voraussetzung des Bezuges auf die beobachtete Kolonne und die jeweilige Pflasterart (a) definierbar sind. Ihre Kombination als Grundlage der verbalen Einstufung für die Zuschlagsberechnung des TP(stufe) erfolgt nach den Regeln der Kombinatorik. Es ergibt sich nach 3.5.2.1 der 4-spaltige Tabellenaufbau (vgl. Tab. 16) zur Berechnung der TP(stufe). Dieser bildet gleichzeitig die Grundlage der Ermittlung eines Basis-Grundzeitwertes (BGZW) der Kolonne bezogen auf die Pflasterart.

4.3.2 Prüfung der Wirkung der variablen Einflüsse auf die Anteile der Verteilzeit (h_v) und der Erholzeit (h_{er})

Die zu untersuchenden Zeitartenanteile zur Quantifizierung der Wirkung der Einflüsse in Form der Faktoren k_E und k_{er} sind die Anteile der Verteilzeit (h_v) und der Erholzeit (h_{er}). Im Gegensatz zum GZW, der hauptsächlich durch die aufgemessene Leistung ($Q(a,tag)$) geprägt wird und für den nicht für alle Beobachtungstage vollständige Datensätze vorliegen, sind für die Betrachtung der Anteile der Verteilzeit (h_v) und der Erholzeit (h_{er}) die Daten der gesamten Beobachtung lohnintensiver Arbeiten nutzbar. Es sind alle 107 Datensätze für die Analyse verwendet worden.

In den Anteilen der Verteilzeit (h_v) und Erholzeit (h_{er}) sind sämtliche mittelbar zur Wertschöpfung beitragenden Vorgänge enthalten (vgl. 2.2.1), d. h. in k_E sind alle Beobachtungen der Verteilzeit (h_v) und im k_{er} alle Beobachtungen der persönlichen Verteil- und Erholzeit (h_{er}) enthalten. In der Summe bilden sie mit dem den GZW prägenden Anteil h_g nach Formel 17 den SZW zur Ausführung einer Mengeneinheit des beobachteten Vorgangs. Die in Tab. 14 auf den k_E und in Tab. 15 auf den k_{er} theoretisch wirkenden Einflussgrößen werden, ebenso wie in 4.3.1, mittels einfaktorieller bzw. mehrfaktorieller Varianzanalyse auf ihre signifikante Wirkung geprüft. Die Ergebnisse sind nachfolgend dargestellt. Im Anhang C (C.2) sind die vollständigen Ergebnisse der Prüfung des Gesamtzeitartenanteils, bestehend aus der Summe der Verteil- und Erholzeit ($h_v + h_{er}$), zu finden.

4.3.2.1 Prüfung der variablen Einflüsse auf den Anteil der Verteilzeit (h_v)

Der in 3.5.2.2 beschriebene Matrixaufbau zur Bestimmung des Zuschlagsfaktors k_E setzt sich zusammen aus den Baustellenbedingungen und den Betriebs- sowie Umfeldbedingungen. Diese werden durch Beobachtungen für zusätzliche Tätigkeiten (H_{MZ}) und störungsbedingte Unterbrechungen (H_{MS}) definiert. Eine gemeinsame Wirkung der in Tab. 14 genannten Einflüsse bzw. deren Interaktion ist aufgrund fehlender Varianzhomogenität nicht nachzuweisen. Die einfaktorielle varianzanalytische Prüfung ergibt daher für den Verteilzeitanteil (h_v) folgende Ergebnisse (Tab. 34):

Tab. 34 Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse der variablen Einflüsse auf h_v nach Tab. 14

Einflussgrößen	Ergebnisse Varianzanalyse h_v		
	Signifikanz	Testschärfe*	Varianzhomogenität
Baustelle	0,000	99,4%	0,001
Behinderungsgrad	0,014	79,2%	0,670

*Testschärfe: Wahrscheinlichkeit der Ablehnung der Nullhypothese (H_0 : keine Unterschiede)

Eine anzunehmende Wirkung bzw. Interaktion des variablen Einflusses Wetter mit der Baustelle bzw. dem Behinderungsgrad wurde durch die mehrfaktorielle Varianzanalyse nicht nachgewiesen. Interaktionen sind daher auszuschließen. Für die Quantifizierung

der auf den Anteil der Verteilzeit (h_v) wirkenden Einflüsse sind somit folgende Schlussfolgerungen zulässig:

- Baustelle

Die einfaktorielle Varianzprüfung ergibt zunächst für die Zielgröße Verteilzeit (h_v) keine Ergebnisse, da die Varianzhomogenität nach dem Levene-Test für diese Einflussgröße nicht gegeben ist. Allerdings ist aufgrund der Erfassung der Analysedaten auf den vier Baustellen unterschiedlicher Unternehmen im Zeitraum von 2001 bis 2004 über den Test für Mehrfachvergleiche, die keine Varianzgleichheit voraussetzen, ein signifikanter Unterschied zwischen Baustelle 4 und 2 sowie 4 und 3 erklärbar. Bei zusätzlicher Prüfung des Anteils der Verteilzeit (h_v) auf mögliche Interaktion des variablen Einflusses Baustelle mit den konstanten Einflüssen Pflasterart und Arbeitsperson ist lediglich die Einflussgröße Baustelle signifikant. Interaktionen sind nicht nachweisbar und daher auszuschließen. Der zusätzliche durchgeführte Post-Hoc-Mehrfachvergleich gliedert die Mittelwerte in homogene Untergruppen, die der Baustelle 4 (geringster h_v), Baustelle 1, 3 und Baustelle 2 (höchster h_v) entsprechen⁵⁶. Es ist somit ein Einfluss der Baustelle aufgrund ihrer immanenten Eigenschaften gegeben, welche durch die in Tab. 10 beschriebenen Faktoren Baustelleneinrichtung und Baustellenorganisation definiert sind. In Tab. 35 sind diese bezogen auf die Beispielbaustellen dargestellt.

Tab. 35 Beschreibung der Eigenschaften der Beispielbaustellen

Baustelle	Lage	Baustelleneinrichtung	Baustellenorganisation
Baustelle 1	Baustelle an einem innerörtlichen Knotenpunkt	unterschiedliche, örtlich kleinflächige Abschnitte, Materialfluss gerechte Baustelleneinrichtung	Bauorganisation durch Knotenpunktlage erschwert, mittlere bis kurze Transportwege
Baustelle 2	innerörtliche Linienbaustelle	lang gezogene Flächenabschnitte, Materialfluss erschwert	weite Transportwege
Baustelle 3	Baustelle an einem innerörtlichen Knotenpunkt	unterschiedliche, örtlich kleinflächige Abschnitte, Materialfluss gerechte Baustelleneinrichtung	Bauorganisation durch Knotenpunktlage erschwert, mittlere bis kurze Transportwege
Baustelle 4	außerhalb der Stadt liegende in sich abgeschlossene Punktbaustelle	Zulieferung direkt über Fernverkehrsstraßen, großflächige, gleich-ähnliche Bauabschnitte, Materialflussgerechte Baustelleneinrichtung	Bauorganisation sehr gut, Transportwege kurz, da steuerbar aufgrund der Größe der Baustelle

⁵⁶ Die ausführlichen Ergebnisse sind im Anhang C (C.2) dargestellt.

Es ergibt sich demnach aus der Interpretation der Ergebnisse gemäß der in 3.4.4.2 und Tab. 35 beschriebenen Eigenschaften der Baustellen nachfolgende Baustellenstufung, welche die Baustellenbedingungen sowie Organisation bewertet:

Tab. 36 Zuordnung der Baustellenbedingungen entsprechend Tab. 10

Bewertung der Baustellenbedingung	Baustelle
sehr gut	4
Gut	3 und 1
Mittelmäßig	2
Schlecht	-

Die Einteilung der Tab. 36 wird ferner gestützt durch die zusätzliche Prüfung des Gesamtanteils ($h_v + h_{er}$) und dem durchgeführten Mehrfachvergleich (siehe Anhang C (C.2)). Dem höchsten Wert (hoher Anteil an der Gesamtarbeitszeit) ist die Baustelle 2 (mittelmäßige Baustellenbedingungen) zugeordnet. Dies unterstreicht die in Tab. 36 vorgenommene Einteilung. Es ist damit für die vier×vier-Matrix die Spalte entsprechend der Stufung der Baustellenbedingungen zu definieren. Die fehlenden Werte für die Stufe „schlechte Baustellenbedingung“ sind theoretisch über die Regressionsrechnung prognostizierbar.

- Behinderungsgrad (BGrad)

Die Prüfung des Einflusses des Behinderungsgrades auf die Größe des Anteils der Verteilzeit (h_v) ist mittels einfaktorieller Varianzanalyse möglich, da Interaktionen mit den anderen Einflüssen auszuschließen sind. Es besteht ein signifikanter Unterschied in den Gruppen. Die Testschärfe (79,2%) ist für diese Untersuchung als ausreichend anzusehen. Die nach Tab. 12 vorgenommene Gruppeneinteilung ist nicht exakt nachgewiesen, da lediglich ein Unterschied zwischen Behinderungsgrad c (mittel) und den restlichen Gruppen festgestellt wurde. Bei Betrachtung der Gruppenmittelwerte der Post-Hoc-Tests (siehe Anhang C (C.2)) und der jeweilig verarbeiteten Fälle wird jedoch deutlich, dass der Behinderungsgrad k (kein) und b (gering) einen annähernd gleich großen Anteil aufweisen. Der Behinderungsgrad c (mittel) ist am höchsten. Der erheblich niedrigere Anteil für den Behinderungsgrad d (hoch), welcher laut 3.4.4.1 jedoch theoretisch zum größten Anstieg des Zuschlagsfaktors beiträgt, ist in der geringen Beobachtungszahl begründet. Aufgrund der Vorbetrachtungen wird trotzdem die festgelegte Gruppierung beibehalten.

Die Ergebnisse bestätigen die in Tab. 14 theoretisch festgelegten variablen Einflüsse auf den Verteilzeitanteil (h_v) und damit auf die zu quantifizierenden Werte k_E .

4.3.2.2 Prüfung der variablen Einflüsse auf den Anteil persönlicher Verteil- und Erholzeit (h_{er})

Nach Tab. 15 werden als Einflussgrößen auf den Anteil der persönlichen Verteil- und Erholzeit (h_{er}) die variablen Einflüsse Witterung und Baustelle sowie zusätzlich der konstante Einfluss der Pflasterart vermutet, da mit größeren Abmaßen des zu verarbeitenden Materials theoretisch auch die notwendige Erholzeit ansteigt. Die mehrfaktorielle Varianzanalyse ergab keine signifikanten Einflüsse und Interaktionen sind ebenfalls auszuschließen. Die Ergebnisse der durchgeführten einfaktoriellen Varianzanalyse sind nachfolgend dargestellt (Tab. 37).

Tab. 37 Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse der variablen Einflüsse auf h_{er} nach Tab. 15

Einflussgrößen	Ergebnisse Varianzanalyse h_{er}		
	Signifikanz	Testschärfe*	Varianzhomogenität
Baustelle	0,000	96,6%	0,283
Wetter	0,006	83,5%	0,951
Pflasterart	0,028	71,9%	0,122

*Testschärfe: Wahrscheinlichkeit der Ablehnung der Nullhypothese (H_0 : keine Unterschiede)

- Baustelle

Die Bildung eines feststehenden Zuschlagsfaktors k_{er} erfolgt über die Mittelwertbildung der einzelnen auf den Baustellen erfassten Beobachtungen der Erholzeit (H_{er}), die durch die Anteile (h_{er}) geprägt ist. Statistisch präzise wird dabei vorausgesetzt, dass für diese Werte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Beobachtungen der Baustellen bestehen. Obgleich die Durchführung der Varianzanalyse einen signifikanten Unterschied zwischen Baustelle 1 und den übrigen Baustellen aufweist, wird der Einfluss trotzdem vernachlässigt. Bei Baustelle 1 handelt es sich um die Kolonne eines Kleinunternehmens, in der der Inhaber selbst mit auf der Baustelle tätig war. Dies erklärt, dass die Unterbrechungen aus persönlichen Gründen (MP) und die Erholzeit (ME) mit einem unterdurchschnittlichen Anteil⁵⁷ von insgesamt 6,98% (vgl. Tab. 28) sehr klein ist und auf Dauer für den Erhalt der Leistungsfähigkeit der Arbeitspersonen als zu gering einzuschätzen ist. Für das Kleinunternehmen war jedoch zum Beobachtungszeitpunkt die termingerechte Fertigstellung des Auftrages vordergründig. Um die Anwendung der entwickelten Methode zu vereinfachen und gleichzeitig die physiologische Erholung bei schweren körperlichen Arbeiten und die Einhaltung arbeitsschutzrechtlicher Bestimmungen zu gewährleisten, wird der Einfluss der Baustelle daher nicht berücksichtigt.

⁵⁷ Laut ARH-Tabellen wird von einem Durchschnittswert von etwa 10% Erholzeit ausgegangen, der neben dem Erhalt der Leistungsfähigkeit auch arbeitsschutzrechtliche Gründe hat.

- Witterung

Die stochastische Größe Wetter ist, nach Ausschluss einer Interaktion mit den Baustellenbedingungen und dem Behinderungsgrad, entsprechend der einfaktoriellen Varianzanalyse als ein signifikanter Einfluss auf den Anteil persönlichen Verteil- und Erholzeitanteil (h_{er}) identifizierbar. Der durchgeführte Tukey-(HSD)-Test unterscheidet die homogene Untergruppe Sommer und die Untergruppen Frühjahr, Herbst. In der Gruppe Sommer sind die Anteile der persönlichen Verteil- und Erholzeit (h_{er}) niedriger als in den anderen beiden Jahreszeiten, da die Witterungsbedingungen zu dieser Jahreszeit am besten der physiologischen Belastung des Organismus bei Bauarbeiten entsprechen (vgl. 3.4.4.3). Die Einflussgröße Witterung ist damit nicht auszuschließen. Aufgrund des einheitlich definierten Zuschlagswertes k_{er} wird das Wetter auf Basis des Zusammenhangs der Gesamtzeitartenanteile⁵⁸ den Einflüssen des k_E zugeordnet. Die vorgenommene Einteilung in die meteorologischen Jahreszeiten ist durch die Varianzanalyse bestätigt und wird beibehalten.

Aufgrund der sachlogischen Überlegung, dass unterschiedliche Pflasterarten auch verschiedene Erholzeiten verursachen, wurde zusätzlich die konstante Einflussgröße Pflasterart auf mögliche Wirkungen auf den Anteil der Erholzeit (h_{er}) überprüft.

- Pflasterart

Die einfaktorielle Varianzanalyse der Einflussgröße Pflasterart ergibt für den Anteil der Erholzeit (h_{er}) eine signifikante Wirkung. Die Post-Hoc-Mehrfachvergleiche ergaben die Untergruppen Borde sowie eine Zusammenfassung der restlichen Pflasterarten. Daher wurden zusätzlich für den k_{er} prägenden Anteil der persönlichen Verteil- und Erholzeit (h_{er}) mögliche Interaktionen zwischen den variablen Einflüssen und der Pflasterart untersucht. Danach war kein Einfluss signifikant. Da für den Gesamtanteil der Verteil- und Erholzeit (h_v+h_{er}) ebenfalls keine Signifikanz der Pflasterart nachweisbar ist und der Zuschlagswert k_{er} ein fester Zuschlag sein soll, ist die Vernachlässigung der Einflussgröße Pflasterart vertretbar, die bereits im GZW berücksichtigt ist.

4.3.3 Einschätzung der Güte der Varianzanalyse

Grundsätzlich ist die Qualität der Arbeitsergebnisdaten abhängig von deren Reproduzierbarkeit und der damit verbundenen statistischen Güte. Bei hoher Datenqualität besteht der Vorteil in der sicheren Beurteilung ihrer Verwendung, jedoch korreliert diese positiv mit den Datenermittlungskosten.[14]

⁵⁸ Mit niedrigerem k_{er} wird der Anteil k_E größer bzw. erhöht sich der Anteil der Grundzeit (h_g).

Grundsätzlich ist jedes Messergebnis fehlerbehaftet. Es wird unterschieden zwischen

- groben Fehlern, die auf Irrtümern, falschen oder nachlässigen Ablesungen, äußeren Einflüssen sowie ungeeigneten Auswertungsverfahren beruhen,
- systematischen Fehlern, die das Messergebnis bei Wiederholungen unter gleichen Bedingungen stets in die gleiche Richtung und Größe beeinflussen und
- zufälligen Fehlern, die regellos nach Betrachtung und Richtung auftreten.

Für das Zeitermittlungsverfahren der Multimomentaufnahme sind vorrangig grobe Fehler anzunehmen, welche hauptsächlich durch eine fehlerhafte Zuordnung der beobachteten Teilevorgänge geprägt sind. Trotzdem ist die Multimomentaufnahme als eine für den Baubetrieb ausreichend genaue Methode einzustufen (vgl. 2.3.2).

Eine ausführliche Fehlerbetrachtung erfolgt im Rahmen der Berechnung des Zuschlagswertes $TP(stufe)$ sowie der Zuschlagsfaktoren k_E und k_{er} anhand des empirischen Datenmaterials in 4.4.4.

Für die durchgeführten Varianzanalysen lässt sich jedoch feststellen, dass für einige Einflüsse und deren Stufungen zu wenig empirisch ermittelte Daten vorlagen. Teilweise sind die Datensätze für die jeweils ausgeführte Pflasterart unvollständig und daher nur bedingt in der Gesamtauswertung verwendbar. Aufgrund der persönlichen Beurteilung der Vorgänge während der Beobachtung und deren Zuordnung zu den jeweiligen Ablaufarten sind, trotz vorhergehender Anleitung des Beobachtungspersonals und durchgeföhrter Probeläufe der Aufnahme, Fehlzuordnungen nicht vollständig auszuschließen. Diese Zuordnungsfehler sind im Nachhinein weder erkenn- noch quantifizierbar und damit nicht eliminierbar. Gleichwohl wurde durch die Varianzanalyse eine zu geringe Anzahl der Stufungen einzelner Einflussgrößen deutlich, so dass Scheinsignifikanzen auftraten. Da jedoch Änderungen im Nachhinein mit erheblichem Aufwand verbunden sind und für die vorliegende Untersuchung dadurch keine Verbesserung der Ergebnisse erwartet wird, ist eine Vernachlässigung vertretbar.

4.3.4 Schlussfolgerungen

Zusammenfassend sind die auf lohnintensive Arbeiten in 3.4.2 theoretisch wirkenden konstanten und variablen Einflussgrößen bestätigt worden. Die Wirkung dieser als „technische“ Parameter auf den GZW und als Baustellen-, Umfeld- sowie Betriebsbedingungen auf die den zu ermittelnden Faktor k_E bzw. k_{er} prägenden Anteile konnte mittels univariater Varianzanalysen und multiplen Vergleichen nachgewiesen werden.

Für den Zuschlagswert $TP(stufe)$ ist somit die in 3.5.2.1 Tab. 16 dargestellte Gruppierung der Einflussgrößen Bauweise, Verband und Schwierigkeitsgrad Flächenzuschnitt als konstante Einflüsse bestätigt, welche auf die Pflasterart und das Unternehmen (Kolonne, Arbeitspersonenanzahl) bezogen sind. Die Stufungen des Zuschlages $TP(stufe)$ erfolgt entsprechend der theoretischen Vorberichtigung. Mit Hilfe

des quantifizierten Zuschlages TP(stufe) ist die Ermittlung eines Basis-Grundzeitwertes der Pflasterart und für die Kolonne (BGZW(a)) nach Formel 13 möglich.

Die theoretisch entworfene Matrix zur Bestimmung der Zuschlagsfaktoren k_E und deren charakterisierende Einflüsse (vgl. Tab. 16) sind ebenfalls durch die Analyse der empirischen Daten bewiesen. Die Baustellenbedingung bildet dabei die Zeilen der Matrix, die Betriebs- und Umfeldbedingungen in ihren jeweiligen Kombinationen die Spalten der Matrix.

Für die Anteile der persönlichen Verteil- und Erholzeit (h_{er}) ist ein fest definierter Faktor k_{er} angestrebt. Dessen nachgewiesene Einflussgröße Witterung ist bereits sowohl durch die summarische Wirkung der Grund-, Verteil- und Erholzeit als auch durch die nachgewiesene Signifikanz für den Gesamtzeitartenanteil der Verteil- und Erholzeit ($h_v + h_{er}$) im k_E Wert mit berücksichtigt und daher als Einflussgröße auf den k_{er} vernachlässigbar. Das bedeutet für die Quantifizierung der Faktoren k_E , dass neben den nachgewiesenen Baustellenbedingungen und der Betriebsbedingung Behinderungsgrad für die Einflüsse auf die Verteilzeit (h_v) ebenfalls die Umfeldbedingung Witterung in die Ermittlung und damit in die Matrix einfließen. Der Faktor k_{er} errechnet sich durch Mittelung aller beobachteten Werte des persönlichen Verteil- und Erholzeitanteils (h_{er}).

4.4 Quantifizierung der Einflussgrößen für lohnintensive Arbeiten

Die Grundlage für die Quantifizierung der Einflussgrößen in Hinblick ihrer Wirkung auf die Variation des GZW und des SZW ist die Unterteilung des Arbeitsablaufes in Ablaufarten (vgl. 2.2) und deren Aufschlüsselung in Teiltätigkeiten. Damit ist jeder beobachtete Teiltag auf der Baustelle zuordenbar. Da es sich bei den zu ermittelnden Korrekturwerten und -faktoren um durch Einflüsse geprägte Zeitanteile, sowohl in ursprünglicher Form (Zeitartenanteile h_v und h_{er}) als auch in abgeleiteter Form (GZW), handelt, stellen diese die Basiswerte der Untersuchung dar und sind jeweils die abhängige Größe (Regressanden) des jeweiligen Regressionsmodells.

Der SZW setzt sich nach Abb. 21 aus dem GZW multipliziert mit dem Anteil entsprechend der variablen Einflussgrößen k_E und k_{er} zusammen. Der GZW ist die Zeit für die planmäßige Ausführung von Abläufen (Grundzeitanteil h_g) und der ins Verhältnis dazu gesetzten aufgemessenen Leistung ($Q(a,tag)$) sowie der täglichen Arbeitszeit ($AZ(a,tag)$) (vgl. Formel 8 und Formel 9). Der GZW variiert entsprechend der konstanten Einflüsse für die jeweilige Pflasterart und ermöglicht dadurch die Quantifizierung eines TP(stufe) nach „technischen“ Parametern.

Die Zeitanteile für zusätzlich auftretende Abläufe (h_v) und die Zeitanteile für das infolge der Tätigkeit notwendige Erholen und das persönlich bedingte Unterbrechen (h_{er}) repräsentieren die zu quantifizierenden Anteile für den Zuschlagsfaktor k_E und den fest zu definierenden Faktor k_{er} . Das bedeutet, dass sich die Zielgröße für die Berechnung der jeweilig anzusetzen Faktoren entsprechend der zu erwartenden Einflüsse als

Summe der Beobachtungen der Vorgänge der Zeitartenanteile der Verteilzeit (h_v) (Formel 25) und der Erholzeit (h_{er}) (Formel 26) darstellt. Auch für diese gilt die Definition der Pflasterart und des Beobachtungstages von S.16 und wird daher in den nachfolgenden Formeln der Übersichtlichkeit halber nicht zusätzlich dargestellt.

Formel 25 Zusammensetzung des Anteils h_v je Beobachtungstag und Pflasterart

$$h_v(a,tag) = h_{MS}(a,tag) + h_{MZ}(a,tag) [\%]$$

$a \in A_{tag}$, $tag \in T$

$h_v(a,tag)$	Verteilzeitanteil
$h_{MS}(a,tag)$	Anteile störungsbedingter Unterbrechungen
$h_{MZ}(a,tag)$	Anteile zusätzlicher Tätigkeiten

Formel 26 Zusammensetzung des Anteils h_{er} je Beobachtungstag und Pflasterart

$$h_{er}(a,tag) = h_{MP}(a,tag) + h_{ME}(a,tag) [\%]$$

$a \in A_{tag}$, $tag \in T$

$h_{er}(a,tag)$	Erholzeitanteil
$h_{MP}(a,tag)$	Anteile persönlicher Unterbrechungen
$h_{ME}(a,tag)$	Anteile Erholung

Für die Quantifizierung der in 4.3 als signifikant nachgewiesenen Einflüsse sind daher die Zielgröße für die Berechnung des TP(stufe) die ermittelten GZW. Für den Faktor k_E sind die zu betrachtenden Anteile die Summe aus den zusätzlichen Tätigkeiten (h_{MZ}) sowie den störungsbedingten Unterbrechungen (h_{MS}). Die Quantifizierung des fest definierten Faktors k_{er} erfolgt über die Anteile des persönlich bedingten Unterbrechens (h_{MP}) und der Erholung (h_{ME}).

Alle Einflussgrößen der Baustelle, des Betriebes bzw. Umfeldes spiegeln sich im Verhältnis der einzelnen Zeitanteile wider. Ihre Wirkung beeinflusst die Zeit, die effektiv für den Leistungserstellungsprozess auf der Baustelle genutzt wird. Ihre Variation ist Basis der durchgeführten Quantifizierung.

4.4.1 Quantifizierung der Zuschlagswerte TP(stufe)

Zur Bestimmung der Größe der Wirkung der „technischen“ Parameter auf die Streuung der GZW wird eine Regressionsrechnung durchgeführt. Ausgehend von Tab. 16 besteht die Möglichkeit der Ermittlung über ein einfaches oder ein multiples Regressionsmodell. Die Zuschlagswerte TP(stufe) werden für die jeweils in der Theorie angenommenen und in der Varianzanalyse bestätigten Pflasterarten ermittelt.

Der zu ermittelnde Zuschlagswert $TP(stufe)$ ist nach Formel 12 und Formel 13 ein direkter Anteil des $GZW(a)$ und hat die Dimension [Zeit/Einheit]. Das zu entwerfende Regressionsmodell beruht nach 3.5.2.1 auf der Annahme, dass der Anstieg der $GZW(a)$ mit ungünstiger werdenden „technischen“ Einflüssen gleichmäßig und somit eine Erhöhung der Ausführungszeit zu erwarten ist. Die Linearität der Werte ist in 4.2.4 nachgewiesen worden. Die zu betrachtenden täglichen Grundzeitwerte ($zw_g(a,tag)$) werden entsprechend der Vorbetrachtung und den Ergebnissen der Varianzanalyse in Betonpflaster, Natursteinpflaster und Betonplatten unterteilt und in diesen Gruppen analysiert.

Aufgrund der Gruppierung der Einflüsse in „technische“ Parameter ist für die Schätzung der Funktion über die gebildeten Stufenmittelwerte ($\overline{zw_g}(stufe)$) die Anwendung einer einfach linearen Regression möglich. Die Verwendung von Dummy-Variablen (vgl. 4.1.2) lässt die Ermittlung der Regressionsfunktion über die multiple Regression unter Verwendung der ungruppierten Einflüsse zu.⁵⁹ Nachfolgend sind die Ergebnisse für Betonpflaster dargestellt⁶⁰.

Einfach lineare Regression

Die Zuordnung der $GZW(Betonpflaster)$ entsprechend Tab. 16 ergibt einen Stufenmittelwert $\overline{zw_g}(stufe)$ für sehr einfache, einfache und schwierige „technische“ Parameter.⁶¹ Aus diesen $\overline{zw_g}(stufe)$ ist nach Formel 10, der Definition auf S.16 und unter der Annahme des Verhaltens der GZW entsprechend dem des Nutzleistungsfaktors (f_E) (vgl. 3.5.2.1) nachfolgende Regressionsgleichung ermittelbar:

⁵⁹ Die Umwandlung nominalskalierter Variablen in binär kodierte Variablen ermöglicht eine Betrachtung als metrische Variablen. Bei der Verwendung der Dummy-Variablen haben die nominalskalierten Variablen entweder die Kodierung 1=vorhanden bzw. 0=nicht vorhanden.

⁶⁰ Die Ergebnisse für Betonplatten befinden sich im Anhang D (D.2.1).

⁶¹ Für „sehr schwierige“ technische Parameter lagen keine Beobachtungsdaten vor.

Analyse zur Quantifizierung der Einflüsse

Formel 27 Regressionsgleichung Modell 1 der $\overline{zw_g}$ (stufe) (einfach lineare Regression)

$$\begin{aligned}\overline{zw_g}(\text{stufe}) &= 0,030 + (0,033 \cdot sw(\text{stufe})) \quad [\text{Zeit/Einheit}] \\ TP(\text{stufe}) &= (b_1 \cdot sw(\text{stufe})) \quad [\text{Zeit/Einheit}] \\ BGZW(a) &= b_0 \quad [\text{Zeit/Einheit}]\end{aligned}$$

$a \in A_{tag}$, $tag \in T$, $\text{stufe} \in \text{MdStufen}$

MdStufen Menge der Stufen, d.h. {sehr einfach, einfach, schwierig, sehr schwierig}

$$sw(\text{stufe}) = \begin{cases} 1, \text{ sehr einfach} \\ 2, \text{ einfach} \\ 3, \text{ schwierig} \\ 4, \text{ sehr schwierig} \end{cases}$$

$\overline{zw_g}(\text{stufe})$ Grundzeitwert je technische Parameterstufe

BGZW(a) Basis-Grundzeitwert je Pflasterart

TP(stufe) Zuschlagswert „technische“ Parameterstufe

b_1 Regressionskoeffizient

b_0 konstantes Glied

$sw(\text{stufe})$ technische Parameter Stufe

Das konstante Glied von $0,030\text{h/m}^2$ bildet den bereits theoretisch beschriebenen Basis-Grundzeitwert (BGZW(Betonpflaster)) ab. Der Anstieg der Geraden mit $0,033\text{h/m}^2$ ergibt multipliziert mit dem jeweiligen Stufenwert des Parameters den zu erwartenden GZW(Betonpflaster) entsprechend der „technischen“ Parameter.

Die Regressionsgerade mit dazugehörender Gleichung und Bestimmtheitsmaß (R^2) für die GZW(Betonpflaster) zeigt Abb. 24.

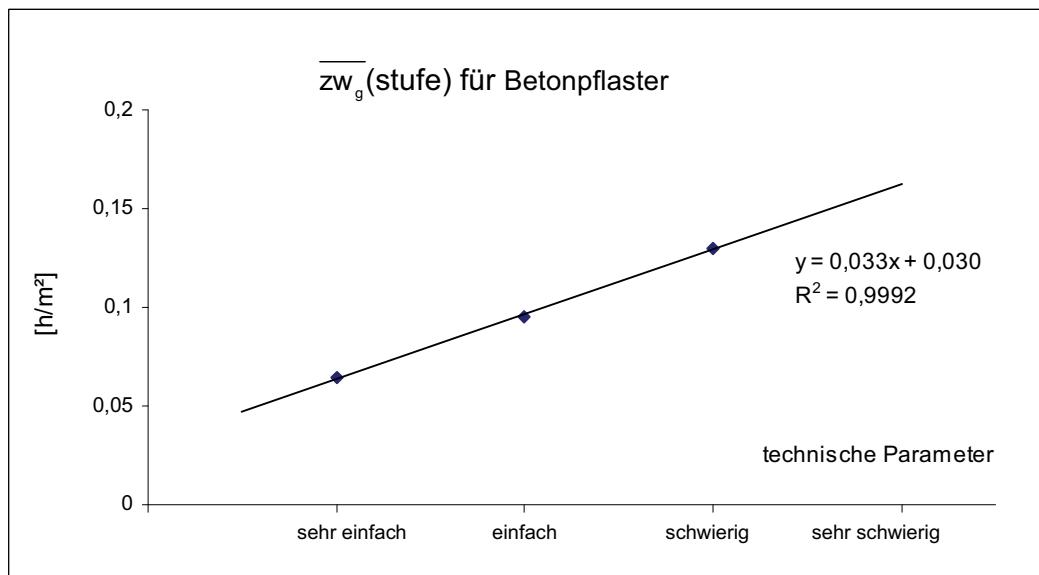


Abb. 24 Regressionsgerade Modell 1 der $\overline{zw_g}$ (stufe) Betonpflaster entsprechend der TP(stufe)

Das ermittelte Bestimmtheitsmaß (R^2) besagt, dass 99,92% der Variation der Mittelwerte der entsprechend der „technischen“ Parameter zugeordneten

GZW(Betonpflaster) durch diese erklärt sind. Die Prüfung der Nullhypothese (H_0 es besteht kein systematischer Zusammenhang) führt zu einer Ablehnung, da die Signifikanz 0,019 beträgt und damit kleiner ist als der Schwellenwert von 0,05. Der systematische Zusammenhang ist damit nachgewiesen. Demzufolge ergeben sich für die GZW(Betonpflaster) und die nach Formel 27 ermittelten TP(stufe) entsprechend der „technischen“ Parameter für Betonpflaster anhand der empirisch ermittelten Daten folgende Werte:

Tab. 38 Berechnung der TP(stufe) für Betonpflaster mittels einfacher linearer Regression (Modell 1)

Technische Parameter	\bar{zw}_g (stufe) Beton-pflaster _{ist} [h/m ²]	\bar{zw}_g (stufe) Beton-pflaster _{reg} * [h/m ²]	Zuschlagswerte TP(stufe) Betonpflaster [h/m ²] nach Formel 27
sehr einfach	0,0641	0,0635	0,033
einfach	0,0954	0,0965	0,066
schwierig	0,1301	0,1295	0,099
sehr schwierig	-	0,1625	0,132

* Berechnung der GZW(Betonpflaster) mit Hilfe der einfacheren linearen Regression

Multiple Regressionsrechnung

Die für die einfache lineare Regression gebildeten Stufenmittelwerte der „technischen“ Parameter \bar{zw}_g (stufe) ermöglichen eine monokausale Betrachtungsweise. Bei Berücksichtigung aller „technischen“ Parameter und ihren jeweiligen Ausprägungen sind mehr als eine unabhängige Variable in das Modell aufzunehmen. Aufgrund der Nominalskalierung der „technischen“ Parameter ist die Verwendung von Dummy-Variablen notwendig.⁶² Es werden dafür die Einzelwerte der täglichen Grundzeitwerte für Betonpflaster ($zw_g(a,tag)$) und nicht die Kombinations- oder Stufenmittelwerte für die Berechnung verwendet. Die Regressionsgleichung für die Einflussausprägungen in Formel 28 (Modell 2) lautet:

⁶² Die jeweilig verbal beschriebenen Einflüsse gehen in die Berechnung in Form einer Binärkodierung (0/1) ein.

Analyse zur Quantifizierung der Einflüsse

Formel 28 Regressionsgleichung Modell 2 (multiple Regression ungruppiertener Einflüsse) der $zw_g(a,tag)$ für Betonpflaster

$$zw_g(a,tag) = 0,082 + ((0,010 \cdot bw_g) + (-0,004 \cdot v_e) + (-0,022 \cdot sgf_m) + (0,042 \cdot sgf_h)) [h/ME]$$

$a \in A_{tag}$, $tag \in T$

$zw_g(a,tag)$	täglicher Grundzeitwert je Pflasterart
bw_g	gebundene Bauweise
v_e	schwieriger Verband
sgf_m	mittlerer Schwierigkeitsgrad: Hau- u. Schnittkantenverh. 0,2
sgf_h	hoher Schwierigkeitsgrad: Hau- u. Schnittkantenverh. 0,3

Bei Verwendung der bereits nach den „technischen“ Parametern geordneten Einzelwerte für GZW(Betonpflaster) ergibt sich folgende Gleichung (Modell 3) nach Formel 29:

Formel 29 Regressionsgleichung Modell 3 (multiple Regression gruppierter Einflüsse) der $\overline{zw_g}(\text{stufe})$ für Betonpflaster

$$\overline{zw_g}(\text{stufe}) = 0,102 + ((-0,038 \cdot TP(sg)) + (-0,009 \cdot TP(m))) [h/ME]$$

$\text{stufe} \in \text{MdStufen}$

MdStufen Menge der Stufen, d.h. {sehr einfach, einfach, schwierig, sehr schwierig}

$\overline{zw_g}(\text{stufe})$	Mittlerer GZW je „technische“ Parameterstufe
$TP(sg)$	sehr gute „technische“ Parameter
$TP(m)$	mittlere „technische“ Parameter

Die Regressionsgeraden des Modells 2 und 3 sind nach Prüfung aufgrund des geringen Bestimmtheitsmaßes (R^2) als Regressionsansätze zu verwerfen⁶³, denn es ist ebenfalls keine Signifikanz der Regressoren nachweisbar (siehe Anhang D (D.2)).

Der Anschaulichkeit halber wurden trotzdem die Zuschlagswerte für $TP(\text{stufe})$ nach Formel 13 entsprechend der Regressionsgleichung des Modell 2 und 3 neu berechnet und gemäß der Zuordnung nach Tab. 16 Mittelwerte gebildet, die in Abb. 25 dargestellt sind. Die erhaltenen neuen Regressionsgeraden erfüllen die Forderung nach einem annehmbaren R^2 , gleichwohl die Daten aus nicht annehmbaren Regressionsmodellen stammen. Sie sind daher nicht zu verwenden. Deutlich ist jedoch, dass das 95%-Konfidenzintervall der Regressionsgeraden der einfach linearen Regression der tatsächlichen Mittelwerte die Werte der anderen Regressionsmodelle einschließt. Für

⁶³ Das Bestimmtheitsmaß für Modell 1 ist $R^2=0,188$ und für Modell 2 $R^2=0,096$.

den Tabellenentwurf zur Quantifizierung eines TP(stufe) entsprechend gegebener „technischer“ Parameter wird daher der Regressionsansatz der einfach linearen Regression (Modell 1) auf Basis der tatsächlichen Mittelwerte der Beobachtung verwendet, da dieser statistisch gesichert ist.

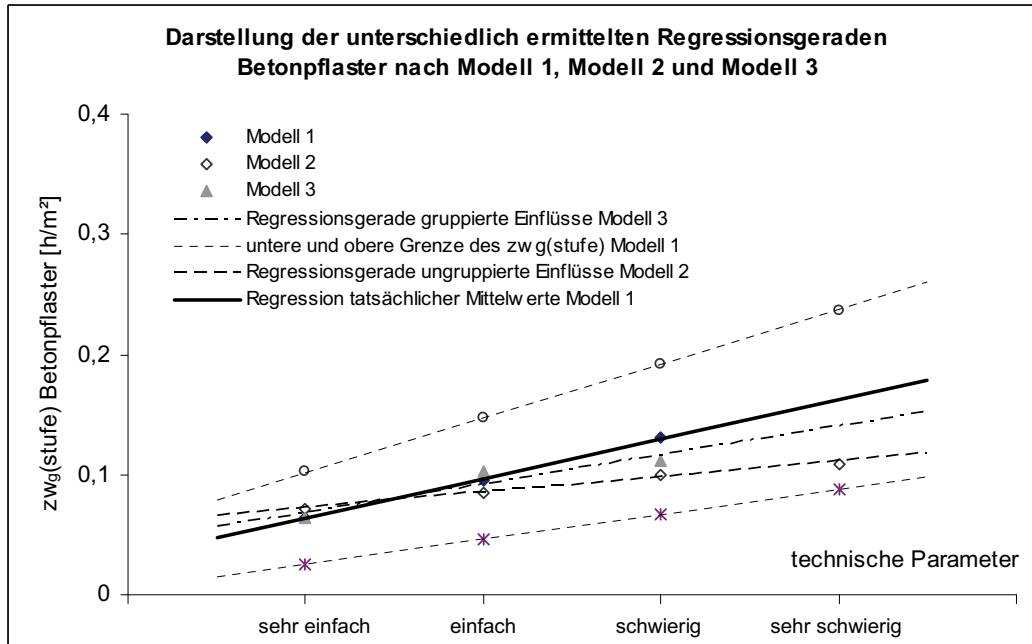


Abb. 25 Darstellung der unterschiedlich ermittelten Regressionsgeraden

Es ergeben sich aus vorliegender Untersuchung und den im Anhang D (D.2.1) ausführlich dargestellten Ergebnissen der Regressionsrechnung für Betonpflaster und Betonplatten nach Formel 12 folgende Zuschlagswerte TP(stufe)⁶⁴, die anhand der empirischen Daten ermittelt wurden und nicht auf das Unternehmen bzw. die Kolonne bezogen sind (Tab. 39):

⁶⁴ Die Konfidenzintervalle, d.h. die 95%ige Wahrscheinlichkeit dass der zu erwartende Zuschlagswert TP(stufe) in den berechneten Grenzen liegt, sind im Anhang D (D.3.3) dargestellt.

Tab. 39 Zuschlagswerte TP(stufe) [h/m^2] für Betonpflaster und -platten entsprechend der „technischen“ Parameter

Pflasterart	TP(stufe) BGZW(a)*	sehr einfach	einfach	schwierig	sehr schwierig
		0,033	0,066	0,099	0,132
Betonpflaster	0,0305	0,007	0,013	0,02	0,026
Betonplatten	0,0593				

*Der hier dargestellte BGZW ist der aus der durchgeführten Untersuchung resultierende Wert. Für die praktische Anwendung wird der TP(stufe) von dem für das Unternehmen ermittelten GZW(a) abgezogen und ergibt damit für Folgeprojekte der gleichen ausgeführten Arbeit der Kolonne den BGZW.

Eine Regressionsanalyse für die Verarbeitung von Natursteinpflaster ist aufgrund der zu geringen Datenmenge⁶⁵ nicht durchführbar. Die unterschiedliche Größe der berechneten TP(stufe) ist auf den höher liegenden Basis-Grundzeitwert (BGZW(Betonplatten)) zurückzuführen und im Anstieg der Geraden begründet. Es lässt sich ableiten, dass der Zeitwert zum Verlegen der Betonplatten vor allem durch die Material- und Geometrieeigenschaften geprägt ist, wo hingegen bei Betonpflaster vor allem die „technischen“ Parameter einen erheblichen Einfluss auf den GZW(Betonplatten) haben.

Für die Anwendung ist vom Unternehmen ein GZW je Pflasterart und jeweilige Kolonne zu ermitteln, um entsprechend der „technischen“ Parameter den BGZW der Pflasterart auszurechnen. Für Folgeprojekte besteht dann die Möglichkeit, einen zu erwartenden GZW(a) für die Verwendung im Unternehmen anhand der in dieser Untersuchung abgeleiteten Zuschläge TP(stufe) auszurechnen.

4.4.2 Quantifizierung des Zuschlagsfaktors k_E

Für die Quantifizierung der variablen Einflüsse (Anteil der Verteilzeit (h_v), der den k_E Faktor charakterisiert) werden die gesamten Daten für Pflasterverlegearbeiten per Hand (MG0) verwendet, da keine weiteren Unterscheidungen vorgenommen werden müssen (vgl. 4.3.2.1).

Die Berechnung des Anteils entsprechend der variablen Baustellen-, Betriebs- und Umfeldbedingungen wird, gleich dem Prinzip in 4.4.1 mittels Regressionsrechnung, sowohl einfach als auch multipel durchgeführt.

Einfach lineare Regression

Nach Tab. 21 sind die beobachteten Anteile der Verteilzeit (h_v) den Baustellen-, Betriebs- und Umfeldbedingungen zuordenbar. Es erfolgt über die Zuordnung der Einzelwerte anhand der vordefinierten Tupel entsprechend der notierten Einflüsse eine Mittelwertbildung je Stufenfeld (vgl. 3.5.2.2). Es ergeben sich aus den 107 ermittelten Anteilen für die Verteilzeit (h_v) neun empirisch hinterlegte Mittelwerte je Stufe von

⁶⁵ Aufgrund der geringen Datenmenge für Natursteinpflaster konnten die berechneten GZW(Natursteinpflaster) nur zwei Stufen der TP(stufe) zugeordnet werden. Die Bildung eines Regressionsmodells ist dafür nicht möglich.

insgesamt 16 zu quantifizierenden Werten. Diese ermöglichen die Bildung nachfolgender Regressionsgleichung (Formel 30). Auch für diese wird in Anlehnung an das Verhalten des Nutzleistungsfaktors f_E (vgl. 3.5.2.1) sowie aufgrund des Nachweises der Linearität der Werte für die Verteilzeit (h_v) (vgl. 4.2.4) ein Anstieg je Stufe um eins angenommen.

Formel 30 Berechnung des Zuschlagsfaktors $k_E(\text{stufe})$ (einfach lineare Regression) (Modell 1)

$$\bar{h}_v(\text{stufe}) = 0,0418 + (0,0154 \cdot \text{sw(stufe)})$$

$$k_E(\text{stufe}) = (b_1 \cdot \text{sw(stufe)})$$

stufe \in MdStufen

MdStufen Menge der Stufen, d.h. $\{(\text{sehr gut, sehr gut}; (\text{sehr gut, gut}); (\text{sehr gut, mittel}); (\text{sehr gut, schlecht}); (\text{gut, sehr gut}); (\text{gut, gut}); (\text{gut, mittel}); (\text{gut, schlecht}); (\text{mittel, sehr gut}); (\text{mittel, gut}); (\text{mittel, mittel}); (\text{mittel, schlecht}); (\text{schlecht, sehr gut}); (\text{schlecht, gut}); (\text{schlecht, mittel}); (\text{schlecht, schlecht}) \}$

$\text{sw(stufe)} = \begin{cases} 1, (\text{sehr gut, sehr gut}) \\ 2, (\text{sehr gut, gut}) \\ 3, (\text{sehr gut, mittel}) \\ 4, (\text{sehr gut, schlecht}) \\ 5, (\text{gut, sehr gut}) \\ 6, (\text{gut, gut}) \\ 7, (\text{gut, mittel}) \\ 8, (\text{gut, schlecht}) \\ 9, (\text{mittel, sehr gut}) \\ 10, (\text{mittel, gut}) \\ 11, (\text{mittel, mittel}) \\ 12, (\text{mittel, schlecht}) \\ 13, (\text{schlecht, sehr gut}) \\ 14, (\text{schlecht, gut}) \\ 15, (\text{schlecht, mittel}) \\ 16, (\text{schlecht, schlecht}) \end{cases}$

$\bar{h}_v(\text{stufe})$ Stufenmittelwert des Zeitanteils h_v entsprechend der BB und BUB

$k_E(\text{stufe})$ Zuschlagsfaktor k_E entsprechend der Stufe der BB und BUB

sw(stufe) Stufe der BB und BUB

BB Betriebsbedingungen

BUB Baustellen- und Umfeldbedingungen

Das Bestimmtheitsmaß ($R^2=0,8992$) und die nachgewiesene Signifikanz sowohl der Einflussgrößen als auch des Regressionskoeffizienten⁶⁶ ermöglichen die Ermittlung der in Tab. 40 dargestellten Faktoren $k_E(\text{stufe})$. Es erfolgte darin eine Gegenüberstellung mit den empirisch ermittelten Faktoren $k_E(\text{stufe})_{\text{ist}}$. Mit Hilfe der Regressionsgeraden lassen sich für das Modell 1 die aus der empirischen Betrachtung fehlenden Stufenwerte ermitteln. Grafisch ist die Regressionsgerade in Abb. 26 dargestellt.

⁶⁶ Die ausführlichen Ergebnisse sind im Anhang D (D.2) zu finden.

Tab. 40 Berechnete k_E mittels einfacher linearer Regression entsprechend Formel 15 und Formel 30

BUB \ BB	sehr gut	k_E (stufe) berechnet	gut	k_E (stufe) berechnet	mittelmäßig	k_E (stufe) berechnet	Schlecht	k_E (stufe) berechnet
sehr gut	0,0673	0,0572	0,1101	0,1188	0,1522	0,1804		0,2420
gut	0,0689	0,0726	0,1243	0,1342	0,2126	0,1958		0,2574
mittel	0,1071	0,0880	0,1300	0,1496	0,2356	0,2112		0,2728
schlecht		0,1034		0,1650		0,2266		0,2882

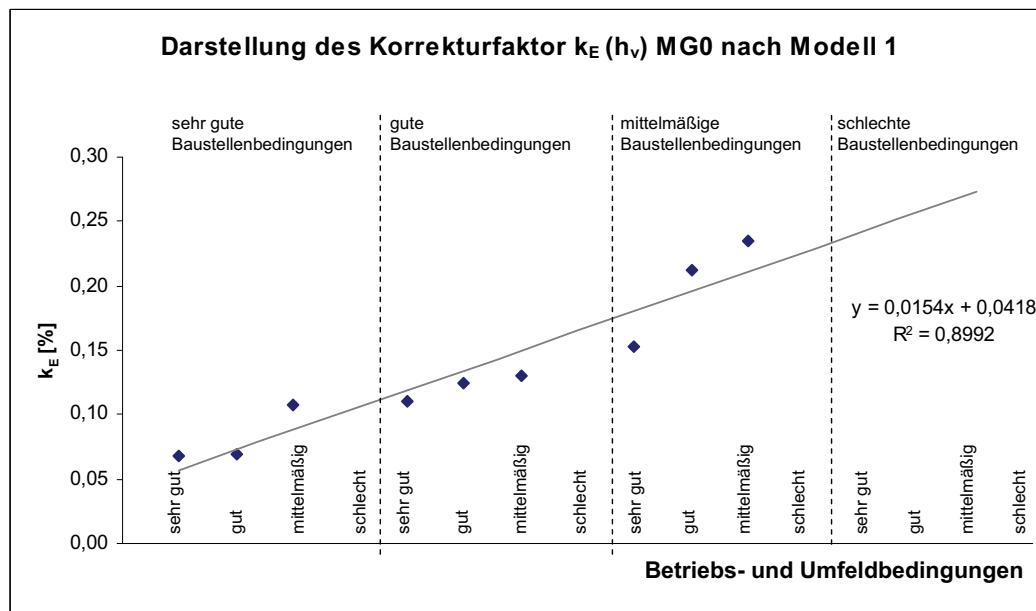


Abb. 26 Darstellung des Korrekturfaktors k_E (stufe) entsprechend der BB und BUB (Modell 1)

Der berechnete Wert k_E (stufe) ist der Zuschlagsfaktor auf den GZW für den Anteil der Verteilzeit (h_v).

Multivariate Regression

Für die Quantifizierung des Faktors k_E (stufe) ist ebenfalls, wie im vorhergehenden Abschnitt für den TP (stufe), die multivariate Regression anwendbar, indem über Dummy-Variablen für die nominal skalierten Baustellen-, Betriebs- und Umfeldbedingungen verschiedene Regressionsmodelle gebildet werden. Modell 2, welches die Einflüsse und deren Ausprägungen ungruppiert beinhaltet, ergibt folgende Regressionsgleichung (Formel 31):

Formel 31 Regressionsgleichung Modell 2 der h_v (stufe) (multivariate Regression ungruppiert Einflüsse)

$$h_v(\text{stufe}) = 0,114 + (-0,035 \cdot \text{BB}(sg)) + (0,068 \cdot \text{BB}(m)) + (0,031 \cdot (F)) + (0,012 \cdot (H)) + (-0,012 \cdot b) + (0,023 \cdot c) + (-0,076 \cdot d)$$

stufe \in Mdstufen

MdStufen Menge der Stufen, d.h. {(sehr gut, sehr gut); (sehr gut, gut); (sehr gut, mittel); (sehr gut, schlecht); (gut, sehr gut); (gut, gut); (gut, mittel); (gut, schlecht); (mittel, sehr gut); (mittel, gut); (mittel, mittel); (mittel, schlecht); (schlecht, sehr gut); (schlecht, gut); (schlecht, mittel); (schlecht, schlecht)}

$h_v(\text{stufe})$	$h_v(\text{stufe})$ der jeweiligen Baustellenbedingung; Betriebs- und Umfeldbedingung $\triangleq k_E(\text{stufe})$
$\text{BB}(sg)$	sehr gute Baustellenbedingungen
$\text{BB}(m)$	mittelmäßige Baustellenbedingungen
F	Witterung Frühling
H	Witterung Herbst
b	geringer Behinderungsgrad
c	mittelmäßiger Behinderungsgrad
d	hoher Behinderungsgrad

Die Prüfung des Modells 2 (siehe Anhang D (D.2.1)) zeigt, dass ein systematischer Zusammenhang zwischen dem Regressanden und den Regressoren besteht, jedoch ist aufgrund des Bestimmtheitsmaßes ($R^2=0,255$) das Modell abzulehnen, denn nur 25,5% der Variation des Anteils der Verteilzeit (h_v) werden durch die Regressoren erklärt. Zusätzlich ist bei Prüfung der Koeffizienten nur der Einfluss der mittelmäßigen Baustellenbedingung als signifikant nachweisbar, so dass dies zu einer Verwerfung des Modells 2 führt.

Modell 3 beinhaltet die Einflüsse der Baustellenbedingungen, der Betriebs- sowie Umfeldbedingungen und deren Ausprägungen in gruppierter Form. Es ergibt sich für diese die Regressionsgleichung Formel 32:

Formel 32 Regressionsgleichung Modell 3 der $k_E(\text{stufe})$ (gruppierte Einflüsse nach BB und BUB)

$$h_v(\text{stufe}) = 0,138 + (-0,034 \cdot \text{BB}(\text{sg})) + (0,066 \cdot \text{BB}(\text{m})) + (-0,031 \cdot \text{BUB}(\text{g})) + (0,005 \cdot \text{BUB}(\text{m}))$$

stufe \in Mdstufen

MdStufen Menge der Stufen, d.h. $\{(\text{sehr gut, sehr gut}; (\text{sehr gut, gut}); (\text{sehr gut, mittel}); (\text{sehr gut, schlecht}); (\text{gut, sehr gut}); (\text{gut, gut}); (\text{gut, mittel}); (\text{gut, schlecht}); (\text{mittel, sehr gut}); (\text{mittel, gut}); (\text{mittel, mittel}); (\text{mittel, schlecht}); (\text{schlecht, sehr gut}); (\text{schlecht, gut}); (\text{schlecht, mittel}); (\text{schlecht, schlecht}) \}$

$h_v(\text{stufe})$ $h_v(\text{stufe})$ der jeweiligen Baustellenbedingung; Betriebs- und Umfeldbedingung
 $\triangleq k_E(\text{stufe})$

BB(sg) sehr gute Baustellenbedingungen

BB(m) mittelmäßige Baustellenbedingungen

BUB(g) gute Betriebs- und Umfeldbedingungen

BUB(m) mittelmäßige Betriebs- und Umfeldbedingungen

Auch für das Modell 3 ist trotz nachgewiesenem systematischen Einfluss der Regressoren das Bestimmtheitsmaß ($R^2=0,221$) und damit der Erklärungsanteil der Einflüsse an der Varianz des Anteils ($h_v(\text{stufe})$) zu gering, so dass das Modell 3 ebenfalls zu verwerfen ist (siehe Anhang D (D.2.1)).

Abb. 27 stellt zusammenfassend die ermittelten $k_E(\text{stufe})$ und die Regressionsgeraden des Modells 1 mit dessen Konfidenzintervallen sowie die Werte des multivariaten Modells 3 (trotz der Verwerfung) dar. Aus Modell 2 sind lediglich drei Werte ermittelbar, die aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht zusätzlich dargestellt wurden. Die ermittelten Faktoren $k_E(\text{stufe})$ sind gleichbedeutend mit den Werten ($h_v(\text{stufe})$) bzw. ($\bar{h}_v(\text{stufe})$).

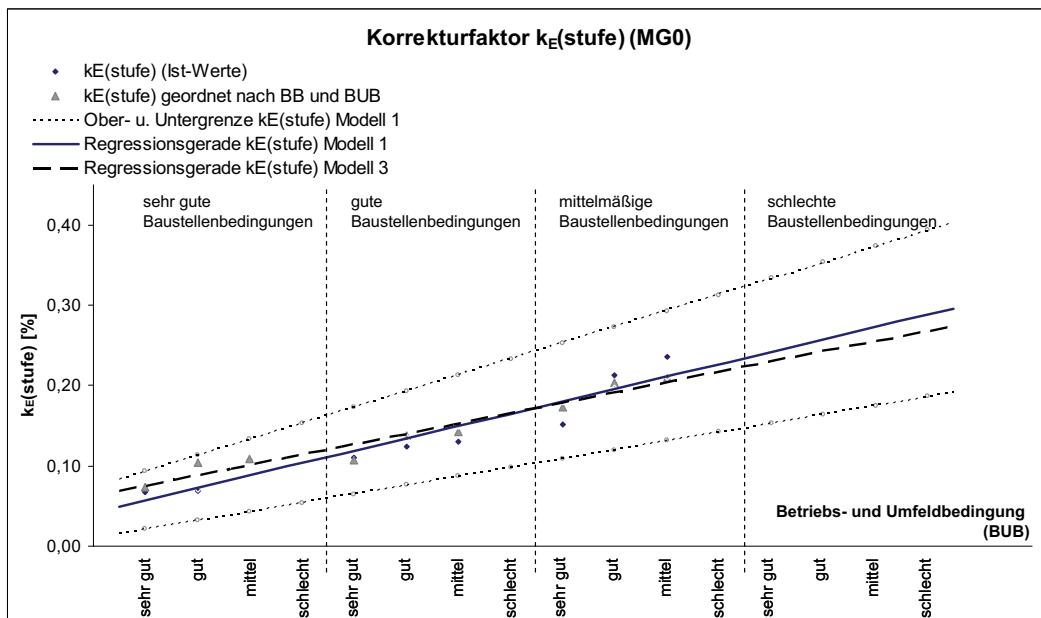


Abb. 27 Darstellung der verschiedenen ermittelten Werte $k_E(\text{stufe})$ und deren Regressionsgeraden

Es ist erkennbar, dass die Regressionsgerade des Modells 3 innerhalb des Vertrauensbereiches der durch die einfache lineare Regression ermittelten Geraden liegt. Für die Quantifizierung des Faktors $k_E(\text{stufe})$ wird, obgleich die neu ermittelte Regressionsgerade des Modells 3 bei Prüfung nicht abzulehnen ist⁶⁷, aufgrund der auf einem gesicherten Regressionsmodell beruhenden Daten der Faktoren k_E des Modells 1 (lineare Regression) für die Berechnung der Zuschlagsfaktoren $k_E(\text{stufe})$ verwendet. Der Faktor $k_E(\text{stufe})$ ist der auf den GZW entsprechend der Einflüsse aufzuschlagende Anteil der Verteilzeit (h_v). Es ergeben sich für den Zuschlagsfaktor k_E folgende Stufenwerte gemäß der möglichen variablen Einflüsse:

Tab. 41 Zuschlagsfaktor k_E entsprechend der zu erwartenden BB und BUB

BUB		sehr gut	Gut	mittel	Schlecht
BB					
sehr gut		1,0572	1,1188	1,1804	1,2420
gut		1,0726	1,1342	1,1958	1,2574
mittel		1,0880	1,1496	1,2112	1,2728
schlecht		1,1034	1,1650	1,2266	1,2882

4.4.3 Quantifizierung des Zuschlagsfaktors k_{er}

Nach Pönschlegel [90] sind „Erholungszeiten und Bedürfniszeiten vergütungspflichtige Zeitanteile, die dem Abbau von Arbeitsermüdung und der Erholung bzw. der Verrichtung biologisch zwingender Bedürfnisse dienen mit dem Zweck, die Beeinträchtigungen der Gesundheit und des sozialen Wohlbefindens der Beschäftigten zu vermeiden“ [90 S.119].

In dieser Untersuchung sind daher im Erholzeitanteil (h_{er}) zusätzlich zur REFA-Definition für die Erholzeit (t_{er}), sowohl die Beobachtungen für persönlich bedingtes Unterbrechen (H_{MP}) als auch die Erholung (H_{ME}) zusammengefasst (vgl. Formel 4 und Formel 5 in 2.2.1). Der angestrebte fest definierte Zuschlagsfaktor k_{er} bildet als Produkt nach Formel 9 zusammen mit dem Faktor k_E und dem GZW die Vorgangsdauer (SZW). Die durchgeführte Prüfung der Wirkung der Einflussgrößen auf die den Faktor k_{er} prägenden Anteile h_{MP} und h_{ME} ergab nach 4.3.2.2 keine signifikante Wirkung, so dass eine gegebenenfalls notwendige Gruppierung des Zuschlagsfaktors k_{er} für persönliche Verteil- und Erholzeiten entfällt.

Die Erholzeit (t_{er}) nach REFA ist in den Tarifvereinbarungen unabhängig der Grundzeit festgelegt und liegt als Anteil zwischen 5% und 10% an der Gesamtarbeitszeit (vgl.

⁶⁷ Die nach Modell 3 neu ermittelten Werte $k_E(\text{stufe})$ und die Prüfung der daraus gebildeten Regressionsgeraden ergibt ein R^2 von 0,943 und eine Signifikanz des Koeffizienten sowie der Regressionsfunktion. Da jedoch das Ausgangsmodell der verwendeten Daten zu verwerfen ist, können diese Werte nicht verwendet werden.

2.2.2). Der Anteil der persönlichen Verteil- und Erholzeit (h_{er}) dieser Untersuchung, der zusätzlich zu den in den Tarifvereinbarungen festgelegten Erholzeit (t_{er}) die Anteile der persönlichen Verteilzeit (h_{MP}) beinhaltet, schwankt jedoch insgesamt nur zwischen 5% bis 10%. Damit liegt dieser an der unteren Grenze des insgesamt in den Arbeitszeit-Richtwert-Tabellen für die persönliche Verteilzeit (t_{MP}) angegebenen Wertes von 5% und des in den Tarifvereinbarungen festgelegten Anteils der Erholzeit (t_{er}) von mindestens 5%, aus denen sich zusammen ein persönlicher Verteil- und Erholzeitanteil von mindestens 10% ergibt.

Grundsätzlich ist der sich aus einer Zählpunktprobe ergebende Anteil der Arbeitszeit der jeweiligen Belastung und Beanspruchung der Betroffenen, der innerhalb eines bestimmten Vertrauensbereiches definiert ist, biologisch und sozial auf Angemessenheit zu prüfen [90]. Bei Festlegung des Zuschlagswertes k_{er} ist sich demzufolge an der oberen Grenze des Vertrauensbereiches des ermittelten Wertes zu orientieren, um die notwendigen Erholzeiten (trotz nachgewiesener Unterschreitung) für die Arbeitenden in jedem Fall zu gewährleisten.

Die Multimomentaufnahme der Untersuchung ergibt für den Anteil der Erholzeit (h_{er}) einen Mittelwert von 8,61%. Der wahre, jedoch unbekannte Wert aus der Grundgesamtheit bewegt sich bei einer statistischen Sicherheit von 95% mit einem relativen Fehler ϵ von 10% zwischen $8,28\% \leq k_{er} \leq 8,94\%$. In Tab. 42 sind die Anteile der Erholzeit (h_{er}) für die einzelnen Baustellen und insgesamt mit dazugehörender 95% statistischer Sicherheit dargestellt.

Tab. 42 statistische Sicherheit der Anteile h_{er}

		Beobachtungen n H_{er}	gesamt	relativer Anteil h_{er} [%]	absoluter $f_{Soll} h_{er}$ [%]	absoluter $f_{ist} h_{er}$ [%]	statist. Sicherheit $f_{ist} < f_{soll}$	relativer Fehler ϵ^*
Baustelle	1	317	4.541	6,981	0,698	0,741	nein	10,617
	2	326	4.469	7,295	0,729	0,762	nein	10,452
	3	933	9.390	9,936	0,994	0,605	ja	6,090
	4	762	8.751	8,708	0,871	0,591	ja	6,784
	Gesamt	2.338	27.151	8,611	0,861	0,334	ja	3,875

*Erreichte statistische Sicherheit im Vergleich zum vorausgesetzten Vertrauensbereich von 10%.

Die Baustellen 1 und 2 erreichen nicht die geforderte statistische Sicherheit. Baustelle 3 und 4 sowie die gesamte Beobachtung, auf die sich letztlich die Festlegung des k_{er} bezieht, sind hingegen statistisch gesichert. Trotzdem ist der Anteil geringer als der insgesamt für die persönliche Verteil- und Erholzeit anzunehmende Prozentsatz von mindestens 10%. Aufgrund einer praktikablen Handhabung sowie der Gewährleistung der für die Arbeitsperson notwendigen persönlichen Verteil- und Erholzeiten wird der Zuschlagsfaktor k_{er} auf 10% festgelegt und entspricht damit der unteren Grenze der insgesamt in den Arbeitszeit-Richtwert-Tabellen und den Tarifvereinbarungen

angenommenen Anteile. Demnach wäre es möglich, auf Basis vorliegender Untersuchung für lohnintensive Pflasterarbeiten den in der Literatur zwischen 5% und 10% festgelegten reinen Erholzeitanteil (t_{er}) [103, 125] auf ca. 6% (bei einer gegebenen statistischen Sicherheit von 95%) festzulegen. Diese Annahme wird jedoch ausschließlich aufgrund der Erkenntnisse der durchgeführten Untersuchung getroffen und sollte gegebenenfalls in weiteren Analysen überprüft werden.

4.4.4 Fehlerbetrachtung

Die dargestellten Ergebnisse für die Quantifizierung des Zuschlagswertes $TP(stufe)$ sowie der Zuschlagsfaktoren $k_E(stufe)$ und k_{er} lassen sich in Hinblick auf ihre Güte nur beurteilen, wenn die Zuverlässigkeit der berechneten Werte bekannt ist, die ihre Basis in den empirisch erfassten Beobachtungen der Baustellen haben. Je umfassender der Gültigkeitsbereich und je länger die Gültigkeitsdauer der berechneten Zuschlagswerte und -faktoren ist, desto höhere Anforderungen sind an deren Qualität, d.h. an ihre repräsentative Erfassung und statistische Absicherung zu stellen. Zeitstudien auf Baustellen weisen mit einer allgemein geforderten statistischen Sicherheit der Daten von 95%, im Vergleich zur stationären Industrie, eine kleinere Genauigkeit auf [86]. Jedoch selbst für die stationäre Industrie wird diese Genauigkeitsforderung in Frage gestellt, denn durch den Beobachter sind fortwährend wertende Entscheidungen zu treffen, die nicht objektiv sein können. Die Diskrepanz zwischen angestrebter und der in der Praxis tatsächlich erreichbaren Genauigkeit ist nur durch eine ausreichend große Zahl an Beobachtungen auszugleichen. Allerdings steht dem die Frage der Wirtschaftlichkeit gegenüber. Der Zusammenhang zwischen Genauigkeit von ermittelten Zeitwerten und dem für die Ermittlung notwendigen Aufwand ist, wie in Abb. 28 dargestellt, nicht linear anwachsend [109]. Peer [86] spricht dabei von der Unmöglichkeit der „Bildung allgemein gültiger Soll- oder Vorgabezeiten, aufgrund der Vielfältigkeit der Bedingungen“, so dass die für die Bauindustrie entwickelten Zeitwerte eine nur „annähernde Genauigkeit besitzen, die wirtschaftlich vertretbar ist und den praktischen Anforderungen noch genügen“ [86].

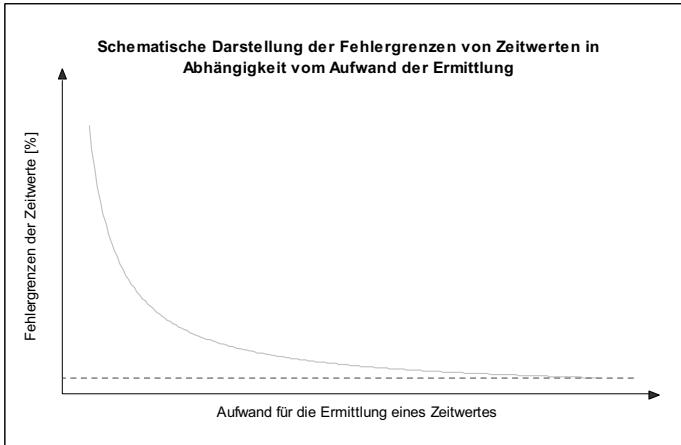


Abb. 28 Schematische Darstellung der Fehlergrenzen von Zeitwerten in Abhängigkeit des Ermittlungsaufwandes [109]

Die verwendeten empirischen Daten sind Beobachtungsdaten und beinhalten daher vorrangig Erfassungsfehler durch den Beobachter, welche sowohl Aufschreibfehler als auch subjektive Beurteilungsfehler der zu notierenden Vorgänge während der Beobachtung sein können. Diese sind im Nachhinein nicht eliminierbar und ein methodeninhärenter Nachteil der Multimomentaufnahme ([53, 70]). Systematische Fehlerkomponenten [34], wie beispielsweise Beeinflussung der Arbeitspersonen während der Beobachtung, sind durch Probeläufe auf den Untersuchungsbaustellen und Unterrichtung der Betroffenen über die Ziele der Untersuchung auszuschließen. Der in 4.2.1 beschriebene Ausreißertest, der die Eliminierung lediglich eines Aufnahmetages zur Folge hatte und der in der Mitte einer Aufnahmeperiode lag, beweist die Qualität der Beobachtungsdaten.

Die erreichte statistische Sicherheit für den zur Quantifizierung der TP(stufe) verwendeten Grundzeitanteil (h_g) zur Berechnung der GZW ist nachfolgend für die jeweiligen beschriebenen Leistungen dargestellt.

Tab. 43 Statistische Sicherheit des Grundzeitanteils (h_g)

Beschreibung der Leistung	Beobachtung n H_g	gesamt	relativer Anteil h_g [%]	absoluter $f_{soll} h_g$ [%]	absoluter $f_{ist} h_g$ [%]	statistische Sicherheit $f_{ist} < f_{soll}$	ϵ relatives Abweichungsmaß
Betonpflaster	9.243	11.964	77,257	7,726	0,751	ok	0,972
Betonplatten	5.248	6.434	81,567	8,157	0,947	ok	1,162
Naturpflaster	5.152	6.511	79,128	7,913	0,987	ok	1,248
Gesamt	19.643	24.909	78,859	7,886	0,507	ok	0,643

Aufgrund der Datenmenge ist die geforderte statistische Sicherheit erreicht. In den für die Quantifizierung der TP(stufe) verwendeten GZW finden nach Formel 8 zusätzlich die tägliche Arbeitszeit (AZ(a,tag)) sowie die aufgemessene Leistung (Q(a,tag)) Eingang. Die tägliche Arbeitszeit wird über die Stundenberichte des Unternehmens erfasst und

weist üblicherweise aufgrund ihrer essentiellen Bedeutung für die Lohnabrechnung keine Ungenauigkeiten auf. Das Aufmessen der Leistung ($Q(a,tag)$) wurde mit großer Sorgfalt nach DIN 18318 [24] durchgeführt. Durch die Aufrundung auf den vollen Meter bzw. Quadratmeter sind Messungenauigkeiten nicht auszuschließen. Es handelt sich dabei jedoch um eine im Baubetrieb übliche Methode und wurde daher in dieser Untersuchung aus Gründen der Wirtschaftlichkeit beibehalten. Für die verschiedenen GZW ergeben sich daraus mit einer Sicherheit von 95,4% für den Baubetrieb nachfolgend in Tab. 44 dargestellte Grenzen⁶⁸, so dass die Unsicherheiten der darin enthaltenen aufgemessenen Leistung ($Q(a,tag)$) vernachlässigbar sind.

Tab. 44 Statistische Sicherheit der Mittelwerte des GZW je Pflasterart ($\overline{GZW(a)}$) [h/m^2] mittels Standardabweichung σ sowie Variationszahlverfahren nach REFA [70]

		Betonpflaster [h/m^2]	Betonplatten [h/m^2]	Naturpflaster [h/m^2]
Mittelwert $\overline{GZW(a)}$		0,0885	0,1700	0,0728
Standardabweichung σ	68,30%	0,0122	0,0178	0,0088
$GZW(a) \pm 2\sigma$	95,40%	0,0245	0,0357	0,0176
Obergrenze 2σ		0,1130	0,2057	0,0904
Untergrenze 2σ		0,0640	0,1343	0,0552
$GZW(a) \pm 3\sigma$	99,70%	0,0367	0,0535	0,0264
Obergrenze 3σ		0,1253	0,2235	0,0991
Untergrenze 3σ		0,0518	0,1165	0,0464
Variationszahlverfahren				
Variationszahl		13,83%	10,49%	12,07%
Vertrauensbereich		4,34%	4,0%	4,1%

Mit einer Sicherheit von 95,4% (bzw. 99,7%) liegt der wahre Wert der jeweils ermittelten $GZW(a)$ innerhalb des angegebenen Bereichs. Der zusätzlich berechnete relative Fehler der GZW (Betonpflaster) liegt jedoch bei ca. 28% ($2\cdot\sigma$) und ist für die Zwecke des Baubetriebes als zu hoch einzustufen. Durch die für die weitere Berechnung notwendige Zuordnung der $GZW(a)$ bezüglich der „technischen“ Parameterstufe wurde die Streuung entsprechend gemindert und über das Bestimmtheitsmaß (R^2) der ermittelten Regressionsgleichung deren Anwendbarkeit nachgewiesen⁶⁹.

Die Anwendung des in REFA [70 S.58ff] beschriebenen Variationszahlverfahrens⁷⁰ lässt folgende Aussagen zu: Der Durchschnittswert hat sich aus einer zufällig ausge-

⁶⁸ $95,4\% = 2\cdot\sigma$ und entspricht damit der im Baubetrieb geforderten statistischen Sicherheit von 95%.

⁶⁹ Vgl. 4.4.1 und Abb. 24, in der die Grenzen der ermittelten TP(stufe) mit einem Konfidenzintervall von 95% dargestellt sind.

⁷⁰ Siehe dazu auch im Anhang D (D.2.1).

wählten Stichprobe ergeben. Bei größeren Stichproben wird sich der Wert vermutlich ändern. Mit 95%iger Sicherheit ist jedoch vorherzusagen, dass bei unendlich vielen Beobachtungen beispielsweise der wahre, jedoch unbekannte Mittelwert, für Betonpflaster (GZW(Betonpflaster)) um nicht mehr als $\pm 4,34\%$ von dem errechneten Mittelwert abweicht. Das Verfahren bezieht sich auf unendlich viele Stichproben, aus denen ein wesentlich geringerer Vertrauensbereich resultiert, der für die Verwendung im Baubetrieb als ausreichend anzusehen ist.

Für die Zuschlagsfaktoren $k_E(\text{stufe})$ und k_{er} sind die ausführlichen Ergebnisse der Prüfung auf statistische Sicherheit im Anhang B (B.1.3) dargestellt.

Die abgeleiteten Aussagen für den Verteilzeitanteil (h_v) beruhen auf einer Datenbasis mit einer nachgewiesenen 95%igen Sicherheit, sowohl für die einzelnen Baustellen als auch insgesamt. Die definierenden Anteile der Verteilzeit (h_v) liegen mit 95,4%iger Sicherheit zwischen $11,83\% \leq h_v \leq 13,66\%$. Diesem Anteil der Verteilzeit (h_v) ist ein relativer Fehler von 7,19% zuzuordnen, der für Zeitstudien akzeptabel ist, denn die große Variabilität der Bedingungen von Baustelle zu Baustelle und von einem Bauabschnitt einer Baustelle zum anderen ergibt zwangsläufig eine große Streuung der Messwerte für gleichartige Vorgänge, die hauptsächlich durch technologische und organisatorische Ungleichheiten verursacht wird und auf die die Arbeitsperson keinen Einfluss nehmen kann [86]. Der über das Variationszahlverfahren errechnete Vertrauensbereich für den Verteilzeitanteil (h_v) beträgt $\pm 0,58\%$. Dieser bezieht sich auf unendlich viele Beobachtungen sowie die Größe des wahren, jedoch unbekannten Mittelwertes und dessen Abweichung vom errechneten Mittelwert und ist daher geringer.

Der Zuschlagsfaktor k_{er} beruht auf den Daten für die persönliche Verteil- und Erholzeit (h_{er}). Dieser Anteil bewegt sich ebenfalls mit einer statistischen Sicherheit von 95,4% entsprechend der tatsächlich auf der Baustelle beobachteten Werte zwischen $7,41\% \leq h_{er} \leq 9,23\%$ und hat einen relativen Fehler von rd. 11%. Aufgrund der Festlegung des Zuschlags für persönliche Verteil- und Erholzeiten und der Tatsache, dass trotz des relativen Fehlers der Zuschlagsfaktor k_{er} unter 10% bleibt, ist dieser als statistisch gesichert anzusehen. Über das Variationszahlverfahren ist ein Vertrauensbereich von $\pm 0,88\%$ errechenbar, der jedoch für die Festlegung des Zuschlagsfaktors auf 10% keine Rolle spielt, sondern lediglich die Aussagerichtigkeit des berechneten Mittelwertes in dem Bereich mit 95%iger Sicherheit untermauert.

Die berechneten statistischen Sicherheiten sowie Vertrauensbereiche verdeutlichen, dass Zeitdaten im Baubetrieb infolge der Vielschichtigkeit und ständig wechselnder Bedingungen keine absolute Sicherheit bieten [50]. Jedoch besitzen die in dieser Untersuchung verwendeten Daten und die daraus abgeleiteten Aussagen eine für die Verwendung im Baubetrieb ausreichende statistische Sicherheit.

5 Anwendung und Diskussion der Ergebnisse

5.1 Ermittlung des Soll-Zeitwertes durch die quantifizierten Einflüsse

5.1.1 Verfahrensweise zur Bestimmung eines Soll-Zeitwertes mittels der quantifizierten Einflüsse

Die Methode der Quantifizierung der konstanten und variablen Einflüsse ist ausführlich in den Abschnitten 3.5 und 4.4 beschrieben. Für den Baubetrieb steht die Anwendung der quantifizierten Einflüsse in Form des Zuschlagswertes (TP(stufe)) und der Zuschlagsfaktoren (k_E , k_{er}) als allgemein gültige Verfahrensweise zur Berechnung firmenspezifischer Soll-Zeitwerte (SZW) im Vordergrund.

Die Verfahrensweise wird für lohnintensive Arbeiten als allgemein anwendbar betrachtet. Der Baubetrieb verwendet für die Berechnung des SZW die quantifizierten Tabellenwerte entsprechend der zu erwartenden konstanten und variablen Einflüsse, die durch die Analyse der Variation der durch sie geprägten Zeitartenanteile berechnet worden sind. Der Anwender muss als Voraussetzung lediglich den GZW des Vorgangs der betrachteten Kolonne ermitteln. Dies kann beispielsweise, wie in dieser Untersuchung, über eine Multimomentaufnahme erfolgen. Der ermittelte GZW bzw. BGZW ist bei jedweder grundsätzlichen Veränderung in der Kolonnenzusammensetzung oder Arbeitsablaufgestaltung durch erneute Stichproben zu überprüfen und zu aktualisieren, um gegebenenfalls Veränderungen realitätsnah zu berücksichtigen. Die Anwendung der quantifizierten Einflüsse als Zuschlagswerte und Zuschlagsfaktoren erfolgt allgemein den Kapiteln 3 und 4 folgend und unter der Voraussetzung der Anwendung der Multimomentaufnahme als Datenerfassungsmethode in den dargestellten Schritten 1 bis 4 (Abb. 29):

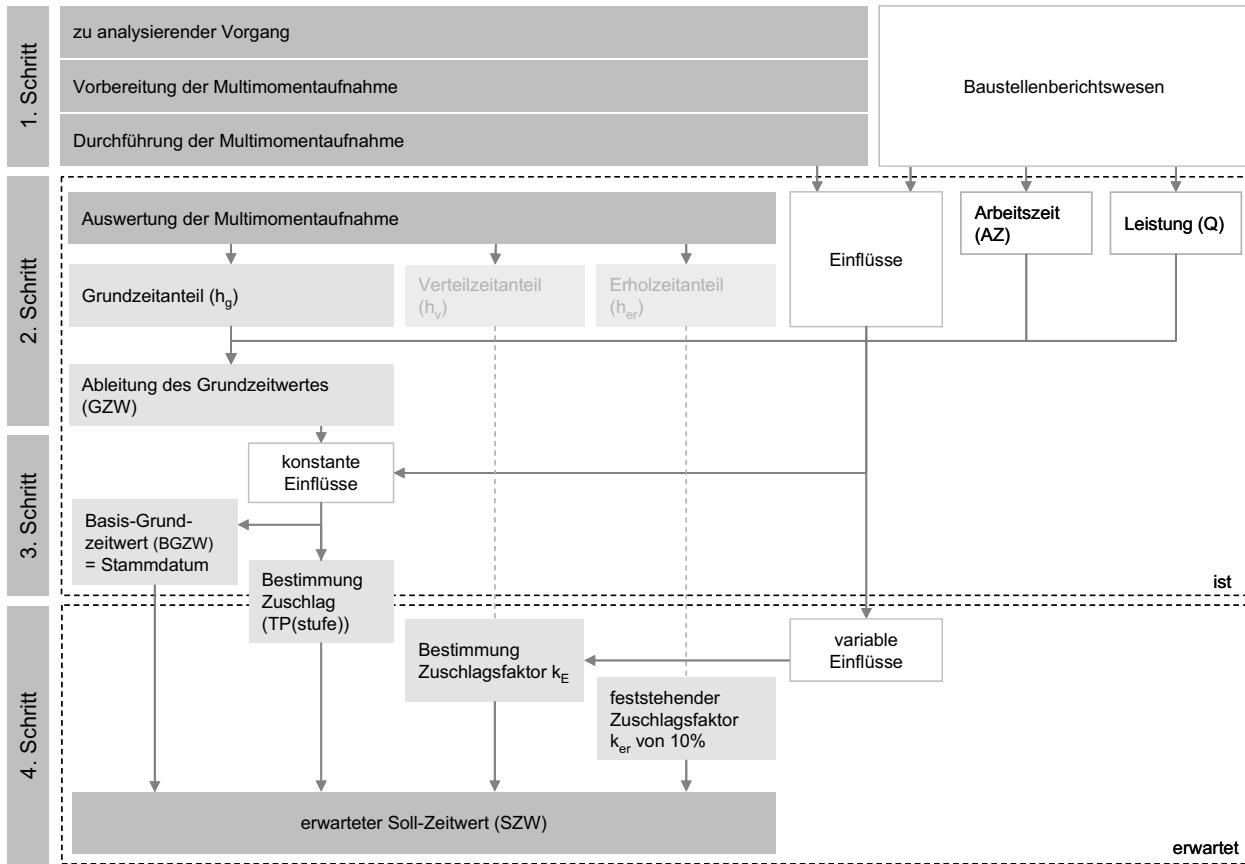


Abb. 29 Allgemeine Ablaufschritte zur Berechnung eines SZW

1. Schritt: Vorbereitung und Durchführung der Multimomentaufnahme

Nachdem der zu beobachtende Vorgang in die einzelnen Teilvorgänge gegliedert, den jeweiligen Ablaufarten zugeordnet und die Rahmenbedingungen erfasst sind, werden mittels Multimomentaufnahme Zeit- und Ablaufartenanteile des Vorgangs ermittelt. Die für die direkte Leistungserstellung auf der Baustelle genutzten Anteile der Grundzeit (h_g) sind separierbar. Aus dem Baustellenberichtswesen bzw. der Multimomentaufnahme sind für den ausgeführten Vorgang die aufgemessene Leistung (Q) sowie die dafür aufgewendete Arbeitszeit (AZ) je Arbeitstag und Pflasterart (a) aufgezeichnet.

2. Schritt: Auswertung der Multimomentaufnahme und Berechnung des GZW

Der für die Kolonne des Unternehmens und den beschriebenen Vorgang berechnete durchschnittliche GZW beinhaltet keine Verteil- und Erholzeitanteile (h_v und h_{er}).⁷¹ Der durchschnittliche GZW des Vorganges dient direkt als Ausgangswert zur Berechnung des SZW.

3. Schritt: Bestimmung der konstanten Einflüsse („technische“ Parameter)

Der berechnete GZW ermöglicht durch die quantifizierten „technischen“ Parameter (konstante Einflüsse) die Ableitung eines BGZW für den Vorgang. Dieser BGZW ist

⁷¹ Vgl. Formel 9 am Beispiel Pflasterarbeiten.

ein Stammdatum für das Unternehmen und den durch die Kolonne ausgeführten Vorgang. Der BGZW wird entsprechend der für unterschiedliche Bauvorhaben verschieden vom Auftraggeber geforderten technischen Gegebenheiten mit dem Zuschlagswert TP(stufe) angepasst, so dass der jeweils zu erwartende GZW in Stunden je Mengeneinheit berechnet werden kann.

4. Schritt: Einschätzung der zu erwartenden variablen Einflüsse und Berechnung des Soll-Zeitwertes

Um den für lohnintensive Arbeiten allgemein geltenden Faktor k_E zur Bestimmung des Verteilzeitanteils (h_v) aus Tab. 41 abzulesen, ist die Schätzung der zu erwartenden variablen Einflüsse auf die auszuführende Arbeit notwendig. Die Einstufung erfolgt entsprechend der Baustellen-, Betriebs- und Umfeldbedingungen (vgl. 4.4.2). Die für den Anwender zur Einstufung der Bedingungen vollständige Tabelle ist im Anhang D (D.3.2) zu finden. Der erwartete Soll-Zeitwert (ESZW) beinhaltet alle Anteile der Grund-, Verteil- und Erholzeit. Nach Formel 17 können die Ausgangsgrößen zur Berechnung des ESZW entweder der berechnete GZW selbst bzw. der über den BGZW mit dem Zuschlagwert TP(stufe) entsprechend der „technischen“ Parameter ermittelte GZW sein. In beiden Fällen ergibt der GZW, multipliziert mit dem jeweiligen Faktor k_E und dem nach 4.4.3 festgelegten k_{er} den ESZW. Dieser ESZW ist die Zeitdauer, die die Kolonne für die Ausführung einer Mengeneinheit des beobachteten Vorgangs benötigt. Der ESZW ist für die Planung, Steuerung und Auftragskalkulation nutzbar.

Die am Beispiel Pflasterarbeiten in der Tab. 39 ermittelten Zuschlagswerte TP(stufe) und für den Verteilzeitanteil (h_v) in Tab. 41 ermittelten Zuschlagsfaktoren k_E sind hingegen, bezogen auf den jeweilig ausgeführten Vorgang und die zu erwartenden Einflüsse, feststehend. Der Zuschlagsfaktor k_{er} in Höhe von 10% ist nach vorliegender Untersuchung generell dem GZW jedes Vorganges einheitlich zuzurechnen (vgl. 4.4.3).

Die ermittelten Zuschlagswerte und -faktoren und die daraus abgeleiteten SZW grenzen an die bei REFA unter Planzeiten bekannten Zeitwerte. Aufgrund der Kombination des ermittelten Zuschlagswertes TP(stufe) für „technische“ Parameter mit einem für die beobachtete Arbeit abgeleiteten BGZW stellt dieser durch den direkten Bezug auf die Kolonne des Unternehmens einen Genauigkeitsgewinn dar, welcher den inhärenten Nachteilen anderer Methoden vorsteht (vgl. 2.3.2). Grundsätzlich ist immer zu berücksichtigen, dass die zu ermittelnden Daten (unabhängig der Erfassungsmethode auf der Baustelle) nur so genau wie nötig sein sollten, um unter der Voraussetzung einer gesicherten statistischen Datenbasis (vgl. 4.2.2, 4.4.4) sowie einer genauen Beschreibung der konstanten und variablen Einflüsse eindeutig festzulegen, für welche Bedingungen sie Gültigkeit besitzen [48].

5.1.2 Vergleich berechneter Soll-Zeitwerte

Um die Anwendbarkeit der über die entwickelte Methode quantifizierten Zuschläge darzustellen, werden nachfolgend beispielhaft zu erwartende Soll-Zeitwerte (ESZW)

ausgewählter lohnintensiver Pflasterarbeiten prognostiziert. Entsprechend der in 5.1.1 beschriebenen Verfahrensweise wird der zu erwartende Soll-Zeitwert (ESZW) vergleichbaren Richtzeitwerten aus der Literatur [19, 33, 83, 92] und dem Nachkalkulationswert⁷² (NKW) gegenübergestellt (Tab. 45).

5.1.2.1 Berechnung eines zu erwartenden Soll-Zeitwertes

Für Beobachtungstage, an denen die aufgemessene Leistung ($Q(a,tag)$) nicht erfasst wurde, ist kein täglicher Grundzeitwert ($z_{g(a,tag)}$) ableitbar. Sind jedoch Vergleichsdatensätze vorhanden, die nach 4.4.1 derselben Kolonne und dem gleichen Vorgang zuordenbar sind, lässt sich entsprechend der erfassten konstanten und variablen Bedingungen für diese Pflasterarbeit ein zu erwartender Soll-Zeitwert (ESZW) prognostizieren.

Die der Literatur [19, 33, 83, 92] entnommenen Zeitaufwands- bzw. Musterzeitwerte wurden, entsprechend der jeweiligen Angaben in deren Vorbemerkungen, gegebenenfalls umgerechnet und ermöglichen damit den direkten Vergleich mit dem prognostizierten (erwarteten) Soll-Zeitwert (ESZW). Des Weiteren wird im Vergleich der Nachkalkulationswert (NKW) betrachtet. Der NKW des ausgeführten Vorganges durch die Kolonne wird gebildet über das Verhältnis der aufgewendeten Arbeitszeit zur erstellten Leistung, unberücksichtigt unter welchen konstanten und variablen Einflüssen der Vorgang ausgeführt wurde.⁷³

Für die jeweilige Pflasterart (a) ermöglicht der Ist-Grundzeitwert (IGZW(a)) der Kolonne gemäß der notierten konstanten Einflüsse die Bestimmung des Zuschlags TP(stufe) (siehe Tab. 45). Es ist damit die Ableitung des BGZW(a) der Kolonne bezogen auf die Pflasterart (a) nach Formel 13 möglich. Aus Tab. 39 ist der Zuschlagswert TP(stufe) für die zu erwartenden „technischen“ Parameter abzulesen und der zu prognostizierende Grundzeitwert (EGZW) berechenbar.

Die variablen Einflüsse Wetter, Baustellenbedingungen und Behinderungsgrad sind in den zusätzlichen Notierungen der Multimomentaufnahme festgehalten. Diese ermöglichen die Bestimmung des geltenden Zuschlagsfaktors k_E für die Anteile der Verteilzeit (h_v) (vgl. Tab. 41). Nach Formel 17 ist somit der erwartete Soll-Zeitwert (ESZW) der beschriebenen Leistung für die betrachtete Kolonne als Produkt aus dem Zuschlag k_{er} für den Erholzeitanteil, dem k_E für den Verteilzeitanteil und dem GZW erreichbar. In Tab. 45 sind die Ergebnisse unterschiedlich ermittelter Zeitwerte für die Beispiele „Betonplatten 30x30“ und „Naturpflaster Mosaikstein“ dargestellt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass für „Betonplatten 30x30“ der Kolonne 1 vollständige Datensätze vorhanden und somit auch GZW bzw. NKW berechenbar sind. Hingegen fehlen für das

⁷² Der Nachkalkulationswert (NKW) ist der Mittelwert des ausgeführten Vorganges und bezieht sich auf dieselbe Kolonne.

⁷³ Ausführlich sind die einzelnen Zeitwertermittlungsmethoden unter 2.3 beschrieben und die jeweilig resultierenden Zeitwerte in Hinblick auf die ihre Genauigkeit beurteilt.

„Naturpflaster Mosaikstein“ die Angaben zur aufgemessenen Leistung ($Q(a,tag)$) und es sind (zunächst) keine GZW und keine NKW berechenbar.

Die Prognose des entsprechend der Einflüsse tatsächlich zu erwartenden Soll-Zeitwertes (ESZW) erfolgte für „Betonplatten 30x30“ über den aus den Daten der Multimomentaufnahme abgeleiteten Ist-Grundzeitwert (IGZW) und der Zuordnung der notierten Einflüsse, welche den Zuschlagswert $TP(stufe)$ sowie den Faktor k_E prägen. Es ergibt sich entsprechend der konstanten Einflüsse und deren Zuordnung zu den „sehr einfachen technischen Parametern“ aus Tab. 39 ein Zuschlagswert von $0,013\text{h/m}^2$. Der nach Formel 13 ermittelbare BGZW bildet somit das Stammdatum der Kolonne 1 für den Vorgang „Betonplatten 30x30 verlegen“ in $[\text{h/m}^2]$, jedoch ohne Berücksichtigung des Einflusses der „technischen“ Parameter, d. h. des durch die variablen Einflüsse geprägten Anteils der Verteilzeit (h_v) und der Erholzeit (h_{er}). Entsprechend des in Tab. 45 angegebenen Beobachtungszeitraumes lässt sich der Verteilzeitanteil (h_v) über den Faktor k_E aus Tab. 41 ablesen und zusammen mit dem fest definierten Faktor k_{er} (1,1) der ESZW nach Formel 17 berechnen. Zu berücksichtigen ist bei der Berechnung des SZW die Normalisierung der Faktoren k_E und k_{er} , da sich diese auf den zu prognostizierenden und noch unbekannten SZW (100% der Gesamtzeit) beziehen. Die Normalisierung erfolgt nach Formel 33:

Formel 33 Normalisierung der Zuschlagsfaktoren k_E und k_{er}

$$z = 1 + (p / (1 - p))$$

$$\text{mit } p = ((k_E - 1) + (k_{er} - 1))$$

z	Faktor zur Berechnung des SZW
p	Gesamtanteil der Verteil- und Erholzeit
k_E	Zuschlagsfaktor Verteilzeitanteil nach Tab. 41
k_{er}	Zuschlagsfaktor Erholzeitanteil (1,1) nach 4.4.3

Die Gegenüberstellung mit den Zeitwerten der anderen Ermittlungsmethoden zeigt, dass der entsprechend der quantifizierten Einflüsse berechnete Soll-Zeitwert geringer ist. Der durchschnittliche NKW der Kolonne bei Ausführung des Vorganges ist der Mittelwert der Beobachtungstage und liegt ebenfalls unter den aus der Literatur stammenden Zeitwerten. (Tab. 45)

Anwendung und Diskussion der Ergebnisse

Tab. 45 Beispiele für ISZW und deren Vergleich mit SZW anderer Ermittlungsmethoden

		Beschriebene Leistung						
		Betonplatten 30x30 (14040)		Naturpflaster Mosaikstein (12410)				
konst. Einflüsse	Kolonne	1 (Ø mit 5 Arbeitspersonen)	sehr einfach	3 (Ø mit 4 Arbeitspersonen)	schwierig			
	Verband	Einfach		schwierig				
	Bauweise	Ungebunden		ungebunden				
	SGrad Fläche	mittel (0,2)		hoch (0,3)				
IGZW [h/m ²] (berechnet)		0,0604		0,2604				
TP(stufe) [h/m ²]		0,0130		-				
BGZW [h/m ²]		0,0474		-				
variable Einflüsse	Wetter (Beobachtungszeitraum)	20.07.-17.08.2001 Sommer	gut, sehr gut	16.04.-27.04.2003 Frühling	gut, gut			
	Behinderungsgrad	Gering		kein				
	Baustellenbedingung	Baustelle 1		Baustelle3				
		Gut		gut				
k _E		1,0726		1,1342				
k _{er}		1,1000		1,1000				
SZW [h/m ²]	ESZW ^{*1}	0,0729		0,3400				
	RZW ^{*2}	0,1020		0,3400				
	MZW ^{*3}	0,1050		0,4233				
	NKW ^{*4}	0,0752		keine Angaben zu Q(a,tag)				
	Vorgabewert ^{*5}	0,1000		0,3333				

*¹ ESZW (prognostizierter Wert) nach Formel 17 und Formel 33

*² RZW (Richtzeitwert) aus ARH-Tabelle [19]

*³ MZW (Musterzeitwert) aus [33]

*⁴ NKW (Nachkalkulationswert) der Kolonne und der Pflasterart

*⁵ Vorgabewert des Beispielunternehmens für die Pflasterart

Im Gegensatz zu den „Betonplatten 30x30“ liegen für das Beispiel „Mosaik-Naturstein“ der Kolonne 3 keine Angaben zur aufgemessenen Leistung (Q(a,tag)) vor. Um trotzdem die Berechnung eines zu erwartenden Soll-Zeitwertes (ESZW) entsprechend der angenommenen Bedingungen durchführen zu können, wird der aus der Literatur entnommene Richtzeitwert (RZW) [19] verwendet. Dieser enthält keine Spezifizierung hinsichtlich wirkender Einflüsse. Entsprechend der für den gesuchten Zeitraum geltenden variablen Einflüsse ist auch dafür der Faktor k_E aus Tab. 41 ablesbar. Es ist damit der IGZW der Kolonne 3 für den Vorgang „Mosaik-Naturstein“ nach Formel 13 abzüglich des fest definierten Anteils k_{er} durch den Richtzeitwert (RZW) bestimmbar und somit die Voraussetzung der Berechnung eines ESZW für die Pflasterart „Mosaik-Naturstein“ gegeben. Es ist hierbei jedoch zu beachten, dass der IGZW einem theoretischen GZW entspricht, da der firmenspezifische Charakter auf Basis der Verwendung des Literaturwertes nicht gegeben ist. Die Berechnung eines Basis-

Grundzeitwertes (BGZW) wird daher hinfällig. Des Weiteren ist aufgrund der fehlenden Leistungsangaben (Q(a,tag)) ebenfalls der NKW nicht bestimmbar.

5.1.2.2 Kritische Betrachtung der Beispiele

Die Betrachtung der erwarteten Soll-Zeitwerte (ESZW) für die in Tab. 45 beispielhaft dargestellten Pflasterarten zeigt, dass nicht nur der anhand der Ist-Daten sondern auch der über den Richtzeitwert (RZW) prognostizierte Zeitwert geringer ist als die über die anderen Methoden ermittelten Zeitwerte. Die prozentualen Abweichungen des ESZW zu den über die anderen Methoden bestimmten SZW sind in Tab. 46 dargestellt.

Tab. 46 Abweichungen des ESZW von den Zeitwerten anderer Ermittlungsmethoden (vgl. Tab. 45)

Herkunft der Zeitwerte	Abweichungen vom ESZW in [%]	
	Betonplatten 30x30 (Kolonne 1)	Mosaik-Naturstein (Kolonne 3)
ESZW	100,00	100,00
RZW ^{*1}	+ 39,83	Ausgangswert der Berechnung
MZW ^{*2}	+ 43,94	+24,49
NKW ^{*3}	+ 3,15	nicht gegeben
Vorgabewert ^{*4}	+ 37,09	- 1,98

*¹ RZW (Richtzeitwert) aus ARH-Tabelle [19]

*² MZW (Musterzeitwert) aus [33]

*³ NKW (Nachkalkulationswert) der Kolonne und der Pflasterart

*⁴ Vorgabewert des Beispielunternehmens für die Pflasterart

Für den ESZW(Betonplatten 30x30) der Kolonne 1 ist eine Abweichung vom NKW(Betonplatten 30x30) von nur 3,15% nachweisbar. Es wird damit deutlich, dass die über die Mittelwertbetrachtung und Regression gebildeten Zuschlagsfaktoren den tatsächlichen Gegebenheiten entsprechen. Gleichzeitig zeigt die Abweichung, dass die im Baubetrieb häufig verwendeten Nachkalkulationswerte (NKW), ohne Beschreibung ihrer Entstehungsbedingungen, für Folgeprojekte Unsicherheiten beinhalten, die im dargestellten Fall mit rd. 3% tragbar, jedoch mit der in dieser Untersuchung entwickelten Verfahrensweise noch genauer bestimmbar sind. Toffel [116] konstatiert dazu, dass „vor allem die örtlichen Bedingungen die Unterschiedlichkeit von Kosten- und damit Zeitansätzen begründen und daher selbst bei ausreichend statistischer Masse durch Nachkalkulation festgestellte Werte nicht zwingend den richtigen Kosten- und Leistungsansatz darstellen“ [116 S.217ff] und unterstreicht mit seiner Aussage die dargestellten Ergebnisse.

Der Vergleich mit dem vom Unternehmen gegebenen Vorgabewert zeigt, dass dieser vom NKW(Betonplatten 30x30) erheblich unterschritten wurde. Für den ESZW(Betonplatten 30x30) ist die Leistungsvorgabe für die beobachteten Bedingungen und die Kolonne zu hoch, so dass längerfristig mit einer Nichteinhaltung der Kalkulationsvorgaben zu rechnen ist. Dies weist darauf hin, dass der Vorgabewert ein Pauschalwert ist, der projektspezifische Modalitäten nicht konkret beinhaltet. Wird der

ESZW für die schlechteste Konstellation der Baustellen- und Betriebsbedingungen (vgl. Tab. 39 und Tab. 41) betrachtet, ergibt sich ein ESZW(Betonplatten 30x30) von trotzdem nur 0,098 h/m². Dieser ESZW liegt trotz der angenommenen schlechtesten Bedingungen noch immer unter dem Vorgabewert von 0,1 h/m². Dieser Wert wirkt somit auch nicht als leistungsmotivierende Vorgabe. Befindet sich das Unternehmen in einer wirtschaftlich stabilen Lage, bildet dieser Unterschied einen Puffer, der in kritischen Ausführungsphasen zusätzlich nutzbar ist. Ist das Unternehmen jedoch bei der Auftragsakquisition auf kurze Ausführungszeiten, die tatsächlich vorhandenen Potenziale des auszuführenden Vorgangs und die Minimierung der anfallenden Kosten angewiesen, ist diese Ungenauigkeit zu bedenken.

Besonders auffällig sind die Abweichungen zu den aus der Literatur stammenden Richt- und Musterzeitwerten [19, 33, 83, 92], welche erheblich höher liegen. Bei deren Bestimmung wurde versucht, den Zeitaufwandwert mit der größtmöglichen Übereinstimmung mit den tatsächlichen Bedingungen, entsprechend der Angaben in den Vorbemerkungen, zu finden. Hierbei kamen die bereits in 2.3.2 genannten Unsicherheiten bei der Verwendung von Literaturangaben zum Tragen, durch die es für den Anwender schwierig ist, sowohl die der auszuführenden Arbeit entsprechende Beschreibung als auch die geltenden Rahmenbedingungen eindeutig wieder zu finden. Diese Tatsache wird untermauert von Mantscheff [77]. Seine Aussage, dass „die Angaben in der Literatur für einzelne Arbeiten zum Teil in großem Maße differieren, da die Leistungen unterschiedlich in ihrem Umfang erfasst sind“ [77 S.178f], wird auch in diesem Vergleich sehr deutlich. Auch für die in Tab. 45 gewählten Beispiele war es schwierig, den berechneten ESZW der jeweilig differenzierten Leistung einem in der Literatur gegebenen Zeitwert gegenüber zu stellen.

Der Vergleich in Tab. 46 zeigt jedoch auch, dass der vom Unternehmen angesetzte Vorgabewert für die „Betonplatten 30x30“ in etwa mit den Angaben aus der Literatur übereinstimmt. Da die abgelesenen Zeitwerte zum Teil entsprechend den Vorbemerkungen zusätzlich durch Zu- oder Abschläge an die tatsächlich zu erwartenden Gegebenheiten der Leistungsausführung anzupassen und die projektspezifischen Konstellationen nicht konkret festgelegt sind, bleibt die Art und Weise deren Berücksichtigung immer die Entscheidung des Anwenders. Der Rückgriff auf quantifizierte Zuschläge und Faktoren bildet dafür eine sichere Grundlage und erleichtert die Angleichung.

Die Richt- und Musterzeitwerte sind aber auch, trotz der genannten Unsicherheiten, die Grundlage zur Ermittlung von SZW. Nach genauer Analyse der ihnen zugrunde liegenden Bedingungen und der Bestimmung der zu erwartenden konstanten und variablen Einflüsse entsprechend dem Zuschlagsfaktor TP(stufe) (Tab. 39) bzw. dem Faktor k_E (Tab. 41), bilden sie die Basis zur Prognose eines zu erwartenden Zeitwertes (ESZW) (vgl. Tab. 45 Spalte „Mosaik-Naturstein“).

Für das Unternehmen ist aus dem vorliegenden Vergleich zu schlussfolgern, dass die Ermittlung von zu erwartenden Soll-Zeitwerten auf Basis eines firmenspezifischen GZW die Ermittlungsmethode mit dem höchsten Realitätsbezug darstellt. Der NKW ist unter Berücksichtigung seiner Entstehungsbedingungen eine Alternative. Zeitwerte aus der Literatur bieten eine Orientierung. Sie sind unter der Voraussetzung einer genauen Analyse ihrer zugrunde liegenden Rahmenbedingungen und über eine Anpassung an die tatsächlich zu erwartenden Einflüsse, beispielsweise durch die quantifizierten konstanten und variablen Einflüsse, verwendbar.

5.2 Beurteilung der quantifizierten Einflüsse

Der im vorhergehenden Abschnitt durchgeführte Vergleich der unterschiedlich ermittelten SZW bestätigt die in 2.3.2 beschriebenen Vor- und Nachteile der einzelnen Ermittlungsmethoden. Husfeld [56] konstatiert, dass es letztlich nicht „den“ Zeitwert oder Kalkulationsansatz gibt. Die Projektplanung, -ausführung sowie -steuerung ist grundsätzlich abhängig von den Vorgaben des Auftraggebers, die immer verschiedene Einflussfaktoren beinhalten.

Der Vorteil des durch die dargestellte Verfahrensweise prognostizierbaren SZW liegt in der Möglichkeit, diesen realitätsnah auf die zu erwartenden Bedingungen einzugrenzen. Die Kombination aus dem konkret für das Unternehmen ermittelten GZW und der quantifizierten Einschätzung der Wirkung der zu erwartenden variablen Einflüsse beinhaltet einen Genauigkeitsgewinn, wie in 5.1.2 beschrieben.

Prinzipiell ist für jedes Unternehmen die beschriebene Verfahrensweise nach Abb. 29 anwendbar. Die Zuschlagsfaktoren k_E und k_{er} sind unternehmensunabhängig. Für das anwendende Unternehmen ist lediglich die Ermittlung des GZW der Kolonne notwendig. Dies fordert einen zusätzlichen Arbeitsaufwand. Die Ermittlung des GZW ist dabei nicht auf die Multimomentaufnahme, wie in dieser Untersuchung angewendet, festgelegt. Der GZW kann beispielsweise ebenso aus einer direkten Zeitmessung oder aus der Auswertung von Selbstaufschreibungen der Arbeitspersonen berechnet werden.

Jedoch besteht der Vorteil der Multimomentaufnahme gegenüber den anderen Verfahren im direkten Bezug des Zeitwertes und in der einfachen Extraktion des Grundzeitanteils (h_g), der für die reine Wertschöpfung genutzt wird, so dass die Ableitung des GZW einfach ist. Der zusätzliche Aufwand der Durchführung einer Beobachtung wird durch die Genauigkeit des abgeleiteten Zeitwertes ausgeglichen.⁷⁴ Im Vergleich zur durchgeführten Untersuchung ist in jedem Fall der notwendige Beobachtungsumfang zur Ableitung statistisch gesicherter Aussagen geringer, denn es wird nach Formel 8 nur der Anteil der Grundzeit (h_g) verwendet, der mindestens einen Anteil von 70% der Gesamtarbeitszeit umfasst (vgl. 2.2.2 sowie 4.2.3) und somit den

⁷⁴ Zeitwerte, die auf Multimomentaufnahmen basieren, sind Werte mit der höchsten Genauigkeit [103 S.75] (vgl. auch 2.3.2).

Beobachtungsumfang nach Formel 24 erheblich reduziert.⁷⁵ Damit ist die Aktualisierung eines einmal ermittelten GZW über die Multimomentaufnahme in ein bis zwei Beobachtungstagen möglich und ist so für das Unternehmen ein zeitnahe und firmenspezifisches Stammdatum.

Aus der nach Abb. 21 in 3.5.3 dargestellten Methode zur Quantifizierung der konstanten und variablen Einflüsse am Beispiel Pflasterarbeiten und den Berechnungen in 4.4 sowie den Beispielen in 5.1.2 sind folgende Schlussfolgerungen abzuleiten:

- Zuschlagswert TP(stufe)

Trotz der zuvor in Tab. 45 dargestellten Beispielberechnung des zu erwartenden SZW ist die Anwendung des aus dieser Analyse berechneten TP(stufe) kritisch zu betrachten.

Die Quantifizierung des Zuschlagswertes TP(stufe) der konstanten Einflüsse erfolgt anhand der Variation der GZW entsprechend der technischen Parameterkombinationen für die jeweilige Pflasterart. Es ist daher für die Quantifizierung ein hinreichend großer Datenbestand erforderlich, um die unterschiedlichen Kombinationen der Ausführung der einzelnen Pflasterart erfassen zu können. Dies ist im Rahmen einer einfachen Arbeitszeitanalyse schwer zu verwirklichen. Selbst in der durchgeföhrten Untersuchung, die über verschiedene Baustellen, Unternehmen und Zeiträume verlief, ließ sich dies nicht umsetzen. Der notwendige Beobachtungsumfang für die geforderte statistische Sicherheit der GZW war nicht zu erreichen. Dies verdeutlicht der berechnete relative Fehler, der trotz geringerer Genauigkeitsforderungen im Baubetrieb [86], für die Mittelwerte der GZW der jeweiligen Pflasterarten ($\overline{GZW(a)}$) als nicht tragbar einzustufen ist.⁷⁶

Obwohl den vier Stufenwerten der gebildeten Regressionsgeraden (vgl. 3.5.2.1) verschiedene tägliche Grundzeitwerte ($zw_g(a,tag)$) zu Grunde liegen, ist die Ableitung allgemein gültiger Zuschläge (TP(stufe)) aus den Mittelwerten der vier Stufen bedenklich. In dieser Untersuchung wurde dessen ungeachtet trotzdem eine Regressionsrechnung zur Bildung der Zuschlagswerte TP(stufe) durchgeföhr. Da diese jedoch im Rahmen der Analyse nicht fundiert prüfbar waren, ist davon auszugehen, dass die berechneten TP(stufe) zu stark zufallsgeprägt sind.

Gleichzeitig wurde durch die Varianzanalyse (vgl. 4.3.1) nicht jeder Einfluss in seinen Abstufungen vollständig nachgewiesen. Dies ist sowohl auf die teilweise zu geringe Anzahl der zugeordneten GZW als auch auf die geringe Variation innerhalb der

⁷⁵ Die notwendige Beobachtungsanzahl zur Ableitung statistisch gesicherter GZW ist nach Formel 24 mit einem Anteil der Grundzeit (h_g) von 70% und einer 95%igen statistischen Sicherheit bei etwa 170 Beobachtungen erreicht, welches einem bis zwei Beobachtungstagen entspricht. Die vorliegende Untersuchung ist auf die Verteil- und Erholzeitanteile fokussiert. Für die Erholzeit wurde ein Anteil von 10% angenommen und damit betrug der notwendige Beobachtungsumfang zur Erreichung statistisch gesicherter Aussagen nach Formel 24 ca. 3.500 Beobachtungen.

⁷⁶ Der relative Fehler für Betonpflaster bei einer statistischen Sicherheit von 3σ liegt nach den in dieser Untersuchung verwendeten Daten bei ca. 28%. Die ausführlichen Ergebnisse sind im Anhang D (D.3.3) dargestellt.

Kombinationen zurückzuführen, die ihre Ursache in einem zu hohen Detaillierungsgrad der Stufungen hat, der für Folgeuntersuchungen zu überdenken ist. Alternativ wäre daher die Bestimmung eines Zuschlagswertes der technischen Einflüsse durch kalkulatorische Betrachtungen der Zeitwerte denkbar. Um einen Basis-Grundzeitwert (BGZW) durch einen Zuschlag entsprechend der durch den Auftrag gegebenen technischen Parameter zu erhöhen, könnten beispielsweise Daten aus der Nachkalkulation, reduziert um die quantifizierten Zuschläge der Verteil- und Erholzeit, über einfache statistische Betrachtungen der Abweichungen bestimmt werden. Dabei ist jeweils der notwendige Detaillierungsgrad der technischen Parameter festzulegen, welcher sich nach dem allgemeinen Auftragsprofil des Unternehmens richtet, und er muss beispielsweise für Pflasterarbeiten nicht der in dieser Untersuchung verwendeten Einteilung entsprechen. Dennoch sind auch dafür umfangreiche Zeitdatenreihen notwendig, so dass diese Möglichkeit im Rahmen vorliegender Untersuchung nicht zusätzlich prüfbar war.

Prinzipiell ist die Methode der Quantifizierung der konstanten Einflüsse eine Möglichkeit, allgemein gültige Zuschlagswerte entsprechend vorher definierter technischer Parameterkombinationen zu definieren. Für deren Ermittlung muss jedoch die Voraussetzung umfassender und vollständiger Baustellendaten gegeben sein.

Grundsätzlich stellt der ermittelte GZW für die Kolonne und den ausgeführten Vorgang eine solide Basis dar. Zugunsten des statistisch gesicherten GZW sollte daher auf die Berechnung der Zuschlagswerte TP(stufe) für die konstanten Einflüsse sowie die daraus mögliche Ableitung eines BGZW solange verzichtet werden, bis für das Unternehmen beispielsweise über Langzeiterfassungen im Rahmen des Controllings der Aufbau eines zur Quantifizierung der „technischen“ Parameter ausreichenden Datenumfangs erreicht ist. Mit diesem wäre dann die Bestimmung allgemein gültiger Zuschlagswerte nach der entwickelten Methode möglich.

- **Zuschlagsfaktor k_E**

Die quantifizierten variablen Einflüsse in Form des Zuschlagsfaktors k_E beruhen hingegen auf einer breiten statistischen Basis, da alle Daten unabhängig des ausgeführten Vorganges und der Kolonne in der Analyse verwendet wurden. Die Quantifizierung allgemein gültiger Zuschlagsfaktoren erfolgte entsprechend der in 4.4.2 beschriebenen Methode. Der ermittelte relative Fehler von 7,19% bei einer 95,4%igen Sicherheit verdeutlicht, dass der Faktor k_E allgemein als Zuschlagsfaktor zum berechneten GZW einer lohnintensiven Pflasterarbeit für das Unternehmen anwendbar ist. Bei Verwendung für sich von Pflasterarbeiten unterscheidenden Arbeiten ist zu prüfen, ob die variablen Einflüsse für diese ebenfalls zutreffen. Generell ist jedoch davon auszugehen, dass sich die Baustellen-, Betriebs- und Umfeldbedingungen im Wesentlichen nicht unterscheiden.

- Zuschlagsfaktor k_{er}

Die Festlegung des Zuschlagsfaktors k_{er} auf einen von den wirkenden Einflüssen unabhängigen Anteil an der Gesamtarbeitszeit von 10% liegt mit einer Sicherheit von 95,4% über dem mit einem relativen Fehler von 11% ausgerechneten oberen Grenzwert. Die Höhe des k_{er} widerspricht damit nicht den Vereinbarungen der Tarifpartner und den Angaben in den Richtzeitwerttabellen (vgl. 3.5.2.2) und ist zur Aufrechterhaltung der Leistungsfähigkeit der Arbeitspersonen als notwendig anzusehen.

Der ESZW setzt sich damit zusammen aus dem für die Kolonne ermittelten GZW des ausgeführten Vorganges und dem durch die Beurteilung der zu erwartenden variablen Einflüsse während der Bauausführung aus Tab. 41 abgelesenen Faktor k_E sowie dem konstanten Faktor k_{er} . Trotz der zu erwartenden Unschärfen aufgrund des subjektiven Wissenstandes derjenigen Person, welche die Prognose des zu erwartenden SZW durchführt und welche damit auch die Einschätzung der zu erwartenden Bedingungen vornimmt, wird die subjektive Entscheidung über zu erwartende Einflüsse grundsätzlich befürwortet. Selbst in Simulationsprogrammen [1, 12] wird die Entscheidungsmöglichkeit des Anwenders bevorzugt. Für die anzuwendende Verfahrensweise zur Bestimmung des SZW bedeutet dies damit ebenso eine Interaktivität (Einschätzung der zu erwartenden Bedingungen), die einfach handhabbar ist (Ablesen des Tabellenwertes) und somit vom Anwender leichter akzeptiert wird.

5.3 Beurteilung der Übertragbarkeit der Methode

Im Rahmen dieser Arbeit war es nicht möglich, die Übertragbarkeit der am Beispiel Pflasterarbeiten entwickelten Methode zur Quantifizierung der Einflüsse zusätzlich an einem weiteren Beispiel nachzuweisen.

Die Arbeitsschritte mit den daraus resultierenden Ergebnissen sowie die Prüfmöglichkeiten bzw. dafür anzuwendenden Verfahren sind allgemein, aufbauend auf den Ausführungen in Kapitel 3 und 4, in der Abb. 30 dargestellt.

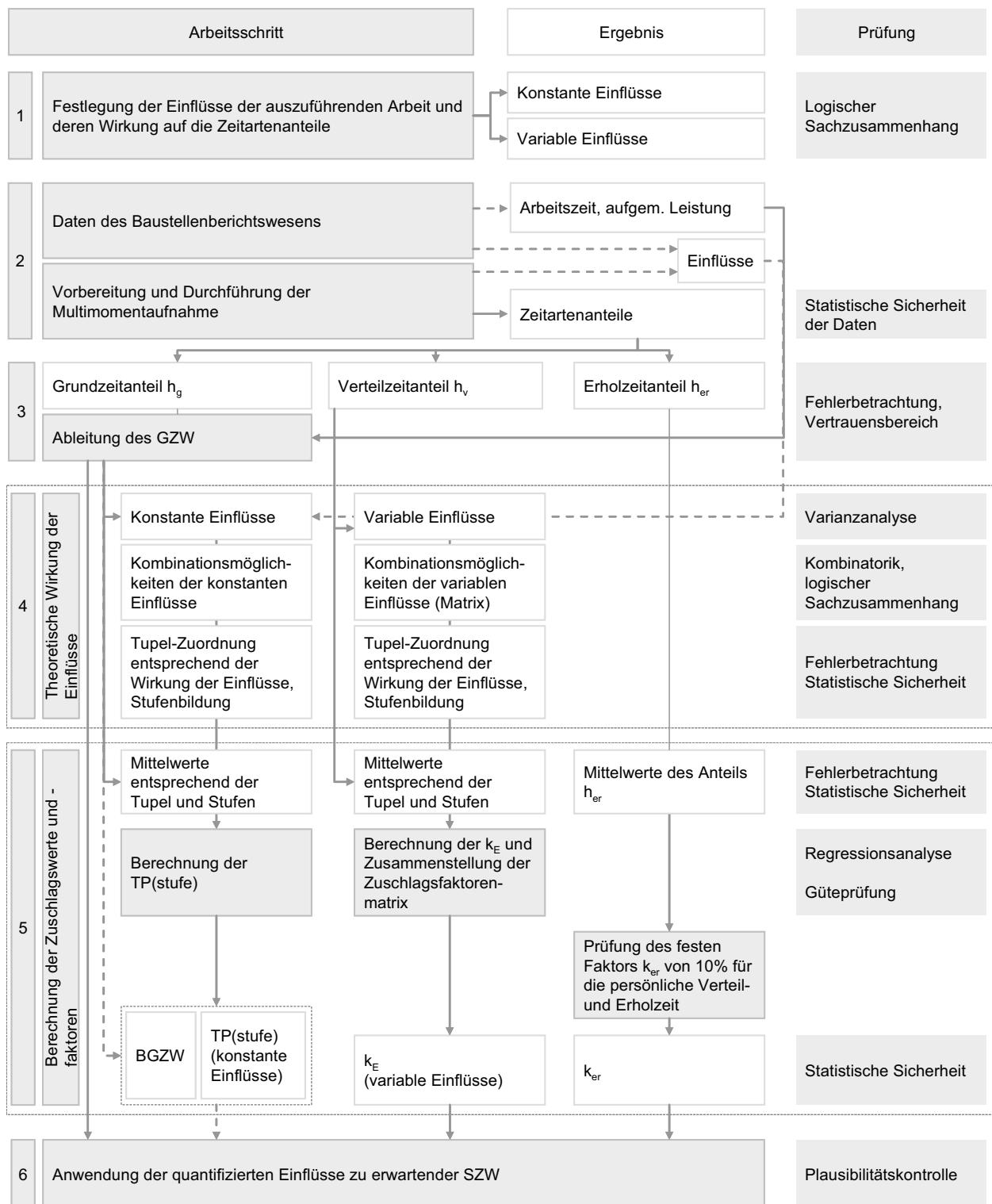


Abb. 30 Allgemeines Ablaufschema der Methode zur Quantifizierung von Einflussgrößen lohnintensiver Arbeiten

Für von Pflasterarbeiten verschiedene lohnintensive Gewerke ist folglich zu prüfen, ob die Einflüsse des neu betrachteten Vorgangs übereinstimmend mit denen im untersuchten Beispiel sind und wirken. Ist eine gegenüber Abb. 16 veränderte Zuordnung der Einflüsse bezogen auf ihre Wirkungsweise notwendig, erfordert dies die Überprüfung der berechneten Zuschlagswerte und gegebenenfalls eine

Neuberechnung. Nachfolgend werden entsprechende Überlegungen am Beispiel lohnintensiver Mauerarbeiten für einen Neubau dargestellt.

- Aus der Betrachtung der Einflüsse lohnintensiver Mauerarbeiten resultiert eine im Vergleich zur Abb. 16 abweichende Zuordnung. Als Einflussgröße auf die aufgemessene Leistung (konstante Einflüsse) sind sowohl die objektbedingten (auftragsbedingten) Eigenschaften, wie Ecken und Öffnungen, als auch das zu verarbeitende Material (gegebenenfalls die Verwendung von Mauerwerkselementen) ausschlaggebend. Diese ergeben jeweils in Abhängigkeit ihrer Kombination und Ausprägung unterschiedliche Zeitwerte.

Die betriebsbedingten konstanten und variablen Einflüsse Kolonne, Qualifikation, Leistungsbereitschaft und die Arbeitszeit entsprechen in ihrer vermuteten Wirkung, ebenso wie die variablen baustellenbedingten Einflüsse Organisation und Einrichtung, den Einflüssen lohnintensiver Pflasterarbeiten.

Die variablen Umfeldbedingungen Behinderungsgrad und Wetter sind ebenfalls Einflussgrößen. Für das Wetter ist zu untersuchen, inwieweit eine differenzierte Ausprägung der Wirkung für das Gewerk Mauerarbeiten notwendig ist. Es ist beispielsweise zu überprüfen, ob die Unterteilung der Einflussgröße Wetter in meteorologische Jahreszeiten ausreicht oder eine detailliertere Betrachtung der einzelnen Komponenten des Wetters und deren Wirkung auf die auszuführenden Teiltätigkeiten, z. B. die Verarbeitung der Klebstoffe/Verbinder und des Mörtels, unumgänglich ist.⁷⁷ Da für den Behinderungsgrad nach der Definition für Pflasterarbeiten störungsbedingte Unterbrechungen aufgrund von Verkehr bzw. querenden Passanten für Mauerarbeiten in der Regel auszuschließen sind⁷⁸, ist die unveränderte Anwendung des ermittelten Faktors k_E für Pflasterarbeiten nicht möglich.

Das Beispiel verdeutlicht: sofern im Vorfeld alle möglichen Einflüsse und deren Wirkung bedacht werden, ist grundsätzlich die Quantifizierung dieser nach dem allgemeinen Ablaufschema (Abb. 30) und im Speziellen nach den Ausführungen in 3.5.2 und deren Zusammenfassung in Abb. 21 möglich. Die Methode ist damit prinzipiell auf jedes lohnintensive Gewerk übertragbar, sofern die Einflüsse bekannt und zugeordnet sind und die Variation der jeweils prägenden Zeitartenanteile durch diese bestätigt wurden.

Unumgänglich bleibt in jedem Fall die Ermittlung des GZW bzw. die daraus gegebenenfalls resultierende neue Quantifizierung der „technischen“ Parameter, da diese den jeweils betrachteten Vorgang charakterisieren. Inwieweit die Berechnung des Zuschlagswertes TP(stufe) möglich ist, muss nach Zuordnung der Einflüsse und der

⁷⁷ Vgl. dazu auch die Ausführungen über Mauerarbeiten in Koberstein [68].

⁷⁸ Mauerarbeiten werden in der Regel in vom Straßen- und Personenverkehr getrennten Bereichen der Baustelle ausgeführt.

Menge der vorhandenen Daten entschieden werden. Im einfachsten Fall wird auf die Bildung der TP(stufe) verzichtet und lediglich der GZW des Vorgangs verwendet.

Der definierte Faktor k_{er} ist aufgrund des prinzipiell anzunehmenden körperlichen Anspruchs bei lohnintensiven Arbeiten als im Wesentlichen nicht unterschiedlich einzustufen und daher in jedem Fall in der Mindestgröße von 10% beizubehalten.

Zusammenfassend ist die dargestellte Verfahrensweise als eine allgemein gültige Grundlage anzusehen und die Methode zur Quantifizierung der Einflüsse auf lohnintensive Arbeiten als übertragbar auf andere lohnintensive Gewerke einzuschätzen.

5.4 Vergleich des Nutzleistungsfaktors (f_E) und des berechneten Zuschlagsfaktors (k_E)

5.4.1 Gegenüberstellung der Faktoren f_E und k_E

Der in Hoffmann [55] dargestellte Nutzleistungsfaktor (f_E) charakterisiert den Maschinen geprägten Arbeiten entsprechend den gleichen durch Einflüsse geprägten Zeitanteil wie der Faktor k_E . Der Nutzleistungsfaktor (f_E) berücksichtigt neben den persönlichen Verteil- und Erholzeiten ebenfalls Einflüsse der Baustellenorganisation, störungsbedingter Unterbrechungen, Wartungs- und Reparaturzeiten und der Witterung. Es ist demnach ein ähnliches Verhalten beider Zuschlagsfaktoren zu erwarten, welches nachfolgend betrachtet werden soll.

Der Nutzleistungsfaktor (f_E) bezieht sich auf einen Leistungswert.⁷⁹ Um einen direkten Vergleich des berechneten Korrekturfaktors k_E lohnintensiver Arbeiten mit dem Nutzleistungsfaktor (f_E) maschinenintensiver Arbeiten [55 S.584 Tafel 9.2] durchzuführen, muss zunächst die Umrechnung des Nutzleistungsfaktors (f_E) in einen prozentualen Anteil an einem Zeitwert erfolgen. Da laut den Vorbemerkungen in Hoffmann [55] der Nutzleistungsfaktor (f_E) neben den bereits zuvor genannten Einflüssen auch die persönlichen Verteil- und Erholzeitanteile (h_{er}) umfasst, wird dieser entsprechend des Nachweises in 4.4.3 für maschinenintensive Arbeiten ebenfalls mit 10% angenommen. Daraus ergibt sich die Umrechnung des Nutzleistungsfaktors (f_E) nach Formel 34.

⁷⁹ Vgl. dazu auch den in Formel 1 dargestellten Zusammenhang.

Anwendung und Diskussion der Ergebnisse

Formel 34 Umrechnung des Nutzleistungsfaktors (f_E) für Baumaschinen

$$f_E(\text{stufe}) = 1 - f_E(\text{BB}, \text{BetrB}) - (h_{er})$$

stufe \in MdStufen

MdStufen Menge der Stufen, d.h. {(sehr gut, sehr gut); (sehr gut, gut); (sehr gut, mittel); (sehr gut, schlecht); (gut, sehr gut); (gut, gut); (gut, mittel); (gut, schlecht); (mittel, sehr gut); (mittel, gut); (mittel, mittel); (mittel, schlecht); (schlecht, sehr gut); (schlecht, gut); (schlecht, mittel); (schlecht, schlecht)}

$f_E(\text{stufe})$ Nutzleistungsfaktor entsprechend der Stufe

$f_E(\text{BB}, \text{BetrB})$ Nutzleistungsfaktor entsprechend Baustellen-, Betriebs -u. Umfeldbedingung nach Hoffmann [55 S.584]

h_{er} persönlicher Verteil- und Erholzeitanteil

BB Baustellenbedingungen

BetrB Betriebsbedingungen

Die um den persönlichen Verteil- und Erholzeitanteil (h_{er}) geminderten und in einen Zeitanteil umgerechneten Tabellenwerte des Nutzleistungsfaktors (f_E) [55] sowie die berechneten Korrekturfaktoren k_E sind nachfolgend in Abb. 31 dargestellt. Zur besseren Übersicht wurden zusätzlich die jeweiligen Regressionsgraden veranschaulicht.

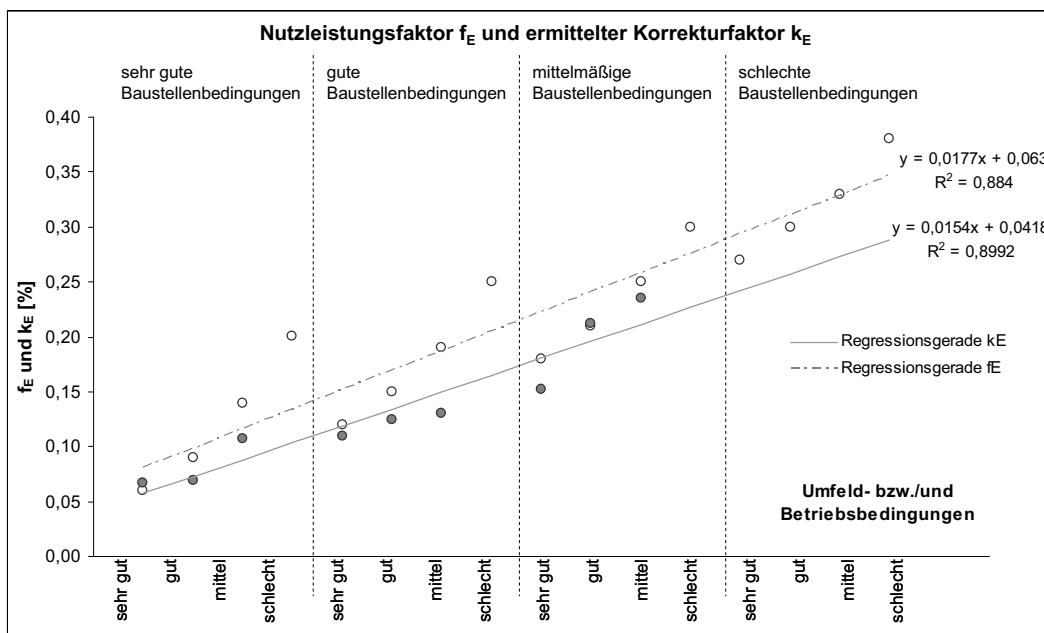


Abb. 31 Gegenüberstellung des f_E und k_E Faktors

Die gebildete Regressionsgerade der Faktoren mit Angabe des Bestimmtheitsmaßes (R^2) bestätigen deren Annehmbarkeit, die bereits für den Korrekturfaktor k_E in 4.4.2 nachgewiesen wurde und auf deren Basis die Quantifizierung der variablen Einflüsse lohnintensiver Arbeiten erfolgte (vgl. Formel 30).

Die Zuschlagsfaktoren k_E sind im Vergleich zu den Nutzleistungsfaktoren (f_E) geringer. Der Anstieg der Geraden maschinenintensiver Arbeiten verläuft zusätzlich um ca. 15% steiler. Daraus ist zu schlussfolgern, dass die Wirkung der Einflüsse bei lohnintensiven Arbeiten weniger stark ist als die Wirkung der Einflüsse bei Maschinen geprägten Arbeiten. Eine Erklärung dafür ist, dass sich die Arbeitsperson kurzfristiger und flexibler an sich ändernde Einflüsse anpassen kann, als dies einer Baumaschine möglich ist.

Der durchgeführte Vergleich und dessen Visualisierung stützen die über die empirischen Daten quantifizierten Einflüsse in Form des Korrekturfaktors k_E . Es sind keine wesentlichen Unterschiede der ermittelten Regressionsgeraden k_E zu der des Nutzleistungsfaktors (f_E) innerhalb der jeweiligen Stufen erkennbar, so dass die Faktoren k_E als fachgemäß und entsprechend der nachgewiesenen statistischen Sicherheit als realitätsnah einzuschätzen sind.

5.4.2 Prüfung des Nutzleistungsfaktors (f_E)

In der durchgeführten Untersuchung wurden ebenfalls Vorgänge für Pflasterverlegungen mit Maschinen (MG1) erfasst. Es ist somit die Untersuchung der Übereinstimmung der mittels Multimomentaufnahme abgeleiteten Grundleistung (Q_B) mit der vom Hersteller angegebenen Grundleistung (Q_B) der Verlegemaschine möglich. Gleichzeitig ist die Prüfung auf etwaige Unterschiede zwischen den über die Beobachtung abgeleiteten Nachkalkulationszeitwerten (NKW) und den berechneten Soll-Zeitwerten unter Anwendung des Nutzleistungsfaktors (f_E) aus Hoffmann [55 S.584 Tafel 9.2] durchführbar. Die nachfolgenden Aussagen basieren auf einer für die Gesamtheit der maschinenintensiven Arbeiten statistisch gesicherten Beobachtungsmenge⁸⁰.

Das in der Beobachtung verwendete Gerät war eine Verlegemaschine des Herstellers Hydromak (Baujahr 1991). Nach Herstellerinformation ist damit eine Grundleistung (Q_B) zwischen 300m² und 1000m² pro Tag in Abhängigkeit der Qualifikation und der Übung des Maschinenführers sowie der Baustellenbedingungen möglich. Eine 2006 durchgeführte Erhebung [115] ergab für dieses Gerät bei sehr guten Baustellenbedingungen und mit einem geübten Baumaschinenführer eine durchschnittliche Leistung von 350m² pro Tag. Die durchgeführte Untersuchung [115] wies als Grund für die annähernd nur dem Minimumwert des Herstellers entsprechende Grundleistung (Q_B) – trotz idealer Voraussetzungen - die veraltete Verlegetechnik nach, da die Greifkraft der Verlegezange wegen der Druckerzeugung mit nur zwei Hydraulikzylindern zu gering ist. Die Pflasterlagen waren somit nur schwierig und mit sehr viel Übung sowie Geschick ohne Verluste transportierbar. Zudem entstanden teilweise bei der Ablage erhebliche Verschiebungen, so dass aus den Nach- und

⁸⁰ Siehe Anhang B (B.1.3).

Zusatzarbeiten höhere Zeitwerte resultierten. Die vom Hersteller angegebene maximale Leistung des Gerätes ist nach Einschätzungen der durchgeföhrten Erhebung kaum erreichbar. Für den durchzuföhrenden Vergleich der ermittelten Zeitwerte maschinenintensiver Pflastervorgänge ist dies jedoch nicht relevant, da dabei lediglich die Nachkalkulationswerte den zu erwartenden Soll-Zeitwerten gegenübergestellt werden.

Die für den Vergleich beobachteten Vorgänge waren verschiedene mit der Maschine verlegte Betonpflaster, die unter sehr guten Baustellenbedingungen von derselben Kolonne ausgeführt wurden. Um den Vergleich mit den aus der Untersuchung ermittelten Zeitwerten zu vereinfachen, wurden die nach Formel 34 umgerechneten Nutzleistungsfaktoren (f_E) verwendet. Die entsprechenden Zeitwerte je Mengeneinheit zur Verlegung mit Maschine waren aus den Notierungen der Beobachtung ableitbar. Der Nachkalkulationswert der jeweiligen Pflasterart (NKW), der das Verhältnis aus der aufgewendeten Arbeitszeit und der aufgemessenen Leistung ist, beinhaltet alle den Zeitwert charakterisierenden Anteile und bildet den Vergleichswert. Der GZW wurde aus der Multimomentaufnahme nach Formel 8 und Formel 9 abgeleitet und bildet die Basis zur Berechnung des erwarteten Soll-Zeitwertes (ESZW) nach Formel 17.

Die jeweilig zu den Zeitwerten gehörenden Einflüsse sind sowohl dem Baustellenberichtswesen als auch den Notierungen der Multimomentaufnahme entnommen. Die zum Zeitwert gehörenden Einflüsse lassen eine Zuordnung dieser entsprechend der Kombination und Ausprägung ihrer Einflüsse zu den Stufen der Nutzleistungs- bzw. Korrekturfaktoren zu, so dass demgemäß Tabellenwerte ablesbar sind. Da nur Beobachtungen für sehr gute Baustellenbedingungen erfasst wurden, ergeben sich für den Nutzleistungsfaktor f_E aus Hoffmann, die daraus über eine Regression abgeleiteten Nutzleistungsfaktoren $f_{E(R)}$ und den für lohnintensive Arbeiten ermittelten Korrekturfaktoren k_E die in Tab. 47 zusammen gefassten und für den Vergleich verwendeten Faktoren:

Tab. 47 Nutzleistungsfaktoren und Korrekturfaktoren für den Vergleich (sehr gute BB) in Tab. 48

Baustellenbedingungen (BB) sehr gut			
Faktoren zur Angleichung des GZW	Betriebs-/Umfeldbedingung (BUB)		
	sehr gut	gut	sehr gut, mittel
f_E ^{*1}	1,0600	1,0900	1,1400
$f_{E(R)}$ ^{*2}	1,0807	1,0984	1,1161
k_E ^{*3}	1,0572	1,0726	1,0880

*1 f_E nach Hoffmann [55 S.584]

*2 Werte auf Regressionsgeraden $f_{E(R)}$ beruhend

*3 k_E Korrekturfaktor lohnintensive Arbeiten

Nachfolgend wird geprüft, inwieweit sich die zu erwartenden Soll-Zeitwerte (ESZW) im Mittel unterscheiden (Tab. 48). Es werden jeweils die Gesamtmittelwerte der Zeitwerte für Betonpflaster entsprechend der Einflüsse betrachtet.

Tab. 48 Vergleich der verschiedenen ermittelten Zeitwerte der Verlegemaschine (Hydromak Vario 2000) für sehr gute Baustellenbedingungen

Betriebs-/ Umfeldbedingungen (BUB)	NKW ^{*1}	IGZW	ESZW f_E ^{*2}	Δ NKW ESZW f_E	ESZW $f_{E(R)}$ ^{*3}	Δ NKW ESZW $f_{E(R)}$	ESZW k_E ^{*4}	Δ NKW ESZW k_E
sehr gut	0,0409	0,0327	0,0382	-5,99%	0,0389	-4,15%	0,0380	-6,24%
gut	0,0448	0,0360	0,0432	-3,33%	0,0435	-2,64%	0,0425	-4,87%
mittel	0,0365	0,0293	0,0368	+4,67%	0,0360	-4,06%	0,0351	-3,40%

^{*1} Der NKW ist der Mittelwert der tatsächlich auf den Baustellen ermittelten Werte.

^{*2} f_E nach Hoffmann [55 S.584]

^{*3} Werte der Regressionsgeraden $f_{E(R)}$

^{*4} k_E Korrekturfaktor lohnintensive Arbeiten

Aus Tab. 48 ist ersichtlich, dass die beste Übereinstimmung zwischen dem erwarteten Soll-Zeitwert (ESZW) und dem Nachkalkulationswert (NKW) bei Verwendung der über die Regression gebildeten Nutzleistungsfaktoren $f_{E(R)}$ besteht, da zwischen diesen die geringsten Abweichungen nachzuweisen sind. Es folgt aus dem Vergleich der ermittelten ESZW maschinenintensiver Arbeiten, dass die Angleichung der Grundleistung (Q_B) durch die über die Regressionsgerade der Nutzleistungsfaktoren f_E berechneten $f_{E(R)}$ realitätsnäher ist. Der über dem NKW liegende ESZW f_E für mittlere Betriebs- und Umfeldbedingungen verdeutlicht dies. Die mit dem Faktor $f_{E(R)}$ berechneten ESZW unterscheiden sich am wenigsten von der tatsächlichen Wirkung der auf den Baustellen aufgetretenen Einflüsse.

Gleichzeitig zeigt der ESZW bei Verwendung des ursprünglich für lohnintensive Arbeiten ermittelten Korrekturfaktors k_E ebenfalls nur eine geringe Abweichung. Die für sehr gute Baustellenbedingungen und sehr gute sowie gute Betriebs-/Umfeldbedingungen insgesamt höchsten Abweichungen erklären sich aus dem geringeren Faktorwert k_E , der die Aussagen in Abb. 31 in 5.4.1 hinterlegt.

Bei Betrachtung der verschiedenen zu erwartenden Soll-Zeitwerte (ESZW) sind niedrigere Zeitwerte ermittelt worden. Damit wäre eine höhere Leistung, als tatsächlich über die Nachkalkulation ermittelt, zu erwarten. Dies ist darin begründet, dass im NKW auch die Zeitanteile enthalten sind, die mittels Multimomentaufnahme als nicht gerechtfertigte Teiltätigkeiten identifiziert und nicht in die Berechnung des GZW einbezogen wurden (vgl. 3.4.4.1).

Des Weiteren verdeutlicht die nachgewiesene Varianz der prognostizierten Zeitwerte, dass bei Zeitvorgaben vom Unternehmen für auszuführende Tätigkeiten eine Nichtberücksichtigung der für den Auftrag zu erwartenden Einflüsse u. U. zu Fehleinschätzungen führt und damit zu zu hoch bzw. zu niedrig angesetzten Ausführungszeiten. Flexibel gestaltete Vorgabewerte wirken positiv auf das Baustellenergebnis. Eine Grundlage dafür sind die GZW als Stammdaten des Unternehmens, die mit Hilfe der Zuschlagsfaktoren berechnet werden können – sowohl für lohnintensive als auch maschinengeprägte Arbeiten. Um Fehlvorgaben zu vermeiden, ist es

wirtschaftlich, auch Vorgabewerte den zu erwartenden Bedingungen auf der Baustelle anzupassen.

5.5 Einschätzung der Wirtschaftlichkeit der entwickelten Methode

Grundsätzlich ist die Ermittlung firmenspezifischer Zeitdaten im Bauunternehmen, neben der üblich angewandten Nachkalkulation immer mit Zeit- und damit mit einem zusätzlichen Kostenaufwand verbunden. Die am Beispiel von Pflasterarbeiten entwickelte Methode zur Quantifizierung von Einflüssen lohnintensiver Arbeiten zeichnet sich durch die Bildung der Korrekturfaktoren k_E entsprechend der variablen Einflüsse der Baustelle, des Umfeldes und des Betriebes sowie die Festlegung des Faktors für den persönlichen Verteil- und Erholzeitanteil k_{er} aus. Diese ergeben zusammen mit einem speziell für den auszuführenden Vorgang abgeleiteten Grundzeitwert den Soll-Zeitwert.

Die Methode der Quantifizierung der Einflüsse und die daraus entwickelte Verfahrensweise zur Berechnung des SZW wird prinzipiell für jede lohnintensive Arbeit als anwendbar eingeschätzt (vgl. 4.4.4, 5.2, 5.3). Einzige Voraussetzung dafür ist die Bildung des Grundzeitwertes (GZW) des betrachteten Vorgangs, der dem Unternehmen langfristig als Stammdatum zur Verfügung steht. Die Sicherheit der Verwendung eines den tatsächlichen Gegebenheiten entsprechenden GZW ist jedoch nur gegeben, wenn dieser bei jedweder Veränderung der betrieblichen Ausführungsbedingungen (bspw. langfristige Änderungen in der Kolonnenzusammensetzung) auf seine Aktualität überprüft wird. Dies lässt sich am einfachsten mittels einer Multimomentaufnahme umsetzen, weil es durch diese möglich ist, die verschiedenen Zeitanteile eindeutig zu erfassen und daraus einen GZW abzuleiten.

Die Problematik der entwickelten Methode zur Quantifizierung der Einflüsse und der damit verbundene Kostenaufwand liegen daher vor allem in der Erfassung der Daten auf der Baustelle (vgl. 5.3). Dem Vorteil, mittels Multimomentaufnahme die Größe der einzeln bei der Ausführung des Vorgangs aufgetretenen Zeitanteile leicht zu erfassen, steht der Nachteil der erforderlichen Beobachtungsdauer zur Erreichung statistisch gesicherter Aussagen und der Einsatz von zusätzlichem Beobachtungspersonal bzw. die Anschaffung entsprechender Erfassungsgeräte gegenüber.

Die in den vergangenen Jahren für die Durchführung von Multimomentaufnahmen entwickelten elektronischen Erfassungsgeräte und die dazugehörige Auswertungssoftware⁸¹ ermöglichen eine realitätsnahe digitale Erfassung der Baustellenbedingungen und reflektieren die gegebene Situation auf einer Baustelle zu einem

⁸¹ Softwareprodukte sind beispielsweise OrtimMulti PDA (vgl. REFA-Nachrichten 5/2000 [118] sowie Produktinformation der Ortim Industrial Engineering Deutschland GmbH <http://www.ortim.de> (08/2007)) oder auch DATAPAC (vgl. Studienarbeit Adelhoch, S.; Erol, D. A., Rechnergestützte Multihäufigkeitsstudien, Fachhochschule Karlsruhe [2])

bestimmten Zeitpunkt sehr genau. Kiziltas [67] folgert aus seiner Untersuchung, dass damit humane Fehlermöglichkeiten bei der Erfassung weitestgehend ausgeschlossen werden und sich die Zuverlässigkeit der Daten erhöht. Im Ergebnis seiner Untersuchung [67] stellte er beispielsweise für die Arbeitsdokumentation durch das baustelleneigene Personal eine zu 99% fehlende Einflussgrößendokumentation fest, welche die Ableitung realitätsnaher Zeitwerte unmöglich macht. Dies zeigt, dass die Verlagerung der Ermittlung von Zeitdaten direkt in den produktiven Bereich mit großen Unsicherheiten verbunden ist und die Verwendung elektronischer Komponenten eine Sicherheit bietet.

Dennoch wurde in vorliegender Untersuchung auf den Einsatz elektronischer Erfassungsgeräte verzichtet, da die Anschaffung sowie die notwendige Software die vorgesehenen Kosten der Untersuchung überstiegen hätten. Zudem ist für die Multimomentaufnahme ein externer, konkret für die Aufgabenstellung eingesetzter Beobachter aufgrund seiner hohen Flexibilität und Anpassungsfähigkeit an unter Umständen kurzfristig geänderte Aufnahmebedingungen, erfahrungsgemäß nur schwierig zu ersetzen.

Trotz der genannten Nachteile und der damit verbundenen Unsicherheiten verursacht die Multimomentaufnahme im Vergleich zu anderen Möglichkeiten der Zeitmessung durch Dritte einen um ca. 40 bis 70% geringeren zeitlichen Aufwand [133] und wird „zur wirtschaftlichen Bestimmung von Durchführungszeiten oder Häufigkeiten von unregelmäßig anfallenden, längeren, extern unmittelbar beobachtbaren Prozessen als durchaus geeignet eingestuft“ [133 S.148].

Die am Beispiel von Pflasterarbeiten verifizierten Korrekturfaktoren k_E bieten in Kombination mit einem für die Kolonne und den auszuführenden Vorgang ermittelten GZW eine hohe Genauigkeit bei der Berechnung des zu erwartenden SZW (vgl. 5.1.2). Der GZW lässt sich durch die Zuschlagsfaktoren k_E und k_{er} schnell und mit einer höheren Sicherheit auf die verschiedenen zu erwartenden Einflüsse und deren Kombinationen zukünftiger Baustellen anpassen. Die SZW sind somit eine sichere Grundlage für Planung und Steuerung der Prozesse im Unternehmen. Gleichzeitig sind sie als firmenspezifische Kalkulationsgrundlage im Vergleich zu anderen Ermittlungsmethoden von Zeitwerten (vgl. 2.3.2) realitätsnah.

Grundsätzlich sind die zu erwartenden Einflüsse, deren Ausprägungen und damit der zu wählende Faktor k_E nie in vollem Umfang vorherzusagen. Trotzdem ist es wirtschaftlicher, die Prognose eines zu erwartenden SZW auf einem speziell für das Unternehmen gesichert ermittelten GZW basieren zu lassen und auch die Größe der Anteile für die Verteil- und Erholzeiten aus statistisch gesicherten Analysen zu verwenden, als im Extremfall „nur“ grob zu schätzen. Die Folge aus nicht realitätsnahen Zeitwerten sind in der Angebotsphase offerierte Preise je Mengeneinheit, die in wirtschaftlich schwierigen Zeiten nicht konkurrenzfähig sind, so dass u.U. der

Anwendung und Diskussion der Ergebnisse

Zuschlagserfolg in Frage gestellt ist. Das Ergebnis eines Auftrages ist über die genaue Kenntnis der Dauer der einzelnen Vorgänge planbar. Somit bilden aus einer gesicherten Basis ermittelte Zeitwerte einen wichtigen Bestandteil der Steuerungs- und Planungsinstrumente im Bauunternehmen.

6 Schlussbetrachtung und Ausblick

Im Rahmen der durchgeführten Untersuchung wurde anhand empirisch ermittelter Daten am Beispiel lohnintensiver Pflasterarbeiten eine Methode zur Quantifizierung von Einflüssen auf lohnintensive Arbeiten entwickelt. Mit der daraus abgeleiteten Verfahrensweise gelingt es, durch die Bildung eines konkret auf das Unternehmen bezogenen Grundzeitwertes (GZW) und dessen Kombination mit quantifizierten Zuschlägen (k_E , k_{er}) einen realitätsbezogenen und unternehmensnahen Soll-Zeitwert (SZW) zu ermitteln. Durch die Anwendung der vordefinierten Zuschläge ist der Ermittlungsaufwand für das Unternehmen auf die Ableitung des GZW beschränkt und ermöglicht dem Bauunternehmen so die Schaffung einer aktuellen Datenbasis zur Ergänzung der firmeneigenen Stammdaten.

Die für die Analyse notwendigen Daten wurden mit Hilfe des mathematisch-statistischen Zeitermittlungsverfahrens der Multimomentaufnahme auf der Baustelle erfasst. Die daraus abgeleiteten Zeitdaten sind hinsichtlich ihrer Variation untersucht worden, wobei diese Rückschlüsse auf die Wirkung der Einflüsse zuließ. Es galt daher sowohl die Wirkung als auch die Einflüsse selbst zu identifizieren, aufzubereiten und zu nutzen. Die Multimomentaufnahme erwies sich für den Baubetrieb dabei als ein geeignetes Verfahren, denn durch diese ist eine getrennte Erfassung und Zuordnung der unterschiedlich auf das Arbeitsergebnis genutzten Zeitanteile möglich.

Die Grenzen der Multimomentaufnahme wurden jedoch in der für statistisch gesicherte Aussagen erforderlichen Beobachtungsmenge erkennbar. Nach Jörs [62] ist die Datenerfassung keine wertschöpfende Tätigkeit im ursprünglichen Sinn und daher nur zu rechtfertigen, wenn Kosten und Zeitersparnis quantitativ nachweisbar sind und diese positive Wirtschaftlichkeitseffekte hervorrufen. Der Datenaufnahme ist daher ein zeitlicher und damit finanzieller Rahmen gesetzt, da die Beobachtung im Hinblick auf ihre Wirtschaftlichkeit durchführbar bleiben muss. Diese Forderung zu erfüllen, wird vor allem bei größer werdender Vielfalt der zu quantifizierenden Einflüsse schwierig. So war in der durchgeführten Untersuchung die Bestimmung des Zuschlagswertes für die „technischen“ Parameter (TP(stufe)) nur mit einer wegen der Vielfältigkeit der Pflasterarbeiten, nicht ausreichenden statistischen Sicherheit möglich.

Es ist aus der Analyse zu schlussfolgern, dass der durch die „technischen“ Parameter geprägte GZW sowie dessen Variation alternativ besser durch andere Methoden und Verfahren erklärbar ist (beispielsweise kalkulatorisch). Diese sind jedoch im Rahmen dieser Analyse nicht näher untersucht worden. Auf die Bestimmung des in dieser Untersuchung theoretisch abgeleiteten Basis-Grundzeitwertes (BGZW) verbunden mit der Bestimmung von allgemein gültigen Zuschlagswerten für die „technischen“ Parameter (TP(stufe)) sollte zugunsten einer gesicherten Ausgangsbasis daher verzichtet werden. Für das eigentliche Ziel der Berechnung eines zu erwartenden SZW

(Vorgangsdauer) ist dies jedoch nicht relevant, denn der für den jeweiligen Vorgang aus der Multimomentaufnahme abgeleitete, statistisch gesicherte GZW ist Basis für dessen Berechnung. Als Ergebnis der Untersuchung ist somit die Multimomentaufnahme für die Ermittlung der Zeitanteile eines ausgeführten Vorgangs als geeignet einzustufen. Für die Bestimmung der Ursachen der Variation des GZW, die auf die „technischen“ Einflüsse zurückzuführen sind, sollten bei nicht ausreichender Datenmenge andere Ermittlungsmethoden ergänzend verwendet werden.

Bautechnologische Vorgänge sind wie alle sich in Raum und Zeit abspielenden realen Vorgänge durch Abläufe in Form von Zeitfunktionen beschreibbar. Diese Vorgänge werden durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst, deren Zeitfunktionen nur näherungsweise bestimmt werden können, so dass sich die Vorgänge bezüglich ihres Verhaltens auch nur durch angenäherte Funktionen erklären lassen. Grundsätzlich lässt die Komplexität der Bauabläufe eine exakte und vollständige Erfassung aller möglichen Einflüsse aus „technischen“ und wirtschaftlichen Gründen nicht zu. Zudem besteht zwischen den einzelnen Einflussgrößen eine Wechselwirkung, welche die eindeutige Zuordnung von Ursache und Wirkungen erschwert.

Der Nachweis, dass Zeitdaten einer großen Streuung unterliegen, wurde auch in dieser Untersuchung erbracht und in der Analyse für die Quantifizierung der Einflüsse genutzt. Der zugrunde liegende mathematische Ansatz, der die Werte am besten repräsentiert, ist aufgrund der Streuung nur schwer eindeutig zu finden. Auch in der durchgeföhrten Untersuchung stellte dies eine Schwierigkeit dar. Die Bestätigung der theoretisch angenommenen Einflüsse und deren Wirkungen erfolgte anhand der empirisch ermittelten Daten über eine Varianzanalyse, durch die nicht alle Einflüsse vollständig nachzuweisen waren. Dennoch wurden aufgrund der sachlogischen Überlegungen die theoretisch festgelegten Einflüsse als tatsächlich wirkend und damit für die Quantifizierung als ausschlaggebend vorausgesetzt. Die für die Analyse der Variation der Zeitdaten gebildeten Stufenmittelwerte (entsprechend der Kombinationsmöglichkeiten der Einflüsse) boten eine einfach handhabbare Möglichkeit, den Ermittlungsaufwand zu reduzieren und die Berechnung zu vereinfachen. Die in Kapitel 3 theoretisch entwickelte Methode zur Quantifizierung der Einflüsse lohnintensiver Arbeiten wurde anhand der empirischen Daten in Kapitel 4 nachgewiesen.

Die vergleichende Betrachtung der Ergebnisse verschieden ermittelter SZW in Kapitel 5 zeigt, dass sowohl die quantifizierten Zuschlagswerte und -faktoren als auch die Berechnung des GZW einen Genauigkeitsgewinn darstellen, denn die ermittelte Vorgangsdauer ist realitäts- und firmennah. Die quantifizierten Zuschläge sind gemäß der beschriebenen Verfahrensweise für jeden Baubetrieb anwendbar.

In der Vergangenheit wurden mehrfach Untersuchungen durchgeföhr, um die unterschiedlichen auf Bauarbeiten wirkenden Einflüsse zu bestimmen. Jedoch haben sich bisher keine konkret verbindlichen Lösungen oder Anwendungen dauerhaft

durchgesetzt. Die fortschreitende Entwicklung von Simulationsmodellen für baubetriebliche Fragestellungen fordert vielfältige und statistisch gesicherte Daten, auf denen sie basieren können. Die mit der entwickelten Methode quantifizierbaren Einflüsse auf lohnintensive Arbeiten unterstützen den Aufbau solcher Modelle. Die entwickelte Verfahrensweise zur Bestimmung von SZW sowie die Methode der Quantifizierung der Wirkung der Einflüsse bietet auf Grundlage der Multimomentaufnahme in Kombination mit beispielsweise einem Simulationsmodell die Basis der Entwicklung eines flexiblen Instrumentariums, welches die Vorteile einer anerkannten Methodik bewahrt und andererseits den neuen Gegebenheiten und Entwicklungsrichtungen Rechnung trägt.

Inwieweit die Zuschlagsfaktoren der Verteil- und Erholzeit auch für die von lohnintensiven Pflasterarbeiten verschiedenen Vorgänge anwendbar sind, ist in Folgeuntersuchungen zu prüfen, da dafür andere variable Einflüsse in unterschiedlicher Form und Wichtung wirken können. In jedem Fall sind die Einflüsse und deren Wirkung immer auf den jeweilig zu beobachtenden Vorgang zu spezifizieren.

Anhang

A Anhang

A.1 Multimomentaufnahme

A.1.1 Ablaufartendefinition

Anhang Tab. 1 Definition der Ablaufarten und Beschreibung der Teiltätigkeiten für Pflasterarbeiten

Ablaufart	Code	Beobachtung	Beschreibung
MH	140	Bett vorbereiten	Bettungssand / Mörtel auftragen, abziehen
	130	messen, schneiden, knacken	abmessen der Steine, zuschneiden mit Nassschneidegerät oder Kreissäge, knacken
	110	in Reihe	verlegen in Reihe, ohne größeren Aufwand
	111	in Bogen / Anschluss	durch Flächenzuschchnitt erhöhter Aufwand
	120	einschlämmen, ausfugen, abdecken, abrammen	Fugensand, Fugenmörtel einbringen, Verfugen allgemein, ausrichten der verlegten Steine, abrammen
MN	200	abstecken	abstecken, Einmessen der Arbeitsflächen
	210	Werkzeuge	Werkzeuge besorgen/wegbringen, Umbau der Geräte
	220	Transportvorgänge	Pflaster, Bett- und Fugensand innerhalb der Baustelle transportieren
	230	Anweisung/Info	Informationen für notwendigen Baufortschritt
	240	Vorbereitung der Steine	Vorsortierung und Palettenvorbereitung
	250	Schnurkante	Schnurkante nacharbeiten
MA	400	Ablauf bedingtes Warten	warten auf das Ende eines Arbeitsabschnittes der durch Kollegen oder Betriebsmittel bestimmt wird
MS	500	außerplanmäßiges Warten	schlechte Baustellenorganisation – Ausfallzeit durch fehlende Arbeitsmittel und Baustoffe
	520	verkehrsbedingte Unterbrechung	Arbeit durch Verkehr unterbrochen, Passanten u. ä.
	540	warten auf Infos	außerplanmäßiges Warten auf Information für Baufortschritt
MZ	300	Umsetzung Geräte/Material	durch gegeben Baustelleneinrichtung zusätzliche Umsetzungen notwendig
	310	Wartung Geräte	Auftanken, Reparatur
	320	Baufreimachung	Umsetzung von Bauzäunen, Schaffung Arbeitsfläche
	330	Mitarbeit in anderen Kolonnen*	nicht dem Aufgabenprofil entsprechende Arbeitsaufgabe (nicht gerechtfertigt)
MP	810	unterbrechen aus persönlichen Gründen	Bedürfnis, Arbeitskleidungswechsel
	800	Weg	Weg vom Arbeitsplatz zum Pausenplatz
	830	verspäteter Arbeitsbeginn*	Unpünktlichkeit (nicht gerechtfertigt)
	840	Privatgespräche*	Gespräche, die über die natürliche Erholungszeit hinausgehen, unbegründete Untätigkeit (nicht gerechtfertigt)
	850	Zigarettenpause*	Zigarettenpause (nicht gerechtfertigt)
ME	700	Erholung	Erholung aufgrund des Arbeitsablaufes bzw. der herrschenden Bedingungen, kurze Gespräche innerhalb der Kolonne
MX	0	nicht erkennbar*	nicht erkenn- bzw. zuordenbare Tätigkeiten

*Diese Teiltätigkeiten zählen nicht zur regulären Arbeitszeit.

A.1.2 Aufnahmebogen

Anhang Abb. 1 Aufnahmebogen Multimomentaufnahme

B Anhang

B.1 Daten

B.1.1 Grubbs Ausreißer-Test

Anhang Tab. 2 Ausreißertest nach Grubbs

Ausreißertest nach Grubbs	h_g	h_v	h_{er}
verdächtiger Wert x_i	0,2041	0,7806	0,0153
Mittelwert	0,7743	0,1860	0,0397
Standardabweichung σ	0,3866	0,3609	0,0978
Berechnung der Differenz zwischen Prüfmerkmalergebnis und Mittelwert	-0,5702	0,5946	-0,0244
Berechnung der Prüfgröße	4,4253	4,9426	0,2495
Wert aus der Tabelle der Vergleichsgröße VG zum Grubbs-Test für 99% Sicherheit*	3,723	3,723	3,723
PG _{Grubbs} Vergleich mit Vergleichsgröße VG	PG _{Grubbs} >VG	PG _{Grubbs} >VG	PG _{Grubbs} <VG
Ergebnis	Ausreißer	Ausreißer	kein Ausreißer

*VG zum Ausreißertest nach Grubbs (DIN 32645, DIN 38402)

B.1.2 Normalverteilung

Kolmogorov-Smirnov- Test für eine Stichprobe [35]

Vor der Anwendung zahlreicher statistischer Verfahren muss die Voraussetzung normal verteilter Messwerte der Grundgesamtheit erfüllt sein. Diese Voraussetzung lässt sich anhand der untersuchten Stichprobe mit dem Kolmogoroff-Smirnoff-Test (KS-Test) durchführen. Es ist

$$\varphi = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{x - \mu}{\sigma} \right]^2}$$

die Wahrscheinlichkeitsdichte (d.h. Höhe) der Normalverteilung an der Stelle x auf der Merkmalsachse. Dann bezeichnet man

$$\Phi(x') = \int_{-\infty}^{x'} \varphi(\bar{x}) \cdot dx$$

den Anteil möglicherweise anfallender Messwerte in dem Bereich $-\infty < x \leq x'$. $\Phi(x')$ wird Wahrscheinlichkeitssumme oder Verteilungsfunktion genannt. Je besser der tatsächliche Anteil $F(x')$ und der theoretische Anteil $\Phi(x')$ übereinstimmen, umso näher liegt der Schluss, dass das untersuchte Merkmal normal verteilte Messwerte liefert. Der KS-Test beurteilt die maximal festgestellte Differenz zwischen $F(x')$ und $\Phi(x')$ für ein bestimmtes $x(i)$. Solange diese klein ausfällt, lässt sich die Behauptung, dass das untersuchte Merkmal normal verteilte Zeitmesswerte liefere, nicht widerlegen, so dass

die Voraussetzung der Normalverteilung als erfüllt angesehen werden kann. Ist die Differenz dagegen groß, ist darauf zu schließen, dass die Zeitwerte nicht unmittelbar, sondern eventuell daraus abgeleitete Werte normal verteilt sind (z.B. die Logarithmen) oder dass eine inhomogene Grundgesamtheit – eine so genannte Mischgesamtheit – Gegenstand der stichprobenmäßigen Untersuchung war.

Die in der Analyse untersuchten Teilmengen sind ebenfalls normal verteilt und ergaben durch den KS-Test, dass bei einem Signifikanzniveau von 5% ($\alpha=0,05$) der Wert für die asymptotische Wahrscheinlichkeit größer als 0,05 ist und damit zu einer Annahme der Hypothese H_0 (die untersuchten Werte sind normal verteilt) führt.

Die Untersuchung erfolgte mit Hilfe des Statistik-Programms SPSS 15.0.1 Sowohl die Gesamtdatenmenge als auch die in der Analyse betrachteten Teilmengen, entsprechend der Vorbetrachtungen im Hauptband, sind mittels KS-Test als normal verteilt bestätigt worden.

Da die analysierten Teilmengen partiell Beobachtungsanzahlen unter 50 Werten enthalten, wurde parallel entsprechend der Anzahl der jeweiligen Beobachtungsanzahl der Teilmengen zum KS-Test, der ab Datenmengen unter 50 keine zuverlässigen Ergebnisse mehr gewährleistet, der Shapiro-Wilk Test durchgeführt, der eine höhere Genauigkeit für kleinere Datenmengen besitzt. Dieser ergab jedoch keine abweichenden Ergebnisse, so dass auf eine zusätzliche Darstellung aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet wurde. Nachfolgend sind für die untersuchten Teilmengen jeweils die Nachweise für die Normalverteilung dargestellt.

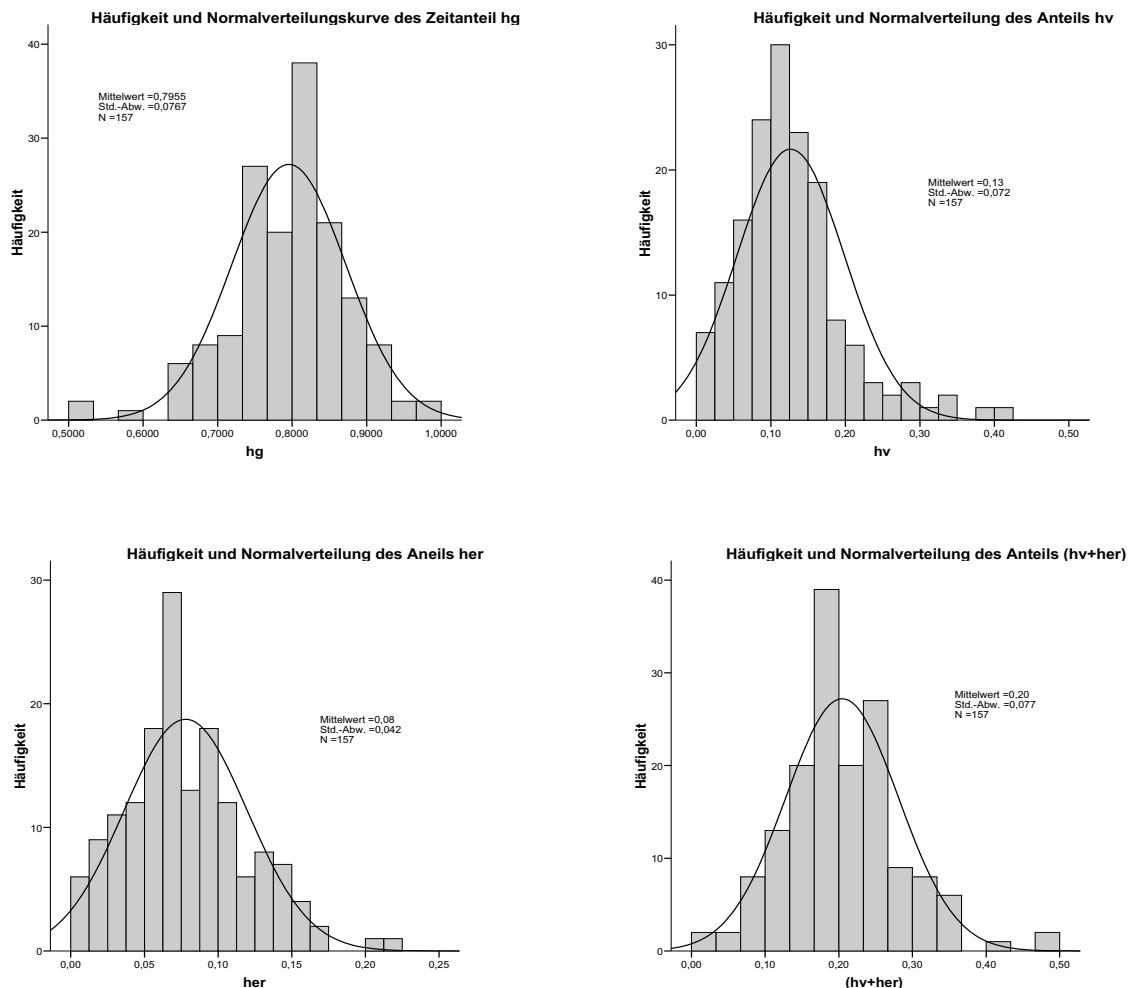
Test auf Normalverteilung Gesamtbeobachtungsdaten

Anhang Tab. 3 Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest alle Datensätze der Gesamtbeobachtung

		h_g	$k_E (h_v)$	$k_{er} (h_{er})$	$h_v + h_{er}$
N		157	157	157	157
Parameter der	Mittelwert	,795507	,126545	,077948	,204493
Normalverteilung ^(a,b)	Standardabweichung	,0767269	,0722886	,0417655	,0767269
Extremste Differenzen	Absolut	,076	,108	,071	,076
	Positiv	,036	,108	,071	,076
	Negativ	-,076	-,042	-,031	-,036
Kolmogorov-Smirnov-Z		,956	1,355	,885	,956
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,320	,051	,414	,320

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b Aus den Daten berechnet.



Anhang Abb. 2 Häufigkeit und Normalverteilungskurve der verschiedenen Zeitanteile (Gesamtbeobachtung)

Test auf Normalverteilung alle Datensätze (MG0)

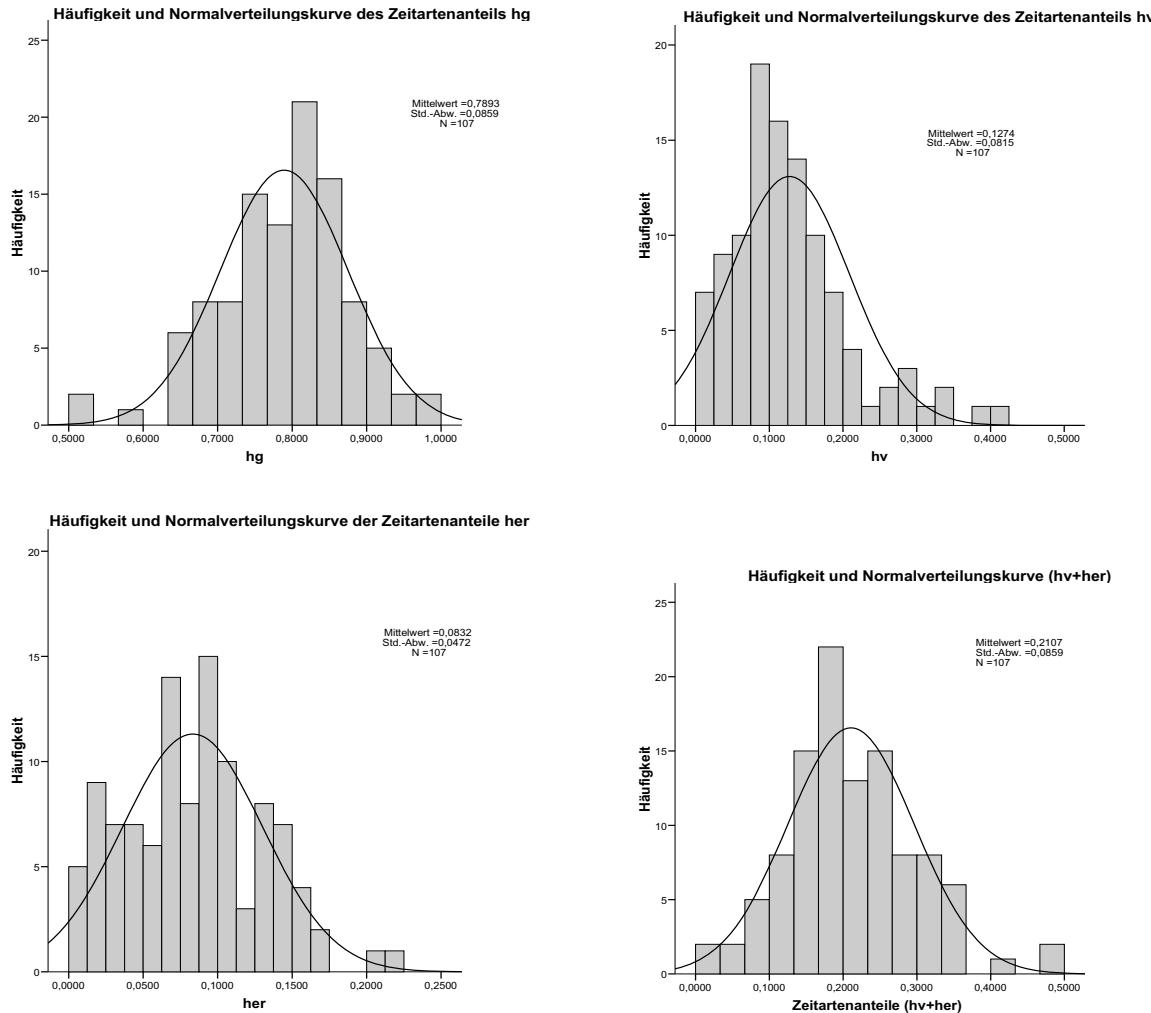
Anhang Tab. 4 Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest MG0 alle Datensätze

	h_g	$k_E (h_v)$	$k_{er} (h_{er})$	$h_v + h_{er}$
N	107	107	107	107
Parameter der Normalverteilung ^(a,b)	Mittelwert ,789344	,127439	,083217	,210656
	Standardabw. ,0859369	,0815128	,0471755	,0859369
Extremste Differenzen	Absolut ,077	,101	,055	,077
	Positiv ,044	,101	,055	,077
	Negativ ,077	,059	,039	,044
Kolmogorov-Smirnov-Z	,800	1,049	,570	,800
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,544	,221	,901	,544

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b Aus den Daten berechnet.

Anhang B Normalverteilung



Anhang Abb. 3 Häufigkeit und Normalverteilungskurve der verschiedenen Zeitartenanteile (MG0)

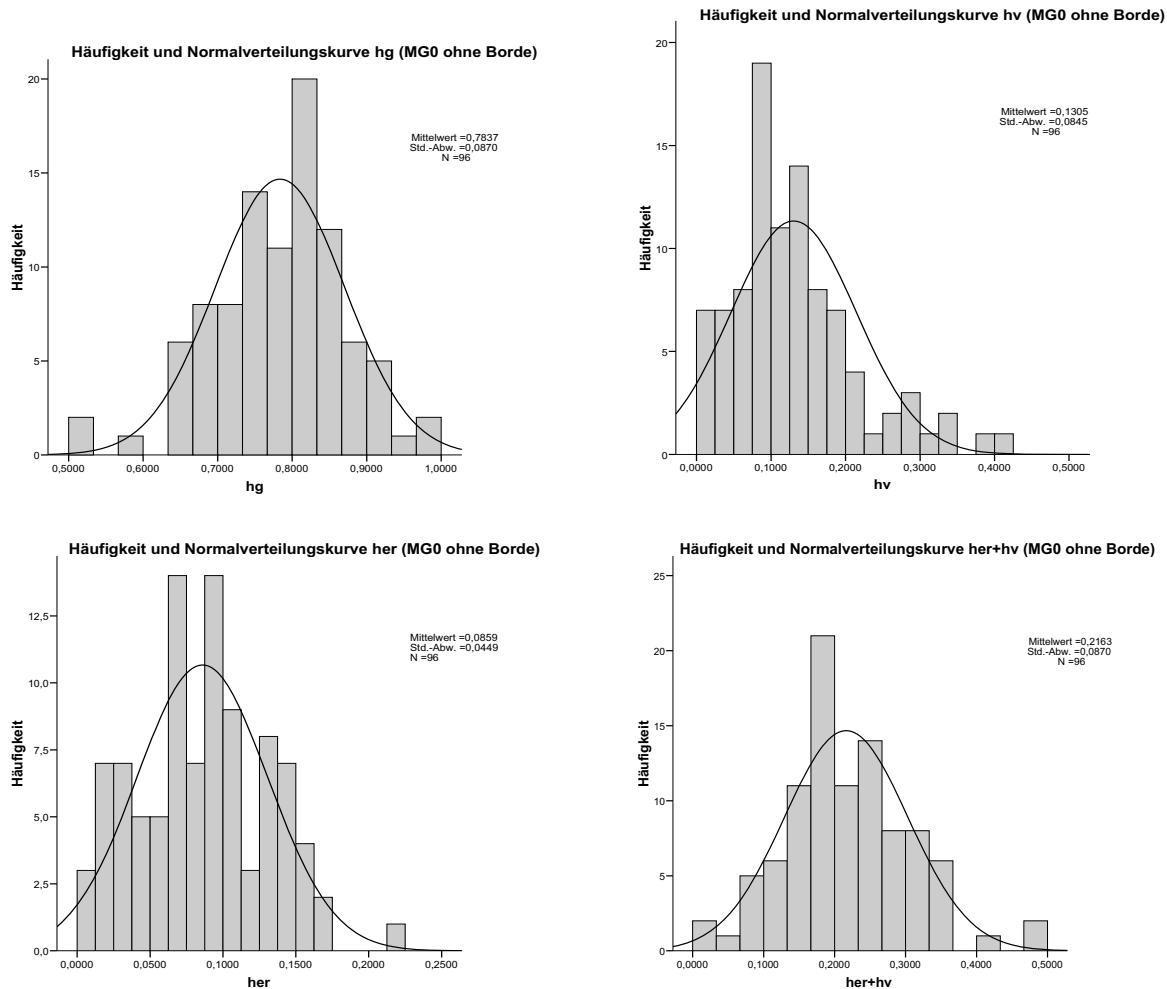
Test auf Normalverteilung Datensätze MG0 ohne Bordsetzarbeiten

Anhang Tab. 5 Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest Datensätze (MG0) ohne Borde

	h_g	$k_E (h_v)$	$k_{er} (h_{er})$	$h_v + h_{er}$
N	96	96	96	96
Parameter der Normalverteilung ^(a,b)	Mittelwert ,783681 Standardabw. ,0870254	,130457 ,0844802	,085861 ,0448699	,216319 ,0870254
Extremste Differenzen	Absolut ,081 Positiv ,058 Negativ -,081	,114 ,114 -,061	,050 ,050 -,045	,081 ,081 -,058
Kolmogorov-Smirnov-Z	,798	1,121	,492	,798
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,547	,162	,969	,547

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b Aus den Daten berechnet.



Anhang Abb. 4 Häufigkeit und Normalverteilungskurve der verschiedenen Zeitartenanteile (MG0 ohne Borde)

Test auf Normalverteilung MG1 (Maschinenverlegung)

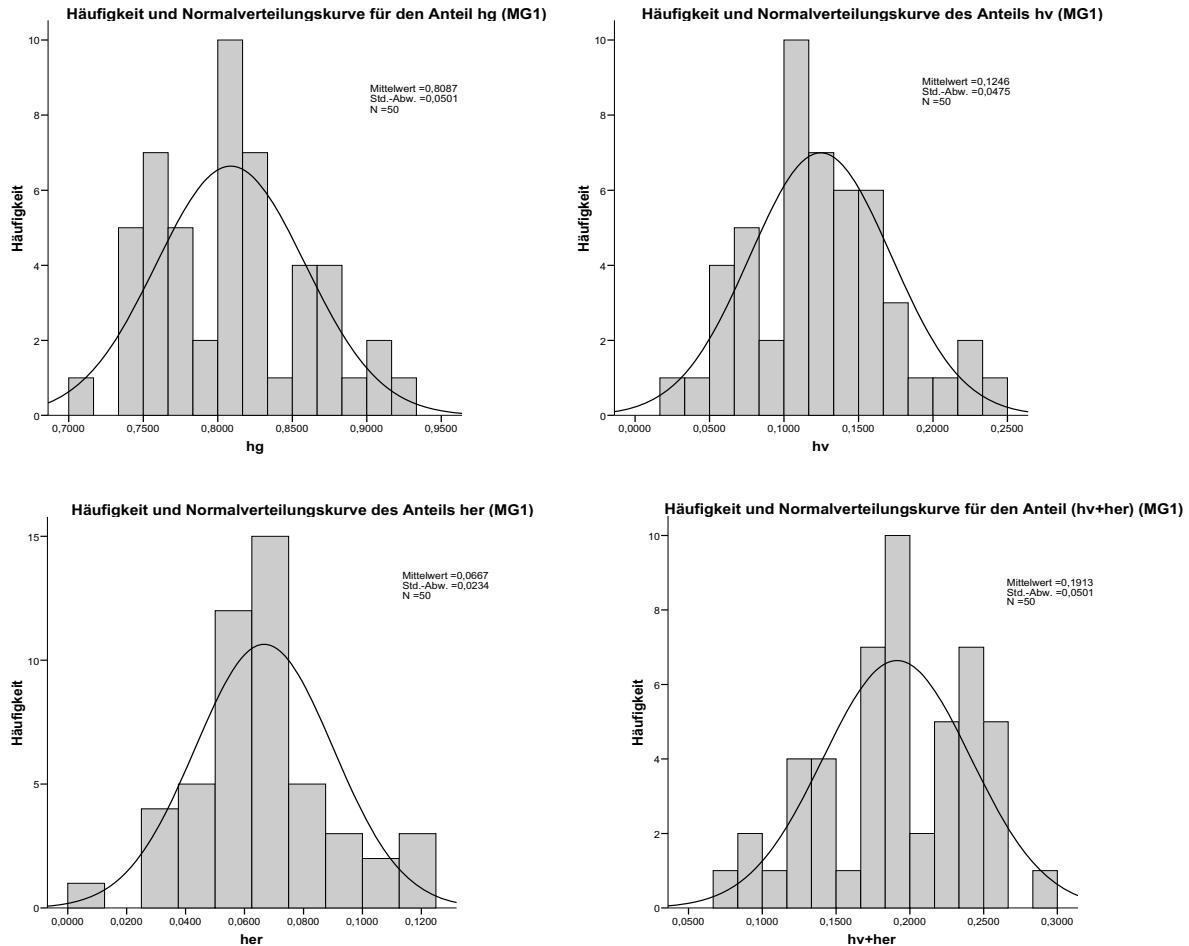
Anhang Tab. 6 Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest Datensätze (MG1)

		h _g	k _E (h _v)	k _{er} (h _{er})	h _v + h _{er}
N		50	50	50	50
Parameter der	Mittelwert	,808696	,124632	,066672	,191304
Normalverteilung ^(a,b)	Standardabweichung	,0500583	,0475164	,0234243	,0500583
Extremste Differenzen	Absolut	,093	,092	,114	,093
	Positiv	,093	,092	,114	,052
	Negativ	-,052	-,053	-,071	-,093
Kolmogorov-Smirnov-Z		,654	,652	,808	,654
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,785	,788	,532	,785

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b Aus den Daten berechnet.

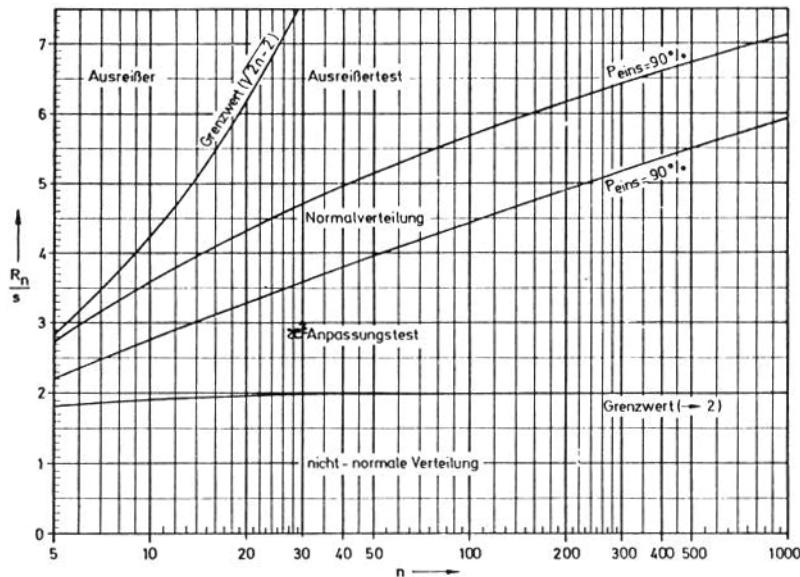
Anhang B Normalverteilung



Anhang Abb. 5 Häufigkeit und Normalverteilungskurve der verschiedenen Zeitartenanteile (MG1)

Schnelltest nach Pearson und Stephens

Bei dem von Pearson und Stephens entwickelten Schnelltest wird mit Hilfe der bekannten Spannweite und der Standardabweichung der Test auf Normalverteilung durchgeführt. Dazu wurde eine Grafik entwickelt (Anhang Abb. 6), auf der die errechnete Größe entsprechend der Anzahl der Beobachtungen in den jeweiligen Bereichen abgetragen wird. Es lassen sich aus dieser Grafik Aussagen zur Normalverteilung machen. Die Wahrscheinlichkeit der Aussage beträgt hierbei 90%.



Anhang Abb. 6 Schnelltest auf Normalverteilung nach Pearson/Stephens [109]

In Anhang Tab. 7 ist beispielhaft die Berechnung der Testgrößen der Anteile h_v für die verschiedenen Beobachtungsmengen dargestellt.

Anhang Tab. 7 Berechnung der Testwerte für die gesamten Datensätze der h_v Anteile nach Pearson / Stephens

	alle Daten	MG0	MG0 ohne Borde	MG1
Stichprobenumfang n	157	107	96	50
h_v (Min)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0276
h_v (Max)	0,4134	0,4134	0,4134	0,2483
$R = h_v(\text{Min}) - h_v(\text{Max})$	0,4134	0,4134	0,4134	0,2207
Standardabweichung σ	0,0723	0,0815	0,0845	0,0475
R/σ	5,7194	5,0717	4,8935	4,6475

Dieser Schnelltest ist auch für größere Datenumfänge anwendbar. Es kann also auch für die hier untersuchte Datenmenge eine normal verteilte Grundgesamtheit ermittelt werden. Damit bestätigt sich die zuvor durch den Kolmogorov-Smirnov-Test erhaltene Aussage.

B.1.3 Statistische Sicherheit

Anteil persönliche Verteil- und Erholzeit (h_{er})

Anhang Tab. 8 statistische Sicherheit aller Beobachtungsdaten für Anteil h_{er} (ohne Ausreißer)

		Beobachtungen n H_{er}	rel. Anteil h_{er} [%]	abs. f_{Soll} h_{er} [%]	abs. f_{ist} h_{er} [%]	statist. Sicherheit $f_{ist} < f_{soll}$	
Baustelle	1	317	4541	6,981	0,698	0,741	keine Sicherheit
	2	326	4469	7,295	0,729	0,762	keine Sicherheit
	3	949	9613	9,936	0,994	0,605	ok
	4	2256	31956	7,060	0,706	0,281	ok
	Gesamt	3832	50579	7,610	0,761	0,232	ok

Anhang Tab. 9 statistische Sicherheit aller Beobachtungsdaten für Anteil h_{er} (MG0)

		Beobachtungen n H_{er}	rel. Anteil h_{er} [%]	abs. f_{Soll} h_{er} [%]	abs. f_{ist} h_{er} [%]	statist. Sicherheit $f_{ist} < f_{soll}$	
Baustelle	1	317	4541	6,981	0,698	0,741	keine Sicherheit
	2	326	4469	7,295	0,729	0,762	keine Sicherheit
	3	933	9390	9,936	0,994	0,605	ok
	4	762	8751	8,708	0,871	0,591	ok
	Gesamt	2338	27151	8,611	0,861	0,334	ok

Anhang Tab. 10 statistische Sicherheit aller Beobachtungsdaten für Anteil h_{er} (MG0 ohne Borte)

		Beobachtungen n H_{er}	rel. Anteil h_{er} [%]	abs. f_{Soll} h_{er} [%]	abs. f_{ist} h_{er} [%]	statist. Sicherheit $f_{ist} < f_{soll}$	
Baustelle	1	310	4206	7,370	0,737	0,790	keine Sicherheit
	2	326	4469	7,295	0,729	0,762	keine Sicherheit
	3	894	9360	9,551	0,955	0,595	ok
	4	642	7052	9,104	0,910	0,671	ok
	Gesamt	2172	25087	8,658	0,866	0,348	ok

Anteil sachliche Verteilzeit (h_v)

Anhang Tab. 11 statistische Sicherheit aller Beobachtungsdaten für Anteil h_v (ohne Ausreißer)

		Beobachtungen n H_v	rel. Anteil h_v [%]	abs. f_{Soll} h_v [%]	abs. f_{ist} h_v [%]	statist. Sicherheit $f_{ist} < f_{soll}$	
Baustelle	1	482	4541	10,614	1,061	0,896	ok
	2	825	4469	18,461	1,846	1,138	ok
	3	1330	9613	14,189	1,419	0,698	ok
	4	3559	31956	11,137	1,114	0,345	ok
	Gesamt	6196	50579	12,304	1,230	0,287	ok

Anhang Tab. 12 statistische Sicherheit aller Beobachtungsdaten für Anteil h_v (MG0)

		Beobachtungen n		rel. Anteil	abs. f_{Soll}	abs. f_{ist}	statist. Sicherheit
		H_v	gesamt	h_v [%]	h_v [%]	h_v [%]	$f_{ist} < f_{soll}$
Baustelle	1	482	4541	10,614	1,061	0,896	ok
	2	825	4469	18,461	1,846	1,138	ok
	3	1330	9390	14,164	1,416	0,705	ok
	4	690	8751	7,885	0,788	0,565	ok
	Gesamt	3327	27151	12,254	1,225	0,390	ok

Anhang Tab. 13 statistische Sicherheit aller Beobachtungsdaten für Anteil h_v (MG0 ohne Borde)

		Beobachtungen n		rel. Anteil	abs. f_{Soll}	abs. f_{ist}	statist. Sicherheit
		H_v	gesamt	h_v [%]	h_v [%]	h_v [%]	$f_{ist} < f_{soll}$
Baustelle	1	439	4206	10,437	1,044	0,924	ok
	2	825	4469	18,461	1,846	1,138	ok
	3	1322	9360	14,124	1,412	0,706	ok
	4	508	7052	7,204	0,720	0,603	ok
	Gesamt	3094	25087	12,333	1,233	0,407	ok

Anteil Grundzeit (h_g)

Anhang Tab. 14 statistische Sicherheit aller Beobachtungsdaten für Anteil h_g (ohne Ausreißer)

		Beobachtungen n		rel. Anteil	abs. f_{Soll}	abs. f_{ist}	statist. Sicherheit
		H_g	gesamt	h_g [%]	h_g [%]	h_g [%]	$f_{ist} < f_{soll}$
Baustelle	1	3742	4541	82,405	8,240	1,108	ok
	2	3318	4469	74,245	7,424	1,282	ok
	3	7300	9613	75,939	7,594	0,855	ok
	4	26141	31956	81,803	8,180	0,423	ok
	Gesamt	40501	50579	80,075	8,007	0,348	ok

Anhang Tab. 15 statistische Sicherheit aller Beobachtungsdaten für Anteil h_g (MG0)

		Beobachtungen n		rel. Anteil	abs. f_{Soll}	abs. f_{ist}	statist. Sicherheit
		H_g	gesamt	h_g [%]	h_g [%]	h_g [%]	$f_{ist} < f_{soll}$
Baustelle	1	3742	4541	82,405	8,240	1,108	ok
	2	3318	4469	74,245	7,424	1,282	ok
	3	7127	9390	75,900	7,590	0,865	ok
	4	7299	8751	83,408	8,341	0,779	ok
	Gesamt	21486	27151	79,135	7,914	0,483	ok

Anhang B Statistische Sicherheit

Anhang Tab. 16 statistische Sicherheit aller Beobachtungsdaten für Anteil h_g (MG0 ohne Borde)

		Beobachtungen n		rel. Anteil h_g [%]	abs. f_{Soll} h_g [%]	abs. f_{ist} h_g [%]	statist. Sicherheit $f_{ist} < f_{soll}$
		H_g	gesamt				
Baustelle	1	3457	4206	82,192	8,219	1,156	ok
	2	3318	4469	74,245	7,424	1,282	ok
	3	7144	9360	76,325	7,632	0,861	ok
	4	5902	7052	83,693	8,369	0,862	ok
	Gesamt	19821	25087	79,009	7,901	0,504	ok

Anhang Tab. 17 statistische Sicherheit Beobachtungsdaten für Anteil h_g nach der Pflasterart alle Beobachtungen

		Beobachtungen n		rel. Anteil h_g [%]	abs. f_{Soll} h_g [%]	abs. f_{ist} h_g [%]	statist. Sicherheit $f_{ist} < f_{soll}$
		H_g	gesamt				
Betonpflaster	9243	11964	77,257	7,726	0,751	ok	
Betonplatten	5152	6511	79,128	7,913	0,987	ok	
Naturpflaster	5248	6434	81,567	8,157	0,947	ok	
Gesamt	19643	24909	78,859	7,886	0,507	ok	

Anhang Tab. 18 statistische Sicherheit für Anteil h_g nach der Pflasterart für Beobachtungstage an denen das Aufmaß Q>0

		Beobachtungen n		rel. Anteil h_g [%]	abs. f_{Soll} h_g [%]	abs. f_{ist} h_g [%]	statist. Sicherheit $f_{ist} < f_{soll}$
		H_g	gesamt				
Betonpflaster	5891	7449	79,084	7,908	0,924	ok	
Betonplatten	4834	6160	78,474	7,847	1,026	ok	
Naturpflaster	4718	5735	82,267	8,227	0,989	ok	
Gesamt	15443	19344	79,834	7,983	0,565	ok	

Statistische Sicherheit der einzelnen Ablaufarten (MG0)

Anhang Tab. 19 statistische Sicherheit der Ablaufarten (MG0) für Baustelle 1

		Baustelle 1		%	abs. f_{Soll} [%]	abs. f_{ist} [%]	statistische Sicherheit $f_{ist} < f_{soll}$
Zeitanteil	anteil	Beobachtung					
Zeitanteile	Mtg	3.742	82,40	8,24	1,11	ok	
	Mtv	546	12,02	1,20	0,95	ok	
	Mte	253	5,57	0,56	0,67	nein	
Ablaufartenanteile	MH	2.318	51,05	5,10	1,45	ok	
	MN	1.044	22,99	2,30	1,22	ok	
	MA	380	8,37	0,84	0,81	ok	
	MZ	340	7,49	0,75	0,77	nein	
	MS	142	3,13	0,31	0,51	nein	
	MP	64	1,41	0,14	0,34	nein	
	ME	253	5,57	0,56	0,67	nein	
	Gesamt	4.541					

Anhang Tab. 20 statistische Sicherheit der Ablaufarten (MG0) für Baustelle 2

		Baustelle 2				
		Beobachtung	%	abs. f _{Soll} [%]	abs. f _{ist} [%]	statistische Sicherheit f _{ist} <f _{soll}
Zeitarten-anteil Ablaufartenanteile	Mtg	3.318	66,59	6,66	1,38	ok
	Mtv	960	21,48	2,15	1,20	ok
	Mte	191	4,27	0,43	0,59	nein
	MH	1.545	31,01	3,10	1,28	ok
	MN	1.259	25,27	2,53	1,21	ok
	MA	514	10,32	1,03	0,84	ok
	MZ	482	9,67	0,97	0,82	ok
	MS	343	6,88	0,69	0,70	nein
	MP	135	2,71	0,27	0,45	nein
	ME	191	3,83	0,38	0,53	nein
Gesamt		4.469				

Anhang Tab. 21 statistische Sicherheit der Ablaufarten (MG0) für Baustelle 3

		Baustelle 3				
		Beobachtung	%	abs. f _{Soll} [%]	abs. f _{ist} [%]	statistische Sicherheit f _{ist} <f _{soll}
Zeitarten-anteil Ablaufartenanteile	Mtg	7.127	75,90	7,59	0,87	ok
	Mtv	1.576	16,78	1,68	0,76	ok
	Mte	687	7,32	0,73	0,53	ok
	MH	4.659	49,62	4,96	1,01	ok
	MN	1.998	21,28	2,13	0,83	ok
	MA	470	5,01	0,50	0,44	ok
	MZ	965	10,28	1,03	0,61	ok
	MS	365	3,89	0,39	0,39	nein
	MP	246	2,62	0,26	0,32	nein
	ME	687	7,32	0,73	0,53	ok
Gesamt		9.390				

Anhang Tab. 22 statistische Sicherheit der Ablaufarten (MG0) für Baustelle 4

		Baustelle 4				
		Beobachtung	%	abs. f _{Soll} [%]	abs. f _{ist} [%]	statistische Sicherheit f _{ist} <f _{soll}
Zeitarten-anteil Ablaufartenanteile	Mtg	7.299	83,41	8,34	0,78	ok
	Mtv	1.018	11,63	1,16	0,65	ok
	Mte	434	4,96	0,50	0,44	ok
	MH	4.760	54,39	5,44	1,01	ok
	MN	2.186	24,98	2,50	0,88	ok
	MA	353	4,03	0,40	0,40	ok
	MZ	487	5,57	0,56	0,46	ok
	MS	203	2,32	0,23	0,30	nein
	MP	328	3,75	0,37	0,38	nein
	ME	434	4,96	0,50	0,44	ok
Gesamt		8.751	100			

Anhang B Statistische Sicherheit

Anhang Tab. 23 statistische Sicherheit der Ablaufarten (MG0) für Gesamtbeobachtungen

		Gesamt				
		Beobachtung	%	abs. f_{Soll} [%]	abs. f_{ist} [%]	statistische Sicherheit $f_{ist} < f_{soll}$
Zeitarten-anteil	Mtg	21.486	79,14	7,91	0,48	ok
	Mtv	4.614	16,99	1,70	0,45	ok
	Mte	1.565	5,76	0,58	0,28	ok
Ablaufartenanteile	MH	13.282	48,92	4,89	0,59	ok
	MN	6.487	23,89	2,39	0,51	ok
	MA	1.717	6,32	0,63	0,29	ok
	MZ	2.274	8,38	0,84	0,33	ok
	MS	1.053	3,88	0,39	0,23	ok
	MP	773	2,85	0,28	0,20	ok
	ME	1.565	5,76	0,58	0,28	ok
	Gesamt	21.151	79,14	7,91	0,48	

Statistische Sicherheit der Ablaufarten für MG1

Anhang Tab. 24 statistische Sicherheit der Ablaufarten (MG1) der Beobachtung

		Gesamt				
		Beobachtung	%	abs. f_{Soll} [%]	abs. f_{ist} [%]	statistische Sicherheit $f_{ist} < f_{soll}$
Zeitarten-anteil	Mtg	19.015	83,41	8,34	0,48	ok
	Mtv	3.664	11,63	1,16	0,41	ok
	Mte	749	4,96	0,50	0,28	ok
Ablaufartenanteile	MH	11.656	49,75	4,98	0,64	ok
	MN	5.923	25,28	2,53	0,56	ok
	MA	1.436	6,13	0,61	0,31	ok
	MZ	2.773	11,84	1,18	0,41	ok
	MS	130	0,55	0,06	0,10	nein
	MP	761	3,25	0,32	0,23	ok
	ME	749	3,20	0,32	0,23	ok
	ME+MP	1.510	6,45	0,64	0,31	ok
	Gesamt	23.428	100,00			

B.1.4 Linearitätsnachweis

Linearitätsnachweis Pflastergruppe Betonplatten

Modellzusammenfassung

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
1	1,000(a)	1,000	1,000	,0001058

a Einflussvariablen: (Konstante), Technische Parameter
Koeffizienten(a)

Modell	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
	B	Standard-fehler	Beta		
1 (Konstante)	,059	,000		366,999	,002
Technische Parameter	,006	,000	1,000	86,413	,007

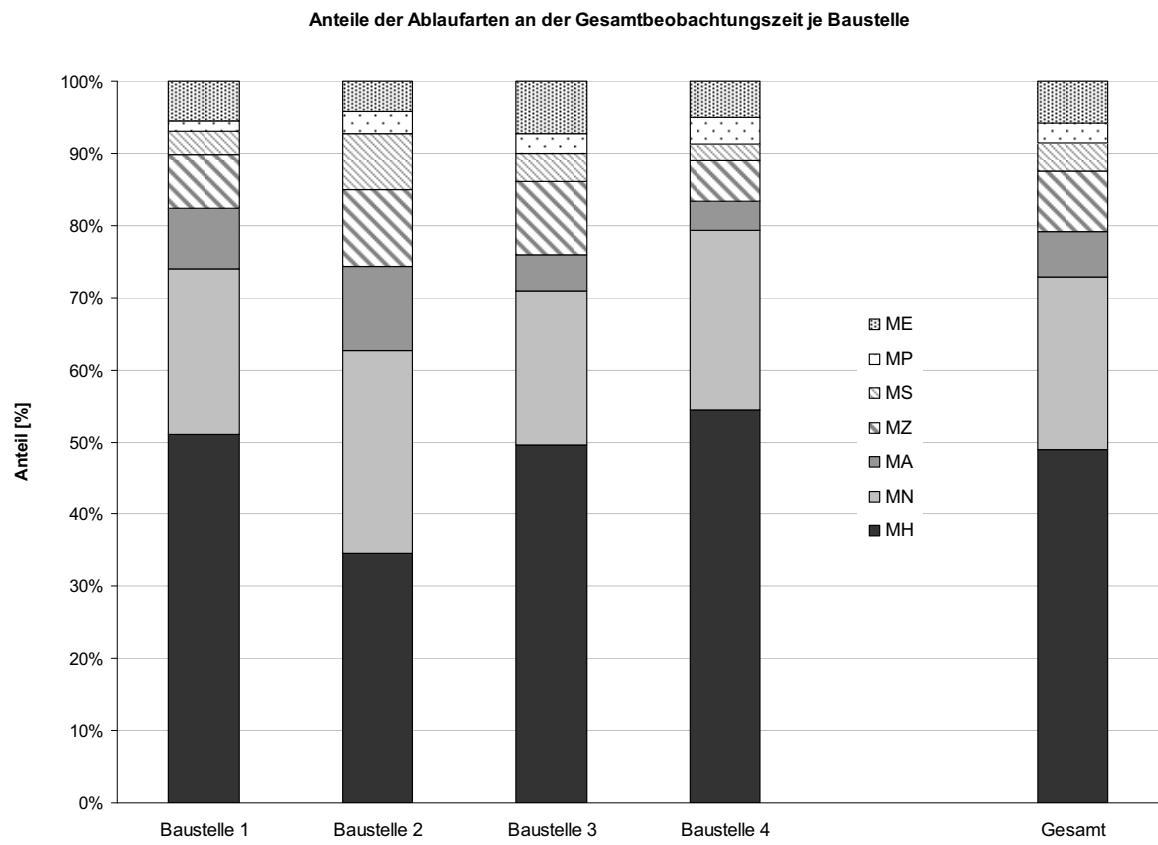
a Abhängige Variable: GZW(Betonplatten)

B.1.5 Zeitartenverteilung

Anhang Tab. 25 Zeitarten- und Ablaufartenanteile an der Gesamtarbeitszeit (MG0)

	Baustelle 1 h _x	Baustelle 2 h _x	Baustelle 3 h _x	Baustelle 4 h _x	Gesamt h _x	H _x [%]					
Zeitarten	t _g	3.742	82,40	3.318	74,24	7.127	75,90	7.299	83,41	21.486	79,14
	t _v	482	10,61	825	18,46	1.330	14,16	690	7,88	4.100	15,10
	t _{er}	317	6,98	326	7,29	933	9,94	762	8,71	1.565	5,76
Ablaufartenanteil	MH	2.318	51,05	1.545	34,57	4.659	49,62	4.760	54,39	13.282	48,01
	MN	1.044	22,99	1.259	28,17	1.998	21,28	2.186	24,98	6.487	23,45
	MA	380	8,37	514	11,50	470	5,01	353	4,03	1.717	6,21
	MZ	340	7,49	482	10,79	965	10,28	487	5,57	2.274	8,22
	MS	142	3,13	343	7,68	365	3,89	203	2,32	1.053	3,81
	MP	64	1,41	135	3,02	246	2,62	328	3,75	773	2,79
	ME	253	5,57	191	4,27	687	7,32	434	4,96	1.565	5,76
Gesamt	4.541	100	4.469	100	9.390	100	8.751	100	27.151	100	

Anhang B Zeitartenverteilung



Anhang Abb. 7 Grafische Darstellung der Ablaufartenverteilung auf den Beobachtungsbaustellen und Gesamt

C Anhang

C.1 Einflussgrößen

C.1.1 Witterung

Anhang Tab. 26 Wetterelemente und Behinderung der Bauarbeit während der Schlechtwetterzeit [18]

	A sehr schwer	B erschwert	C ungünstig beeinflusst
Lufttemperatur	Tagesmaximum <0°C und Tagesmaximum ≤-7°C	Tagesmaximum <0°C und Tagesminimum ≤-4° bis -6,9°C oder Tagesmaximum ≥0°C und Tagesminimum ≤-7°C	Tagesmaximum <0°C und Tagesminimum ≤0° bis -3,9°C oder Tagesmaximum ≥0°C und Tagesminimum <0 bis -6,9°C
24stündige Niederschlagsmenge (7 Uhr des Vortages bis 7 Uhr des Haupttages)	≥30mm	20 bis 29,9mm	-
Niederschlagsdauer (ND) in der Zeit von 7 bis 14 Uhr und Niederschlagsmenge (NM) in dieser Zeit	ND ≥ 3 Stunden und NM ≥ 4 mm oder ohne Rücksicht auf Dauer NM ≥ 15mm	ND ≥ 3 Stunden und NM 3 bis 3,9mm oder ohne Rücksicht auf Dauer NM 10 bis 14,9mm	ND ≥ 3 Stunden und NM 1 bis 2,9mm oder ohne Rücksicht auf Dauer NM 5 bis 9,9mm
Schneehöhe um 7 Uhr	≥40mm	30 bis 39cm	10 bis 29cm
Neuschneehöhe um 7 Uhr	≥20mm	10 bis 19cm	5 bis 9cm

C.1.2 Beschriebene Leistung

Anhang Tab. 27 Definition der beschriebenen Leistung

Material	Geometrie	Bauweise	BAS	Definition	Pfl_gr
Naturstein	Pflaster	ungebunden	80012300	Natursteinpflaster einf	3
			80012310	Natursteingroßpflaster einf	
			80012320	Natursteinkleinpflaster einf	
	gebunden		80012330	Natursteinpflaster porphy rot	3
	Mosaikpflaster	ungebunden	80012410	Mosaikpflaster	3
Betonstein	Pflaster	ungebunden	80012070	Betonstein Doppel-Waben rot	1
			80012080	Rasenfugenpflaster basalt/schiefergrau	
			80012140	Betonsteinpflaster 10 einf	2
			80012142	Splittbetonpflaster 10 basalt/schiefergrau	1
			80012150	Betonsteinpflaster 8 einf	2
			80012151	Betonsteinpflaster 8, sandfarben	1
			80012160	Betonsteinpflaster Natursplitt gelblich	
			80012190	Großsteinpflaster einf	
		gebunden	80012030	Betonsteinpflaster Tegola einf	1
			80012230	Betonpflaster (Gossenläufer)	
Betonstein	Platten	gebunden	80014030	Betonsteinplatten rot einf	4
		ungebunden	80014040	Betongehwegplatten einf	4
			80014050	Betonsteinplatten Natursplitt einf	
			80014060	Rasengitterplatten einf	
Beton	Borde	gesetzt	80010110	Bordstein Beton	5
			80010170	Rasenborde	
Naturstein	Borde	gesetzt	80010010	Bordstein Granit	nicht belegt
Beton	Rinnen	gebunden	80015010	Rinnensteine	5

C.1.3 Definition der Einflussgrößen in der Analyse

Anhang Tab. 28 Definition der Einflüsse für die Analyse

Gruppe	Codierung	Einteilung	Definition
Aufm_Gr	1	1	Platten in m ²
	2	2	Borde in m
	3	3	Unterbau
Bauw_Gr	1	u	Ungebunden
	2	g	Gebunden
	3	gs	Gesetzt
Verb_Gr	1	e	Einfach
	2	s	Schwierig
AK_Gr	1	1	≤ 3 Ak
	2	2	4 Ak
	3	3	5 Ak
	4	4	6 Ak
	5	5	7 Ak
	6	6	≥ 8 Ak
Pfl_Gr	0	0	$tg = 1$
	1	1	Betonsteinpflaster
	2	2	Betonsteinverbundpflaster
	3	3	Natursteinpflaster
	4	4	Betonsteinplatten
	5	5	Sonstige $tg < 1$
Mgrad	1	0 (MG0)	keine Mechanisierung
	2	100 (MG1)	Maschinenverlegung
BGrad	1	a	keine Behinderungen
	2	b	geringe Behinderungen
	3	c	mittlere Behinderungen
	4	d	hohe Behinderungen
Wett_Gr	1	F	Frühling
	2	S	Sommer
	3	H	Herbst
	4	W	Winter
AZ_Gr	1	1	≤ 4 h
	2	2	$>4 \leq 8$ h
	3	3	$>8 \leq 12$ h
SGrad	1	g (0,1)	gering
	2	m (0,2)	mittel
	3	h (0,3)	hoch
Baustelle	1	1	Saarplatz
	2	2	Südring
	3	3	Hauptbahnhof
	4	4	Hohe Düne
Material	1	1	Beton
	2	2	Natur
Geometrie	1	1	Pflaster
	2	2	Platten
	3	3	Borde

C.2 Betrachtung der Wirkung der Einflüsse

Die Definition der Einflüsse ist in Anhang Tab. 28 zu finden.

C.2.1 Ergebnisse der Signifikanzprüfung der Einflüsse auf den Grundzeitwert (GZW)

Mehrfaktorielle Varianzanalyse auf den GZW

Zwischensubjektfaktoren

		N
Pfl_Gr	1	28
	3	19
	4	24
AK_Gr	1	9
	2	8
	3	30
	4	11
	5	5
	6	8
Bauw_Gr	1	57
	2	14
Verb_Gr	1	39
	2	32
SGrad	,1	15
	,2	24
	,3	32

Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen(a)

Abhängige Variable: GZW

F	df1	df2	Signifikanz
1,689	38	32	,066

Prüft die Nullhypothese, dass die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a Design: Konstanter Term+Pfl_Gr+AK_Gr+Pfl_Gr * Bauw_Gr * Verb_Gr+Pfl_Gr * Verb_Gr * SGrad+Pfl_Gr * Bauw_Gr * Verb_Gr * SGrad

Tests der Zwischensubjekteffekte Abhängige Variable: GZW

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat	Nichtzentralitäts-Parameter	Beobachtete Schärfe(a)
Korrigiertes Modell	,223(b)	20	,011	3,622 125,625	,000	,592	72,450	,999
Konstanter Term	,387	1	,387		,000	,715	125,625	1,000
Pfl_Gr	,099	2	,050	16,074	,000	,391	32,148	,999
AK_Gr	,034	5	,007	2,221	,067	,182	11,106	,675
Pfl_Gr * Bauw_Gr * Verb_Gr	,041	4	,010	3,319	,017	,210	13,278	,805
Pfl_Gr * Verb_Gr * SGrad	,048	7	,007	2,241	,046	,239	15,688	,777
Pfl_Gr * Bauw_Gr * Verb_Gr * SGrad	,000	0	.	.	.	,000	,000	.
Fehler	,154	50	,003					
Gesamt	1,161	71						
Korrigierte Gesamtvariation	,378	70						

a Unter Verwendung von Alpha = ,05 berechnet

b R-Quadrat = ,592 (korrigiertes R-Quadrat = ,428)

Post-Hoc-Tests - Homogene Untergruppen

Pfl_Gr - GZW

Pfl_Gr	N	Untergruppe	
		2	1
Student-Newman-Keuls(a,b,c)	4	24	,072783
	1	28	,088537
	3	19	,170022
	Signifikanz		,340 1,000
Tukey-B(a,b,c)	4	24	,072783
	1	28	,088537
	3	19	,170022

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Basiert auf Typ III Quadratsumme

Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = ,003".

a Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 23,075

b Die Größen der Gruppen ist ungleich. Es wird das harmonische Mittel der Größe der Gruppen verwendet. Fehlerniveaus für Typ I werden nicht garantiert.

c Alpha = ,05

Post-Hoc-Tests - Homogene Untergruppen - AK_Gr -GZW

	AK_Gr	N	Untergruppe	
			2	1
Student-Newman-	6	8	,075716	
Keuls(a,b,c)	4	11	,076572	
	3	30	,101547	
	5	5	,102547	
	2	8	,143657	
	1	9	,144425	
	Signifikanz		,119	
Tukey-B(a,b,c)	6	8	,075716	
	4	11	,076572	
	3	30	,101547	
	5	5	,102547	
	2	8	,143657	
	1	9	,144425	

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Basiert auf Typ III Quadratsumme

Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = ,003".

a Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 8,755

b Die Größen der Gruppen ist ungleich. Es wird das harmonische Mittel der Größe der Gruppen verwendet. Fehlerniveaus für Typ I werden nicht garantiert.

c Alpha = ,05

C.2.2 Univariate Varianzanalyse auf die aufgemessene Leistung (Q(a,tag))

Mehrfaktorielle Varianzanalyse

Zwischensubjektfaktoren

		N
Pfl_Gr	1	28
	3	19
	4	24
AK_Gr	1	9
	2	8
	3	30
	4	11
	5	5
	6	8
Verb_Gr	1	39
	2	32
Bauw_Gr	1	57
	2	14
SGrad	,1	15
	,2	24
	,3	32

Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen(a)

Abhängige Variable: Q(a,tag)

F	df1	df2	Signifikanz
1,268	38	32	,248

Prüft die Nullhypothese, dass die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a Design: Konstanter Term+Pfl_Gr+AK_Gr+SGrad+Verb_Gr+Bauw_Gr+Pfl_Gr * AK_Gr+AK_Gr * Verb_Gr * SGrad+Verb_Gr * SGrad

Tests der Zwischensubjekteffekte - Abhängige Variable: Q(a,tag)

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat	Nichtzentralitäts-Parameter	Beobachtete Schärfe(a)
Korrigiertes Modell	143765,29	32	4492,665	4,364	,000	,786	139,642	1,000
0(b)	104403,74	1	104403,7	101,40	,000	,727	101,409	1,000
Konstanter Term	5		45	9				
Pfl_Gr	13802,989	2	6901,494	6,704	,003	,261	13,407	,893
AK_Gr	8261,585	5	1652,317	1,605	,182	,174	8,025	,498
SGrad	6037,757	2	3018,878	2,932	,065	,134	5,865	,538
Verb_Gr	1259,975	1	1259,975	1,224	,276	,031	1,224	,190
Bauw_Gr	992,674	1	992,674	,964	,332	,025	,964	,160
Pfl_Gr * AK_Gr	6343,782	4	1585,945	1,540	,210	,140	6,162	,430
AK_Gr * Verb_Gr * SGrad	41817,661	12	3484,805	3,385	,002	,517	40,618	,982
Verb_Gr * SGrad	10323,368	2	5161,684	5,014	,012	,209	10,027	,783
Fehler	39122,034	38	1029,527					
Gesamt	597556,00	71						
Korrigierte Gesamtvariation	182887,32	4						

a Unter Verwendung von Alpha = ,05 berechnet

b R-Quadrat = ,786 (korrigiertes R-Quadrat = ,606)

C.2.3 Univariate Varianzanalyse Grundzeitanteil (hg)

Mehrfaktorielle Varianzanalyse alle Einflüsse

Zwischensubjektfaktoren

		N
Pfl_Gr	1	47
	3	23
	4	26
AK_Gr	1	14
	2	8
	3	34
	4	16
	5	11
	6	13
Verb_Gr	1	59
	2	37
Bauw_Gr	1	80
	2	16
SGrad	,1	16
	,2	44
	,3	36

Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen(a)

Abhängige Variable: h_g

F	df1	df2	Signifikanz
,844	42	53	,714

Prüft die Nullhypothese, dass die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a Design: Konstanter Term+Pfl_Gr+AK_Gr+SGrad+Verb_Gr+Bauw_Gr+Pfl_Gr * AK_Gr+AK_Gr * Verb_Gr * SGrad

Tests der Zwischensubjekteffekte - Abhängige Variable: h_g

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat	Nichtzentralitäts-Parameter	Beobachtete Schärfe(a)
Korrigiertes Modell	,303(b)	34	,009	1,309 2077,5	,178	,422	44,495	,900
Konstanter Term	14,169	1	14,169 59		,000	,971	2077,559	1,000
Pfl_Gr	,015	2	,008	1,110	,336	,035	2,220	,236
AK_Gr	,087	5	,017	2,553	,037	,173	12,763	,755
SGrad	,003	2	,002	,245	,783	,008	,490	,087
Verb_Gr	,001	1	,001	,076	,784	,001	,076	,058
Bauw_Gr	,001	1	,001	,203	,654	,003	,203	,073
Pfl_Gr * AK_Gr	,013	4	,003	,485	,747	,031	1,941	,157
AK_Gr * Verb_Gr * SGrad	,134	15	,009	1,306	,227	,243	19,587	,720
Fehler	,416	61	,007					
Gesamt	59,678	96						
Korrigierte Gesamtvariation	,719	95						

a Unter Verwendung von Alpha = ,05 berechnet

b R-Quadrat = ,422 (korrigiertes R-Quadrat = ,099)

C.2.4 Univariate Varianzanalyse Verteilzeitanteil (h_v)**Einfaktorielle Varianzanalyse Einfluss Baustelle****Zwischensubjektfaktoren**

	N
Baustelle 1	22
2	18
3	40
4	27

Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen(a)Abhängige Variable: h_v

F	df1	df2	Signifikanz
5,541	3	103	,001

Prüft die Nullhypothese, dass die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a Design: Konstanter Term+Baustelle

Tests der Zwischensubjekteffekte - Abhängige Variable: h_v

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat	Nichtzentralitäts-Parameter	Beobachtete Schärfe(a)
Korrigiertes Modell	,143(b)	3	,048	8,785 307,383	,000	,204	26,354	,994
Konstanter Term	1,674	1	1,674		,000	,749	307,383	1,000
Baustelle	,143	3	,048	8,785	,000	,204	26,354	,994
Fehler	,561	103	,005					
Gesamt	2,442	107						
Korrigierte Gesamtvariation	,704	106						

a Unter Verwendung von Alpha = ,05 berechnet

b R-Quadrat = ,204 (korrigiertes R-Quadrat = ,181)

Post-Hoc-Tests - Mehrfachvergleiche keine Varianzgleichheit- Abhängige Variable: h_v

	(I)	(J)	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Signifikanz	95% Konfidenzintervall	
						Obergrenze	Untergrenze
Tamhane	1	2	-,079745	,0295406	,069	-,163692	,004202
		3	-,027757	,0178891	,559	-,076950	,021435
		4	,030820	,0173087	,404	-,017098	,078738
	2	1	,079745	,0295406	,069	-,004202	,163692
		3	,051988	,0282458	,387	-,029150	,133126
		4	,110565(*)	,0278819	,004	,030078	,191052
	3	1	,027757	,0178891	,559	-,021435	,076950
		2	-,051988	,0282458	,387	-,133126	,029150
		4	,058577(*)	,0149925	,001	,017879	,099276
	4	1	-,030820	,0173087	,404	-,078738	,017098
		2	-,110565(*)	,0278819	,004	-,191052	-,030078
		3	-,058577(*)	,0149925	,001	-,099276	-,017879
Dunnett-T3	1	2	-,079745	,0295406	,067	-,163301	,003811
		3	-,027757	,0178891	,546	-,076836	,021321
		4	,030820	,0173087	,392	-,016966	,078606
	2	1	,079745	,0295406	,067	-,003811	,163301
		3	,051988	,0282458	,367	-,028700	,132676
		4	,110565(*)	,0278819	,004	,030558	,190572
	3	1	,027757	,0178891	,546	-,021321	,076836
		2	-,051988	,0282458	,367	-,132676	,028700
		4	,058577(*)	,0149925	,001	,017942	,099213
	4	1	-,030820	,0173087	,392	-,078606	,016966
		2	-,110565(*)	,0278819	,004	-,190572	-,030558
		3	-,058577(*)	,0149925	,001	-,099213	-,017942

Basiert auf beobachteten Mittelwerten.

* Die mittlere Differenz ist auf der Stufe ,05 signifikant.

Mehrfaktorielle Varianzanalyse Baustelle, Pflasterart und Arbeitsperson

Zwischensubjektfaktoren

		N
Baustelle	1	22
	2	18
	3	40
	4	27
AKGR	1,00	18
	2,00	10
	3,00	37
	4,00	18
	5,00	11
	6,00	13
PFL_GR	1	47
	3	23
	4	26
	5	11

Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen(a)Abhängige Variable: h_v

F	df1	df2	Signifikanz
1,497	35	71	,076

Prüft die Nullhypothese, dass die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a Design: Intercept+BAUSTELL+AKGR_NEU+PFL_GR+BAUSTELL * AKGR_NEU+BAUSTELL * PFL_GR+AKGR_NEU * PFL_GR+BAUSTELL * AKGR_NEU * PFL_GR

Tests der Zwischensubjekteffekte - Abhängige Variable: h_v

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat	Nichtzentralitäts-Parameter	Beobachtete Schärfe(a)
Korrigiertes Modell	,298(b)	35	,009	1,484	,080	,422	51,940	,955
Intercept	,707	1	,707	123,388	,000	,635	123,388	1,000
BAUSTELL	,064	3	,021	3,695	,016	,135	11,085	,783
AKGR	,029	5	,006	1,009	,419	,066	5,047	,340
PFL_GR	,025	3	,008	1,444	,237	,058	4,332	,367
BAUSTELL * AKGR	,033	8	,004	,715	,677	,075	5,721	,305
BAUSTELL * PFL_GR	,046	4	,012	2,010	,102	,102	8,038	,575
AKGR * PFL_GR	,047	9	,005	,913	,519	,104	8,218	,416
BAUSTELL * AKGR * PFL_GR	,004	1	,004	,729	,396	,010	,729	,134
Fehler	,407	71	,006					
Gesamt	2,442	107						
Korrigierte Gesamtvariation	,704	106						

a Unter Verwendung von Alpha = ,05 berechnet

b R-Quadrat = ,422 (korrigiertes R-Quadrat = ,138)

Post-Hoc-Tests - Homogene Untergruppen - h_v

Baustelle	N	Untergruppe		
		1	2	3
Student-	4	27	,080604	
Newman-	1	22	,111424	,111424
Keuls(a,b,c)	3	40		,139181
	2	18		,191169
	Signifikanz		,158	,203
Tukey-B(a,b,c)	4	27	,080604	1,000
	1	22	,111424	,111424
	3	40		,139181
	2	18		,191169
Duncan(a,b,c)	4	27	,080604	
	1	22	,111424	,111424
	3	40		,139181
	2	18		,191169
	Signifikanz		,158	,203
				1,000

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt. Basiert auf Typ III Quadratsumme Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = ,006".

a Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 24,533

b Die Größen der Gruppen ist ungleich. Es wird das harmonische Mittel der Größe der Gruppen verwendet. Fehlerniveaus für Typ I werden nicht garantiert.

c Alpha = ,05

Mehrfaktorielle Varianzanalyse Baustelle, Arbeitsperson und Schwierigkeitsgrad

Flächenzuschnitt

Zwischensubjektfaktoren

		N
Baustelle	1	22
	2	18
	3	40
	4	27
AK_Gr	1	18
	2	10
	3	37
	4	18
	5	11
	6	13
SGrad	,1	16
	,2	55
	,3	36

Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen(a)Abhängige Variable: h_v

F	df1	df2	Signifikanz
1,475	33	73	,086

Prüft die Nullhypothese, dass die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a Design: Konstanter Term+Baustelle+AK_Gr+SGrad+Baustelle * AK_Gr+Baustelle * SGrad+AK_Gr * SGrad+Baustelle * AK_Gr * SGrad

Tests der Zwischensubjekteffekte - Abhängige Variable: h_v

Quelle	Quadrat-summe vom Typ III	df	Mittel der Quad-rate	F	Signifi-kanz	Partielles Eta-Quadrat	Nichtzen-tralitäts-Parameter	Beobach-tete Schärfe(a)
Korrigiertes Modell	,299(b)	33	,009	1,631	,042	,424	53,824	,971
Konstanter Term	,890	1	,890	160,268	,000	,687	160,268	1,000
Baustelle	,047	3	,016	2,831	,044	,104	8,493	,657
AK_Gr	,029	5	,006	1,055	,392	,067	5,274	,355
SGrad	,013	2	,006	1,133	,328	,030	2,266	,242
Baustelle * AK_Gr	,046	9	,005	,919	,514	,102	8,268	,420
Baustelle * SGrad	,042	4	,011	1,907	,118	,095	7,628	,550
AK_Gr * SGrad	,024	9	,003	,478	,885	,056	4,305	,218
Baustelle * AK_Gr * SGrad	,000	1	,000	,078	,780	,001	,078	,059
Fehler	,405	73	,006					
Gesamt	2,442	107						
Korrigierte Gesamtvaria-tion	,704	106						

a Unter Verwendung von Alpha = ,05 berechnet

b R-Quadrat = ,424 (korrigiertes R-Quadrat = ,164)

Post-Hoc-Tests - Homogene Untergruppen - h_v

Baustelle	N	Untergruppe		
		2	3	1
Student-Newman-Keuls(a,b,c)	4	27	,080604	
	1	22	,111424	,111424
	3	40		,139181
	2	18		,191169
	Signifikanz		,152	,196
Tukey-HSD(a,b,c)	4	27	,080604	1,000
	1	22	,111424	,111424
	3	40		,139181
	2	18		,191169
	Signifikanz		,474	,563
Duncan(a,b,c)	4	27	,080604	,078
	1	22	,111424	,111424
	3	40		,139181
	2	18		,191169
	Signifikanz		,152	,196
				1,000

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Basiert auf Typ III Quadratsumme

Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = ,006".

a Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 24,533

b Die Größen der Gruppen ist ungleich. Es wird das harmonische Mittel der Größe der Gruppen verwendet. Fehlerniveaus für Typ I werden nicht garantiert.

c Alpha = ,05

Einfaktorielle Varianzanalyse Behinderungsgrad

Zwischensubjektfaktoren

	N
BGrad 1 (a)	55
5 (b)	28
10 (c)	21
15 (d)	3

Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen(a)

Abhängige Variable: h_v

F	df1	df2	Signifikanz
,519	3	103	,670

Prüft die Nullhypothese, dass die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a Design: Konstanter Term+BGrad

Tests der Zwischensubjekteffekte - Abhängige Variable: h_v

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat	Nichtzentralitäts-Parameter	Beobachtete Schärfe(a)
Korrigiertes Modell	,069(b)	3	,023	3,707	,014	,097	11,120	,792
Konstanter Term	,523	1	,523	84,808	,000	,452	84,808	1,000
BGrad	,069	3	,023	3,707	,014	,097	11,120	,792
Fehler	,636	103	,006					
Gesamt	2,442	107						
Korrigierte Gesamtvariation	,704	106						

a Unter Verwendung von Alpha = ,05 berechnet

b R-Quadrat = ,097 (korrigiertes R-Quadrat = ,071)

Post-Hoc-Tests - Homogene Untergruppen - h_v

BGrad	N	Untergruppe	
		2	1
Student-Newman-Keuls(a,b,c)	15 (d)	3	,068490
	5 (b)	28	,113503
	1 (a)	55	,119285
	10 (c)	21	,175796
	Signifikanz		,352
			,210
Tukey-B(a,b,c)	15 (d)	3	,068490
	5 (b)	28	,113503
	1 (a)	55	,119285
	10 (c)	21	,175796
Duncan(a,b,c)	15 (d)	3	,068490
	5 (b)	28	,113503
	1 (a)	55	,119285
	10 (c)	21	,175796
	Signifikanz		,195
			,111

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Basiert auf Typ III Quadratsumme

Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = ,006".

a Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 9,199

b Die Größen der Gruppen ist ungleich. Es wird das harmonische Mittel der Größe der Gruppen verwendet. Fehlerniveaus für Typ I werden nicht garantiert.

c Alpha = ,05

C.2.5 Univariate Varianzanalyse Erholzeitanteil (h_{er})

Einfaktorielle Varianzanalyse Baustelle

Zwischensubjektfaktoren

	N
Baustelle 1	22
2	18
3	40
4	27

Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen(a)

Abhängige Variable: h_{er}

F	df1	df2	Signifikanz
1,288	3	103	,283

Prüft die Nullhypothese, dass die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a Design: Konstanter Term+Baustelle

Tests der Zwischensubjekteffekte - Abhängige Variable: h_{er}

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat	Nichtzentralitäts-Parameter	Beobachtete Schärfe(a)
Korrigiertes Modell	,038(b)	3	,013	6,489	,000	,159	19,468	,966
Konstanter Term	,609	1	,609	316,113	,000	,754	316,113	1,000
Baustelle	,038	3	,013	6,489	,000	,159	19,468	,966
Fehler	,198	103	,002					
Gesamt	,977	107						
Korrigierte Gesamtvariation	,236	106						

a Unter Verwendung von Alpha = ,05 berechnet

b R-Quadrat = ,159 (korrigiertes R-Quadrat = ,134)

Post-Hoc-Tests - Homogene Untergruppen - h_{er}

Baustelle		N	Untergruppe		
			2	3	1
Student-Newman-Keuls(a,b,c)	1	22	,051597		
	2	18	,072488	,072488	
	4	27		,090454	
	3	40		,100551	
	Signifikanz		,099	,069	
Tukey-B(a,b,c)	1	22	,051597		
	2	18	,072488	,072488	
	4	27		,090454	
	3	40		,100551	
Duncan(a,b,c)	1	22	,051597		
	2	18	,072488	,072488	
	4	27		,090454	,090454
	3	40			,100551
	Signifikanz		,099	,155	,422

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Basiert auf Typ III Quadratsumme

Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = ,002".

a Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 24,533

b Die Größen der Gruppen ist ungleich. Es wird das harmonische Mittel der Größe der Gruppen verwendet. Fehlerniveaus für Typ I werden nicht garantiert.

c Alpha = ,05

Einfaktorielle Varianzanalyse Witterung

Zwischensubjektfaktoren

	N
Wett_Gr 1	33
2	56
3	18

Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen(a)

Abhängige Variable: h_{er}

F	df1	df2	Signifikanz
,050	2	104	,951

Prüft die Nullhypothese, dass die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a Design: Konstanter Term+Wett_Gr

Tests der Zwischensubjekteffekte - Abhängige Variable: h_{er}

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat	Nichtzentralitäts-Parameter	Beobachtete Schärfe(a)
Korrigiertes Modell	,022(b)	2	,011	5,405	,006	,094	10,810	,835
Konstanter Term	,688	1	,688	335,018	,000	,763	335,018	1,000
Wett_Gr	,022	2	,011	5,405	,006	,094	10,810	,835
Fehler	,214	104	,002					
Gesamt	,977	107						
Korrigierte Gesamtvariation	,236	106						

a Unter Verwendung von Alpha = ,05 berechnet

b R-Quadrat = ,094 (korrigiertes R-Quadrat = ,077)

Post-Hoc-Tests - Homogene Untergruppen - h_{er}

Wett_Gr	N	Untergruppe	
		2	1
Student-Newman-Keuls(a,b,c)	2	56	,069525
	1	33	,096846
	3	18	,100829
	Signifikanz		1,000 ,739
Tukey-B(a,b,c)	2	56	,069525
	1	33	,096846
	3	18	,100829
Duncan(a,b,c)	2	56	,069525
	1	33	,096846
	3	18	,100829
	Signifikanz		1,000 ,739

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Basiert auf Typ III Quadratsumme

Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = ,002".

a Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 28,925

b Die Größen der Gruppen ist ungleich. Es wird das harmonische Mittel der Größe der Gruppen verwendet. Fehlerniveaus für Typ I werden nicht garantiert.

c Alpha = ,05

Einfaktorielle Varianzanalyse Pflasterart

Zwischensubjektfaktoren

	N
Pfl_Gr 1	47
3	23
4	26
5	11

Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen(a)

Abhängige Variable: h_{er}

F	df1	df2	Signifikanz
1,980	3	103	,122

Prüft die Nullhypothese, dass die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a Design: Konstanter Term+Pfl_Gr

Tests der Zwischensubjekteffekte - Abhängige Variable: h_{er}

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat	Nichtzentralitäts-Parameter	Beobachtete Schärfe(a)
Korrigiertes Modell	,020(b)	3	,007	3,166	,028	,084	9,498	,719
Konstanter Term	,554	1	,554	264,042	,000	,719	264,042	1,000
Pfl_Gr	,020	3	,007	3,166	,028	,084	9,498	,719
Fehler	,216	103	,002					
Gesamt	,977	107						
Korrigierte Gesamtvariation	,236	106						

a Unter Verwendung von Alpha = ,05 berechnet

b R-Quadrat = ,084 (korrigiertes R-Quadrat = ,058)

Post-Hoc-Tests - Homogene Untergruppen - h_{er}

Pfl_Gr	N	Untergruppe	
		2	1
Student-Newman-Keuls(a,b,c)	5	,060140	
	1	,076143	,076143
	4	,085982	,085982
	3		,105586
	Signifikanz	,171	,103
Tukey-B(a,b,c)	5	,060140	
	1	,076143	,076143
	4	,085982	,085982
	3		,105586
Duncan(a,b,c)	5	,060140	
	1	,076143	,076143
	4	,085982	,085982
	3		,105586
	Signifikanz	,089	,053

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Basiert auf Typ III Quadratsumme

Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = ,002".

a Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 20,605

b Die Größen der Gruppen ist ungleich. Es wird das harmonische Mittel der Größe der Gruppen verwendet. Fehlerniveaus für Typ I werden nicht garantiert.

c Alpha = ,05

C.2.6 Univariate Varianzanalyse Gesamtzeitanteil ($h_v + h_{er}$)

Einfaktorielle Varianzanalyse Baustelle

Zwischensubjektfaktoren

	N
Baustelle 1	22
2	18
3	40
4	27

Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen(a)

Abhängige Variable: $h_v + h_{er}$

F	df1	df2	Signifikanz
2,090	3	103	,106

Prüft die Nullhypothese, dass die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a Design: Konstanter Term+Baustelle

Tests der Zwischensubjekteffekte - Abhängige Variable: $h_v + h_{er}$

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat	Nichtzentralitäts-Parameter	Beobachtete Schärfe(a)
Korrigiertes Modell	,177(b)	3	,059	10,004	,000	,226	30,013	,998
Konstanter Term	4,302	1	4,302	730,892	,000	,876	730,892	1,000
Baustelle	,177	3	,059	10,004	,000	,226	30,013	,998
Fehler	,606	103	,006					
Gesamt	5,531	107						
Korrigierte Gesamtvariations	,783	106						

a Unter Verwendung von Alpha = ,05 berechnet

b R-Quadrat = ,226 (korrigiertes R-Quadrat = ,203)

Post-Hoc-Tests - Homogene Untergruppen - $h_v + h_{er}$

Baustelle	N	Untergruppe	
		2	1
Student-Newman-Keuls(a,b,c)	1	,163021	
	4	,171058	
	3		,239733
	2		,263657
	Signifikanz	,714	,277
Tukey-B(a,b,c)	1	,163021	
	4	,171058	
	3		,239733
	2		,263657
Duncan(a,b,c)	1	,163021	
	4	,171058	
	3		,239733
	2		,263657
	Signifikanz	,714	,277

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Basiert auf Typ III Quadratsumme

Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = ,006".

a Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 24,533

b Die Größen der Gruppen ist ungleich. Es wird das harmonische Mittel der Größe der Gruppen verwendet. Fehlerniveaus für Typ I werden nicht garantiert.

c Alpha = ,05

Einfaktorielle Varianzanalyse Witterung

Zwischensubjektfaktoren

	N
Wett_Gr 1	33
2	56
3	18

Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen(a)

Abhängige Variable: $h_v + h_{er}$

F	df1	df2	Signifikanz
1,164	2	104	,316

Prüft die Nullhypothese, dass die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a Design: Konstanter Term+Wett_Gr

Tests der Zwischensubjekteffekte - Abhängige Variable: $h_v + h_{er}$

Quelle	Quadrat-summe vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat	Nichtzentralitäts-Parameter	Beobachtete Schärfe(a)
Korrigiertes Modell	,079(b)	2	,040	5,846	,004	,101	11,692	,864
Konstanter Term	4,242	1	4,242	626,938	,000	,858	626,938	1,000
Wett_Gr	,079	2	,040	5,846	,004	,101	11,692	,864
Fehler	,704	104	,007					
Gesamt	5,531	107						
Korrigierte Gesamtvariation	,783	106						

a Unter Verwendung von Alpha = ,05 berechnet

b R-Quadrat = ,101 (korrigiertes R-Quadrat = ,084)

Post-Hoc-Tests - Homogene Untergruppen - $h_v + h_{er}$

Wett_Gr	N	Untergruppe	
		2	1
Student-Newman-Keuls(a,b,c)	2	56	,184709
	1	33	,238778
	3	18	,239822
	Signifikanz		1,000 ,962
Tukey-B(a,b,c)	2	56	,184709
	1	33	,238778
	3	18	,239822
Duncan(a,b,c)	2	56	,184709
	1	33	,238778
	3	18	,239822
	Signifikanz		1,000 ,962

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Basiert auf Typ III Quadratsumme

Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = ,007".

a Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 28,925

b Die Größen der Gruppen ist ungleich. Es wird das harmonische Mittel der Größe der Gruppen verwendet. Fehlerniveaus für Typ I werden nicht garantiert.

c Alpha = ,05

Einfaktorielle Varianzanalyse Pflasterart

Zwischensubjektfaktoren

		N
Pfl_Gr	1	47
	3	23
	4	26
	5	11

Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen(a)

Abhängige Variable: $h_v + h_{er}$

F	df1	df2	Signifikanz
1,491	3	103	,221

Prüft die Nullhypothese, dass die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a Design: Konstanter Term+Pfl_Gr

Tests der Zwischensubjekteffekte - Abhängige Variable: $h_v + h_{er}$

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat	Nichtzentralitäts-Parameter	Beobachtete Schärfe(a)
Korrigiertes Modell	,046(b)	3	,015	2,121	,102	,058	6,362	,527
Konstanter Term	3,294	1	3,294	460,215	,000	,817	460,215	1,000
Pfl_Gr	,046	3	,015	2,121	,102	,058	6,362	,527
Fehler	,737	103	,007					
Gesamt	5,531	107						
Korrigierte Gesamtvariation	,783	106						

a Unter Verwendung von Alpha = ,05 berechnet

b R-Quadrat = ,058 (korrigiertes R-Quadrat = ,031)

Post-Hoc-Tests - Homogene Untergruppen - $h_v + h_{er}$

Pfl_Gr	N	Untergruppe	
		2	1
Student-Newman-Keuls(a,b,c)	5	,161233	
	3	,194500	
	4	,217751	
	1	,226204	
	Signifikanz	,072	
Tukey-B(a,b,c)	5	,161233	
	3	,194500	
	4	,217751	
	1	,226204	
Duncan(a,b,c)	5	,161233	
	3	,194500	,194500
	4		,217751
	1		,226204
	Signifikanz	,210	,261

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Basiert auf Typ III Quadratsumme

Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = ,007".

a Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 20,605

b Die Größen der Gruppen ist ungleich. Es wird das harmonische Mittel der Größe der Gruppen verwendet. Fehlerniveaus für Typ I werden nicht garantiert.

c Alpha = ,05

C.2.7 Mittelwert und Medianbetrachtungen

Anhang Tab. 29 Median und Mittelwerte der GZW entsprechend der Einflüsse

Geometrie		Material		
Pflaster	Platten	Natur	Beton	
0,0804	0,0430	0,0778	0,0317	Standardabweichung σ
47	24	19	52	Anzahl Beobachtungen n
0,1215	0,0728	0,1700	0,0813	Mittelwert
0,2019	0,1158	0,2478	0,1129	obere Grenze Mittelwert
0,0411	0,0297	0,0923	0,0496	untere Grenze Mittelwert
0,1104	0,0642	0,1669	0,0642	Median
0,0230	0,0172	0,0350	0,0086	Vertrauensbereich bei S=95%
0,0302	0,0226	0,0460	0,0113	Vertrauensbereich bei S=99%

Verband		Bauweise		
einfach	schwierig	Regel	gebunden	
0,0845	0,0722	0,0617	0,0984	Standardabweichung
59	37	57	14	Anzahl Beobachtungen
0,1528	0,0948	0,0935	0,1519	Mittelwert
0,2373	0,1669	0,1552	0,2503	obere Grenze Mittelwert
0,0684	0,0226	0,0318	0,0536	untere Grenze Mittelwert
0,1395	0,0877	0,0665	0,1649	Median
0,0216	0,0233	0,0160	0,0515	Vertrauensbereich bei S=95%
0,0283	0,0306	0,0211	0,0677	Vertrauensbereich bei S=99%

Pflasterart			
Betonpflaster	Betonplatten	Naturpflaster	
0,0648	0,0430	0,0778	Standardabweichung
28	24	19	Anzahl Beobachtungen
0,0885	0,0728	0,1700	Mittelwert
0,1533	0,1158	0,2478	obere Grenze Mittelwert
0,0237	0,0297	0,0923	untere Grenze Mittelwert
0,0639	0,0642	0,1669	Median
0,0240	0,0172	0,0350	Vertrauensbereich bei S=95%
0,0315	0,0226	0,0460	Vertrauensbereich bei S=99%

D Anhang

D.1 Tabellen zu den mathematischen Grundlagen

Anhang Tab. 30 Übersicht und Bewertung wichtiger statistischer Methoden des Data Mining nach Schäfer [99]

Analyse-Methode	Art des Zusammenhangs	Geeignet für viele Variablen	Interpretierbarkeit	Nachvollziehbarkeit	Robustheit bei Datenmängeln	Typ der Fragestellung
Korrelationsanalyse	Bivariate statistische Signifikanz	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	Typ 1
Kontingenzanalyse	Bi- oder Multivariate stat. Signifikanz	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	Typ 2, 1
Varianzanalyse (einfach)	Bivariate statistische Signifikanz	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	Typ 1
Varianzanalyse (mehrfach)	Multivariate stat. Signifikanz	gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	Typ 3
Varianzanalyse (multiple)	Bivariat signif. bei zusätzl. Faktoren	i.d.R. nicht	beschränkt	i.d.R. nicht	gut	Typ 3
Kovarianzanalyse	Findet „innere“ gemeinsame Faktoren	beschränkt	sehr gut	beschränkt	sehr gut	Typ 1, 3
Faktorenanalyse	Modell multivariater Zusammenhänge	i.d.R. nicht	beschränkt	i.d.R. nicht	sehr gut	Typ 1, 3
Diskriminanzanalyse	Modell multivariater Zusammenhänge	i.d.R. nicht	gut	i.d.R. nicht	sehr gut	Typ 3, 2
Regressionsanalyse	Modell multivariater Zusammenhänge	beschränkt	sehr gut	gut	sehr gut	Typ 1
Statistische Clusteranalyse	Zugehörigkeit zu Cluster	beschränkt	beschränkt	beschränkt	beschränkt	Typ 5

Anhang Tab. 31 Prämisseverletzung des linearen Regressionsmodells vgl. Backhaus [3]

Prämisse	Prämisseverletzung	Konsequenz
Linearität in den Parametern	Nichtlinearität	Verzerrung der Schätzwerte
Vollständigkeit des Modells (alle relevanten Variablen)	Unvollständigkeit	Verzerrung der Schätzwerte
Homoskedastizität der Störgröße	Heteroskedastizität	Ineffizienz
Unabhängigkeit der Störgröße	Autokorrelation	Ineffizienz
Keine lineare Abhängigkeit der unabhängigen Variablen	Multikollinearität	Verminderte Präzision der Schätzwerte
Normalverteilung der Störgrößen	Nicht normal verteilt	Ungültigkeit der Signifikanztests, wenn K klein

D.2 Berechnung der Zuschlagswerte und -faktoren

D.2.1 Regressionsrechnung

TP(stufe) Betonpflaster

Einfach lineare Regression Modell 1

Aufgenommene/Entfernte Variablen(b)

Modell	Aufgenom-mene Variablen	Entfernte Variablen	Methode
1	Technische_Parameter(a)	.	Eingeben

a Alle gewünschten Variablen wurden aufgenommen.

b Abhängige Variable: GZW

Modellzusammenfassung(b)

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers	Durbin-Watson-Statistik
1	1,000(a)	,999	,998	,00136192	3,000

a Einflussvariablen : (Konstante), Technische_Parameter

b Abhängige Variable: GZW

ANOVA(b)

Modell	Quadrat-summe	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
1	Regression	,002	1	,002	
	Residuen	,000	1	,000	
	Gesamt	,002	2		

a Einflussvariablen : (Konstante), Technische_Parameter

b Abhängige Variable: GZW

Koeffizienten(a)

Modell	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
	B	Standardfehler	Beta		
1	(Konstante)	,030	,002	14,660	,043
	Technische_Parameter	,033	,001	34,293	,019

a Abhängige Variable: GZW

Multivariate Regression nach Modell 2

Aufgenommene/Entfernte Variablen(b)

Modell	Aufgenom- mene Variablen	Entfernte Variablen	Methode
1	SGrad_0,3, Verb_Gr2, Bauw_Gr2, SGrad_0,2(a)	.	Eingeben

a Toleranz = ,000 erreichte Grenzen.

b Abhängige Variable: GZW

Modellzusammenfassung(b)

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R- Quadrat	Standard- fehler des Schätzers	Durbin- Watson- Statistik
1	,433(a)	,188	,047	,0632765	1,088

a Einflussvariablen : (Konstante), SGrad_0,3, Verb_Gr2, Bauw_Gr2, SGrad_0,2

b Abhängige Variable: GZW

ANOVA(b)

Modell	Quadrat- summe	df	Mittel der Quadrat	F	Signifikanz
1	Regression	,021	4	,005	1,330
	Residuen	,092	23	,004	
	Gesamt	,113	27		

a Einflussvariablen : (Konstante), SGrad_0,3, Verb_Gr2, Bauw_Gr2, SGrad_0,2

b Abhängige Variable: GZW

Koeffizienten(a)

Modell	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
	B	Standard- fehler	Beta		
1	(Konstante)	,082	,031		
	Bauw_Gr2	,010	,036	,055	,2687 ,013
	Verb_Gr2	-,004	,032	-,027	,279 ,783
	SGrad_0,2	-,022	,034	-,173	-,133 ,895
	SGrad_0,3	,042	,034	,318	-,644 ,526
				1,228	,232

a Abhängige Variable: GZW

Ausgeschlossene Variablen(b)

	Beta ln	T	Signifikanz	Partielle Korrelation	Kollinearitätsstatistik		
					VIF	Minimale Toleranz	Toleranz
1	Bauw_Gr1 .a)	.	.	.	,000	.	,000
	Verb_Gr1 .a)	.	.	.	,000	.	,000

a Einflussvariablen im Modell: (Konstante), SGrad_0,3, Verb_Gr2, Bauw_Gr2, SGrad_0,2

b Abhängige Variable: GZW

a Fehlender Fall

b Abhängige Variable: GZW

Multivariate Regression nach Modell 3

Warnungen

Bei Modellen mit der abhängigen Variablen GZW sind die folgenden Variablen Konstanten oder weisen fehlende Korrelationen auf: TP schlecht. Sie werden aus der Analyse gelöscht.

Aufgenommene/Entfernte Variablen(b)

Modell	Aufgenommene Variablen	Entfernte Variablen	Methode
1	TP mittel, TP sehr gut(a)	.	Eingeben

a Toleranz = ,000 erreichte Grenzen.

b Abhängige Variable: GZW

Modellzusammenfassung(b)

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers	Durbin-Watson-Statistik
1	,311(a)	,096	,024	,0640202	1,016

a Einflussvariablen : (Konstante), TP schwierig, TP sehr einfach

b Abhängige Variable: GZW

ANOVA(b)

Modell	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
1	Regression	,011	2	,005	
	Residuen	,102	25	,004	
	Gesamt	,113	27		

a Einflussvariablen : (Konstante), TP schwierig, TP sehr einfach

b Abhängige Variable: GZW

Koeffizienten(a)

Modell	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
	B	Standardfehler	Beta		
1 (Konstante)	,102	,018		5,759	,000
TP sehr gut	-,038	,026	-,292	-1,451	,159
TP mittel	,009	,037	,047	,233	,818

a Abhängige Variable: GZW

Ausgeschlossene Variablen(b)

Modell	Beta In	T	Signifikanz	Partielle Korrelation	Kollinearitätsstatistik		
					VIF	Minimale Toleranz	Toleranz
1 TP gut	.(a)	.	.	.	,000	.	,000

a Einflussvariablen im Modell: (Konstante), TP mittel, TP sehr gut

b Abhängige Variable: GZW

TP(stufe) Betonplatten

Lineare Regression nach Modell 1

Aufgenommene/Entfernte Variablen(b)

Modell	Aufgenommene Variablen	Entfernte Variablen	Methode
1	Technisches_Parameter(a)	.	Eingeben

a Alle gewünschten Variablen wurden aufgenommen.

b Abhängige Variable: MittelwerteGZW

Modellzusammenfassung(b)

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers	Durbin-Watson-Statistik
1	1,000(a)	1,000	1,000	,0001058	3,000

a Einflussvariablen : (Konstante), Technisches_Parameter

b Abhängige Variable: MittelwerteGZW

ANOVA(b)

Modell	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
1 Regression	,000	1	,000	7467,189	,007(a)
Residuen	,000	1	,000		
Gesamt	,000	2			

a Einflussvariablen : (Konstante), Technisches_Parameter

b Abhängige Variable: MittelwerteGZW

Koeffizienten(a)

Modell	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
	B	Standard-fehler	Beta		
1 (Konstante)	,059	,000		366,999	,002
Technisches_Parameter	,006	,000	1,000	86,413	,007

a Abhängige Variable: MittelwerteGZW

Multivariate Regression Modell 2

Warnungen

Bei Modellen mit der abhängigen Variablen GZW sind die folgenden Variablen Konstanten oder weisen fehlende Korrelationen auf: Bauw_Gr3. Sie werden aus der Analyse gelöscht.

Aufgenommene/Entfernte Variablen(b)

Modell	Aufgenommene Variablen	Entfernte Variablen	Methode
1	SGrad_0,3, Bauw_Gr2, Verb_Gr2, SGrad_0,1(a)	.	Eingeben

a Toleranz = ,000 erreichte Grenzen.

b Abhängige Variable: GZW

Modellzusammenfassung(b)

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standard-fehler des Schätzers	Durbin-Watson-Statistik
1	,260(a)	,068	-,129	,0457220	2,099

a Einflussvariablen : (Konstante), SGrad_0,3, Bauw_Gr2, Verb_Gr2, SGrad_0,1

b Abhängige Variable: GZW

ANOVA(b)

Modell	Quadrat-summe	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
1					
Regression	,003	4	,001	,345	,844(a)
Residuen	,040	19	,002		
Gesamt	,043	23			

a Einflussvariablen : (Konstante), SGrad_0,3, Bauw_Gr2, Verb_Gr2, SGrad_0,1

b Abhängige Variable: GZW

Koeffizienten(a)

Modell	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
	B	Standardfehler	Beta		
1	(Konstante)	,083	,015	5,420	,000
	Bauw_Gr2	-,024	,055	-,441	,664
	Verb_Gr2	-,008	,024	-,335	,742
	SGrad_0,1	-,017	,024	-,701	,492
	SGrad_0,3	-,018	,036	-,514	,613

a Abhängige Variable: GZW

Ausgeschlossene Variablen(b)

Modell	Beta In	T	Signifikanz	Partielle Korrelation	Kollinearitätsstatistik		
					VIF	Minimale Toleranz	Toleranz
1	Bauw_Gr1	.(a)	.	.	,000	.	,000
	Verb_Gr1	.(a)	.	.	,000	.	,000
	SGrad_0,2	.(a)	.	.	,000	.	,000

a Einflussvariablen im Modell: (Konstante), SGrad_0,3, Bauw_Gr2, Verb_Gr2, SGrad_0,1

b Abhängige Variable: GZW

Multivariate Regression nach Modell 3

Warnungen

Bei Modellen mit der abhängigen Variablen GZW sind die folgenden Variablen Konstanten oder weisen fehlende Korrelationen auf: TP schlecht. Sie werden aus der Analyse gelöscht.

Aufgenommene/Entfernte Variablen(b)

Modell	Aufgenommene Variablen	Entfernte Variablen	Methode
1	TP mittel, TP gut(a)	.	Eingeben

a Toleranz = ,000 erreichte Grenzen.

b Abhängige Variable: GZW

Modellzusammenfassung(b)

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers	Durbin-Watson-Statistik
1	,039(a)	,002	-,094	,0450081	2,240

a Einflussvariablen : (Konstante), TP mittel, TP gut

b Abhängige Variable: GZW

ANOVA(b)

Modell	Quadrat-summe	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
1 Regression	,000	2	,000	,016	,984(a)
Residuen	,043	21	,002		
Gesamt	,043	23			

a Einflussvariablen : (Konstante), TP mittel, TP gut

b Abhängige Variable: GZW

Koeffizienten(a)

Modell	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
	B	Standard-fehler	Beta		
1 (Konstante)	,074	,012		6,125	,000
TP gut	,000	,023	-,002	-,008	,994
TP mittel	-,004	,023	-,039	-,174	,863

a Abhängige Variable: GZW

Ausgeschlossene Variablen(b)

Modell	Beta In	T	Signifikanz	Partielle Korrelation	Kollinearitätsstatistik		
					VIF	Minimale Toleranz	Toleranz
1 TP sehr gut	.(a)	.	.	.	,000	.	,000

a Einflussvariablen im Modell: (Konstante), TP mittel, TP gut

b Abhängige Variable: GZW

Zuschlagsfaktor k_E

Multivariate Regression nach Modell 1

Aufgenommene/Entfernte Variablen(b)

Modell	Aufgenommene Variablen	Entfernte Variablen	Methode
1	BB_Betriebs(a)	.	Eingeben

a Alle gewünschten Variablen wurden aufgenommen.

b Abhängige Variable: k_E

Modellzusammenfassung(b)

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standard-fehler des Schätzers	Durbin-Watson-Statistik
1	,948(a)	,899	,885	,0196803	1,378

a Einflussvariablen : (Konstante), BB_BETRiebs

b Abhängige Variable: k_E

ANOVA(b)

Modell	Quadrat-summe	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
1 Regression	,024	1	,024	62,512	,000(a)
Residuen	,003	7	,000		
Gesamt	,027	8			

a Einflussvariablen : (Konstante), BB_BETRiebs

b Abhängige Variable: k_E

Koeffizienten(a)

Modell	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
	B	Standard-fehler	Beta		
1 (Konstante)	,042	,013		3,117	,017
BB_BETRiebs	,015	,002	,948	7,906	,000

a Abhängige Variable: k_E

Multivariate Regression nach Modell 2

Warnungen

Bei Modellen mit der abhängigen Variablen Hv sind die folgenden Variablen Konstanten oder weisen fehlende Korrelationen auf: BB schlecht. Sie werden aus der Analyse gelöscht.

Aufgenommene/Entfernte Variablen(b)

Modell	Aufgenom-mene Variablen	Entfernte Variablen	Methode
1	BGrad15, Wett_Gr3, BB sehr gut, BGrad5, BB mittel, BGrad10, Wett_Gr1(a)	.	Eingeben

a Toleranz = ,000 erreichte Grenzen.

b Abhängige Variable: h_v

Modellzusammenfassung(b)

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standard-fehler des Schätzers	Durbin-Watson-Statistik
1	,505(a)	,255	,202	,0728061	2,128

a Einflussvariablen : (Konstante), BGrad15, Wett_Gr3, BB sehr gut, BGrad5, BB mittel, BGrad10, Wett_Gr1

b Abhängige Variable: h_v

ANOVA(b)

Modell	Quadrat-summe	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
1 Regression	,180	7	,026	4,838	,000(a)
Residuen	,525	99	,005		
Gesamt	,704	106			

a Einflussvariablen : (Konstante), BGrad15, Wett_Gr3, BB sehr gut, BGrad5, BB mittel, BGrad10, Wett_Gr1

b Abhängige Variable: h_v

Koeffizienten(a)

Modell	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
	B	Standard-fehler	Beta		
1 (Konstante)	,114	,017		6,683	,000
BB sehr gut	-,035	,020	-,187	-1,759	,082
BB mittel	,068	,023	,313	3,005	,003
Wett_Gr1	,031	,021	,174	1,487	,140
Wett_Gr3	,012	,020	,057	,616	,540
BGrad5	-,012	,018	-,064	-,662	,510
BGrad10	,023	,020	,113	1,153	,252
BGrad15	-,076	,044	-,155	-1,707	,091

a Abhängige Variable: h_v

Ausgeschlossene Variablen(b)

Modell	Beta In	T	Signifikanz	Partielle Korrelation	Kollinearitätsstatistik		
					VIF	Minimale Toleranz	Toleranz
1 BB gut	.(a)	.	.	.	,000	.	,000
Wett_Gr2	.(a)	.	.	.	,000	.	,000
BGrad1	.(a)	.	.	.	,000	.	,000

a Einflussvariablen im Modell: (Konstante), BGrad15, Wett_Gr3, BB sehr gut, BGrad5, BB mittel, BGrad10, Wett_Gr1

b Abhängige Variable: h_v

Multivariate Regression nach Modell 3

Aufgenommene/Entfernte Variablen(b)

Modell	Aufgenommene Variablen	Entfernte Variablen	Methode
1	BB mittel, BUB_sg, BUB_m, BB sehr gut(a)	.	Eingeben

a Toleranz = ,000 erreichte Grenzen.

b Abhängige Variable: h_v

Modellzusammenfassung(b)

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers	Durbin-Watson-Statistik
1	,470(a)	,221	,191	,0733379	1,996

a Einflussvariablen: (Konstante), BB mittel, BUB_sg, BUB_m, BB sehr gut

b Abhängige Variable: h_v

ANOVA(b)

Modell	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
1	Regression	,156	4	,039	
	Residuen	,549	102	,005	
	Gesamt	,704	106		

a Einflussvariablen : (Konstante), BB mittel, BUB_sg, BUB_m, BB sehr gut

b Abhängige Variable: h_v

Koeffizienten(a)

Modell	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
	B	Standardfehler	Beta		
1	(Konstante)	,138	,012		,000
	BUB_sg	-,031	,017	-,188	,068
	BUB_m	,005	,021	,020	,830
	BB sehr gut	-,034	,018	-,181	,070
	BB mittel	,066	,020	,305	,001

a Abhängige Variable: h_v

Ausgeschlossene Variablen(b)

Modell	Beta In	T	Signifikanz	Partielle Korrelation	Kollinearitätsstatistik		
					VIF	Minimale Toleranz	Toleranz
1	BUB_g	.(a)	.	.	,000	.	,000
	BB gut	.(a)	.	.	,000	.	,000

a Einflussvariablen im Modell: (Konstante), BB mittel, BUB_sg, BUB_m, BB sehr gut

b Abhängige Variable: h_v

D.3 Faktoren

D.3.1 Nutzleistungsfaktor f_E

Anhang Tab. 32 Nutzleistungsfaktor f_E [55]

Baustellenbedingungen	Betriebsbedingungen			
	sehr gut	gut	mittelmäßig	schlecht
sehr gut	0,84	0,81	0,76	0,70
gut	0,78	0,75	0,71	0,65
mittelmäßig	0,72	0,69	0,65	0,60
schlecht	0,63	0,60	0,57	0,52

D.3.2 Berechneter Faktor k_E (variablen Einflüsse)

Anhang Tab. 33 Zuschlagsfaktor k_E und dessen Zuordnung entsprechend der Baustellen-, Betriebs- und Projektbedingungen

Baustellenbedingungen	Betriebs- und Umfeldbedingungen								
	Definition	sehr gut		gut		mittelmäßig		schlecht	
sehr gut	Behinderungsgrad Jahreszeit	kein Sommer	gering Sommer	kein Frühling	kein Herbst	mittel Frühling	mittel Herbst	kein Winter	gering Winter
	Behinderungsgrad Jahreszeit			gering Frühling	gering Herbst	hoch Frühling	hoch Herbst	mittel Winter	hoch Winter
	Behinderungsgrad Jahreszeit			mittel Sommer	hoch Sommer				
	k_E [%]	1,0572		1,1188		1,1804		1,242	
gut	Behinderungsgrad Jahreszeit	kein Sommer	gering Sommer	kein Frühling	kein Herbst	mittel Frühling	mittel Herbst	kein Winter	gering Winter
	Behinderungsgrad Jahreszeit			gering Frühling	gering Herbst	hoch Frühling	hoch Herbst	mittel Winter	hoch Winter
	Behinderungsgrad Jahreszeit			mittel Sommer	hoch Sommer				
	k_E [%]	1,0726		1,1342		1,1958		1,2574	
mittelmäßig	Behinderungsgrad Jahreszeit	kein Sommer	gering Sommer	kein Frühling	kein Herbst	mittel Frühling	mittel Herbst	kein Winter	gering Winter
	Behinderungsgrad Jahreszeit			gering Frühling	gering Herbst	hoch Frühling	hoch Herbst	mittel Winter	hoch Winter
	Behinderungsgrad Jahreszeit			mittel Sommer	hoch Sommer				
	k_E [%]	1,088		1,1496		1,2112		1,2728	
schlecht	Behinderungsgrad Jahreszeit	kein Sommer	gering Sommer	kein Frühling	kein Herbst	mittel Frühling	mittel Herbst	kein Winter	gering Winter
	Behinderungsgrad Jahreszeit			gering Frühling	gering Herbst	hoch Frühling	hoch Herbst	mittel Winter	hoch Winter
	Behinderungsgrad Jahreszeit			mittel Sommer	hoch Sommer				
	k_E [%]	1,1034		1,165		1,2266		1,2882	

Anhang Tab. 34 Zuschlagsfaktor k_E (Kurztabelle)

Betriebs- u. Umfeldbedingungen Baustellenbedingungen	sehr gut	gut	mittelmäßig	schlecht
sehr gut	1,0572	1,1188	1,1804	1,242
gut	1,0726	1,1342	1,1958	1,2574
mittelmäßig	1,088	1,1496	1,2112	1,2728
schlecht	1,1034	1,165	1,2266	1,2882

Statistische Sicherheit k_E und k_{er}

Anhang Tab. 35 statistische Sicherheit der Zuschlagsfaktoren k_E und k_{er}

	k_E [%]	k_{er} [%]
Mittelwert	0,1274	0,0832
Standardabweichung σ	68,30%	0,0046
Mittelwert $\pm 2\sigma$	95,40%	0,0091
Obergrenze 2σ	0,1366	0,0923
Untergrenze 2σ	0,1183	0,0741
Mittelwert $\pm 3\sigma$	99,70%	0,0137
Obergrenze 3σ	0,1412	0,0969
Untergrenze 3σ	0,1137	0,0695
relativer Fehler	99,70%	10,78%
relativer Fehler	95,40%	7,19%
Variationszahlverfahren		
Variationszahl	3,59%	5,48%
Vertrauensbereich	0,58%	0,88%

D.3.3 Berechneter Zuschlag TP(s) (konstante Einflüsse)

Anhang Tab. 36 Zuschlag TP(s) Betonpflaster entsprechend der „technischen“ Parameter [h/m²]

Technische Parameter	sehr einfach	einfach	schwierig	sehr schwierig
Bauweise Verband SGrad*	ungebunden einfach a (0,1)	ungebunden einfach b (0,2)	ungebunden einfach c (0,3)	ungebunden schwierig b (0,2)
Bauweise Verband SGrad*		gebunden einfach a (0,1)	gebunden einfach b (0,2)	gebunden einfach c (0,3)
TP	0,033	0,066	0,099	0,132

*Hau- und Schnittkantenverhältnis der Flächen

Anhang D Berechneter Zuschlag TP(s) (konstante Einflüsse)

Anhang Tab. 37 Zuschlag TP(s)Betonplatten entsprechend der „technischen“ Parameter [h/m²]

Technische Parameter	sehr einfach		einfach		schwierig		sehr schwierig	
Bauweise	ungebunden einfach a (0,1)	ungebunden einfach b (0,2)	ungebunden einfach c (0,3)	ungebunden schwierig a (0,1)	ungebunden schwierig b (0,2)	ungebunden schwierig c (0,3)	gebunden schwierig b (0,2)	gebunden schwierig c (0,3)
Verband			gebunden einfach a (0,1)	gebunden einfach b (0,2)	gebunden einfach c (0,3)	gebunden schwierig a (0,1)		
SGrad*								
TP	0,007		0,013		0,02		0,026	

*Hau- und Schnittkantenverhältnis der Flächen

Anhang Tab. 38 Zuschlagswerte TP(stufe) entsprechend der Material- und Geometriekombination [h/m²]

Material-/Geometriekombination	technische Parameter			
	sehr einfach	einfach	schwierig	sehr schwierig
Betonpflaster	0,033	0,066	0,099	0,132
Betonplatten	0,007	0,013	0,02	0,026

Anhang Tab. 39 TP(s) der Pflasterarten mit 95% Konfidenzintervall

Pflasterart	TP	sehr einfach		einfach			schwierig			sehr schwierig		
		min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	
Betonpflaster	0,02	0,033	0,05	0,04	0,07	0,09	0,06	0,1	0,14	0,08	0,13	0,18
Betonplatten	0,01	0,007	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
Natursteinpflaster		0,558			1,12			1,67			2,23	

Statistische Sicherheit TP(stufe)

Anhang Tab. 40 statistische Sicherheit der Zuschlagswerte TP(stufe) je Pflasterart

	Betonpflaster [h/m ²]	Betonplatten [h/m ²]	Naturpflaster [h/m ²]
Mittelwert GZW(a)	0,0885	0,1700	0,0728
Standardabweichung σ	68,30%	0,0122	0,0088
GZW(a) $\pm 2\sigma$	95,40%	0,0245	0,0176
Obergrenze 2σ		0,1130	0,0904
Untergrenze 2σ		0,0640	0,0552
GZW(a) $\pm 3\sigma$	99,70%	0,0367	0,0264
Obergrenze 3σ		0,1253	0,0991
Untergrenze 3σ		0,0518	0,0464
relativer Fehler	99,70%	41,50%	31,48%
relativer Fehler	95,40%	27,67%	20,98%
Variationszahlverfahren			
Variationszahl	13,83%	10,49%	12,07%
Vertrauensbereich	4,34%	4,0%	4,1%

D.3.4 DIN ISO 9245 und f_E Matrix

Anhang Tab. 41 Vergleich der verschiedenen ermittelten Zeitwerte der Verlegemaschine (Hydromak Vario 2000) für sehr gute Baustellenbedingungen

Baustellen-, Betriebs-/ Umfeldbedingungen	beschriebene Leistung*	NKW	IGZW	Q _A ist	Q _B ist	f _E **	ESZW f _{E(DIN)} *	EQ _A f _E	Differenz zu ISZW und ESZW f _{E(DIN)} [%]
sehr gut, sehr gut	12070	0,0243	0,0200	41,1986	49,9726	0,0600	0,0233	42,8582	3,8723
	12080	0,0431	0,0343	23,1883	29,1392		0,0400	24,9907	7,2121
	12142	0,0397	0,0331	25,1653	30,2266		0,0386	25,9234	2,9242
	12160	0,0563	0,0435	17,7692	23,0072		0,0507	19,7318	9,9460
	Vorgabewert	0,0220	0,0185	45,4545	54,1126		0,0220	45,4545	0,0000
	Mittelwert	0,0409	0,0327	24,4780	30,5630		0,0382	28,3760	5,9886
	12070	0,0501	0,0400	19,9619	25,0104		0,0479	20,8594	4,3027
	12080	0,0397	0,0322	25,1655	31,0551		0,0386	25,9009	2,8393
sehr gut, gut	12142	0,0508	0,0400	19,7017	24,9987	0,0900	0,0480	20,8496	5,5057
	12160	0,0385	0,0319	25,9717	31,3452		0,0383	26,1428	0,6543
	Vorgabewert	0,0220	0,0178	45,4545	56,1167		0,0220	45,4545	0,0000
	Mittelwert	0,0448	0,0360	22,3348	27,7606		0,0432	23,1531	3,3255
	12070	0,0219	0,0183	45,5802	54,6370		0,0230	43,5702	4,6134
	12080	0,0467	0,0389	21,3946	25,7331		0,0487	20,5208	4,2582
	12142						0,0000		
	12160	0,0408	0,0308	24,5088	32,4297		0,0387	25,8610	5,2286
sehr gut, mittel	Vorgabewert	0,0220	0,0167	45,4545	59,8086	0,1400	0,0220	45,4545	0,0000
	Mittelwert	0,0365	0,0293	27,4018	34,0913		0,0276	36,2480	4,7000
Baustellen-, Betriebs-/ Umfeldbedingungen	beschriebene Leistung*	f _{E(R)}	ESZW f _{E(R)*}	EQ _A f _{E(R)*}	Differenz zu SZW _{ist} und Q _{Aist} [%]	k _E	ESZW k _E	EQ _A k _E	Differenz zu ISZW _{ist} und ESZW k _E [%]
sehr gut, sehr gut	12070	0,0807	0,0238	42,0373	1,9951	0,0572	0,0233	42,9717	4,1262
	12080		0,0408	24,5120	5,4001		0,0399	25,0569	7,4572
	12142		0,0393	25,4268	1,0284		0,0385	25,9920	3,1806
	12160		0,0517	19,3538	8,1874		0,0505	19,7840	10,1838
	Vorgabewert		0,0220	45,5198	0,1433		0,0220	45,4545	0,0000
	Mittelwert		0,0389	25,7098	4,1528		0,0380	26,2813	6,2370
	12070		0,0483	20,6999	3,5653		0,0472	21,1978	5,8304
	12080		0,0389	25,7028	2,0906		0,0380	26,3210	4,3903
sehr gut, gut	12142		0,0483	20,6901	4,7775		0,0472	21,1878	7,0142
	12160		0,0385	25,9429	0,1113		0,0376	26,5669	2,2402
	Vorgabewert		0,0215	46,4450	2,1326		0,0220	45,4545	0,0000
	Mittelwert		0,0435	22,9761	2,6362		0,0425	23,5287	4,8688
	12070	0,1161	0,0225	44,5032	2,4201	0,0880	0,0219	45,6526	0,1585
	12080		0,0477	20,9602	2,0724		0,0465	21,5016	0,4975
	12142						0,0000		
	12160		0,0379	26,4148	7,2155		0,0369	27,0970	9,5515
	Vorgabewert		0,0205	48,7156	6,6940		0,0200	49,9738	9,0432
	Mittelwert		0,0360	27,7682	3,9027		0,0263	37,9805	3,4025

* Leistung: Die Schlüsselnummer der Leistung ist in Anhang Tab. 27 definiert.

*¹ f_E nach Hoffmann [55]

*² Werte auf Regressionsgeraden f_{E(R)}

*³ k_E Korrekturfaktor lohnintensive Arbeiten

Literaturverzeichnis

1. AbouRizk, S. M.: *Subjective and interactive duration estimation*. in Canadian journal of civil engineering. 3/1993, S. 457-470.
2. Adelhoch, S. u.a.: *Rechnergestützte Multihäufigkeitsstudien*. Studienarbeit. Fachhochschule Karlsruhe, Hochschule für Technik, Fachbereich Wirtschaftingenieurwesen, 2002.
3. Backhaus, K. u.a.: *Multivariate Analysemethoden: eine anwendungsorientierte Einführung*. 11., überarb. Aufl. Springer-Lehrbuch. Berlin: Springer Verlag, 2006.
4. Bauch, U.: *Beitrag zur Risikobewertung von Bauprozessen*. Dissertation. TU Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen, 1994.
5. Bauer, H.: *Baubetrieb 1: Einführung, Rahmenbedingungen, Bauverfahren*. 2., neubearb. Aufl. Berlin: Springer Verlag, 1994.
6. Bauer, H.: *Baubetrieb 2: Bauablauf, Kosten, Störungen*. 2., neubearb. Aufl. Berlin: Springer Verlag, 1994.
7. Hauptverband der deutschen Bauindustrie: *Bauwirtschaft im ersten Halbjahr 2007: Baukonjunktur gespalten*. 2007, <http://www.bauindustrie.de>, (21.08.2007).
8. Bauindustrieverband: *Akkordtarifverträge in der Hamburger Bauwirtschaft : Bau-Akkordtarifvertrag Hamburg ; Fliesenleger-Akkordtarifvertrag*. Ausgabe 1990. Hamburg: Müller Verlag, 1990.
9. Bayrisches Staatsministerium für Arbeit und Sozialordnung: *Wintergeld*. 2005, <http://www.stmas.bayern.de/wir/impressum.htm>, (09.05.2007).
10. Berner, F.: *Verlustquellenforschung im Ingenieurbau : Entwicklung eines Diagnoseinstruments unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit und Genauigkeit von Zeitaufnahmen*. Schriftenreihe des Institutes für Baubetriebslehre der Universität Stuttgart, TH ; 24. Wiesbaden: Bauverlag, 1983.
11. Binner, H. F.: *Handbuch der prozessorientierten Arbeitsorganisation: Methoden und Werkzeuge zur Umsetzung*. 2., überarb. Aufl. REFA-Fachbuchreihe Unternehmensentwicklung. München: Hanser Verlag, 2005.
12. Blickling, A.: *Spezifikation des Bau-Solls durch interaktive Modellierung auf virtuellen Baustellen*. Dissertation. Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät für Bauingenieurwesen, 2006.
13. Böhrs, H.: *Probleme der Vorgabezeit: Untersuchungen über die Fragen der Leistungsstreuung, des Leistungsgrades und des Erholungszuschlages*. München: Hanser Verlag, 1950.
14. Bokranz, R. u.a.: *Arbeitsdatenermittlung: eine Einführung in zeitwirtschaftliche Methoden*. 3., erg., völlig überarb. Aufl. Gräfelfing/München: Resch Verlag, 1986.
15. Bortz, J. u.a.: *Forschungsmethoden und Evaluation: für Human- und Sozialwissenschaftler*. 4., überarb. Aufl. Springer-Lehrbuch. Heidelberg: Springer Medizin, 2006.
16. Bruckner, B.: *Basel II: Konsequenzen für das Kreditrisikomanagement*. Wien: Manz Verlag, 2003.
17. Bruckner, B.: *Erfolgreiches Rating für Unternehmen: mit einem Schwerpunkt auf klein- und mittelständische Unternehmen*. Praxishandbuch. Wien: Manz Verlag, 2003.

18. Budde, K.-F.: *Hinweise für das Bauen im Winter: Planung, Vergabe u. Ausführung.* 2. Aufl. Schriftenreihe der Rationalisierungs-Gemeinschaft Bauwesen; H. 4. Berlin: Beuth Verlag, 1975.
19. Bundesausschuss Leistungslohn Bau. Fachgruppe Erdbau: *Arbeitszeit-Richtwerte-Tabellen Pflaster- und Steinsetzarbeiten: ART.* Handbuch ART. Neu-Isenburg: Zeittechnik-Verlag, 1998.
20. Bundesvereinigung Bauwirtschaft: *Die Bundesvereinigung Bauwirtschaft im Geschäftsjahr 2006.* Stärken Bündeln, Zukunft Bauen, Kompetenz beweisen. 2006, (20.07.2007).
21. Chahrour, R.: *Entwicklung eines CAD-basierten Simulationssystems zur Optimierung von Erdbauprozessen.* IBW-Report. Universität Kassel Institut Für Baubetrieb. Band 7. Kassel: IBW, 2005.
22. Deutsches Institut für Normung: *DIN ISO 9245 1995-01 Erdbaumaschinen, Leistung der Maschinen.* Begriffe, Formelzeichen und Einheiten.
23. Deutsches Institut für Normung: *Verkehrswegebauarbeiten VOB/StLB/STLK: Oberbauschichten ohne Bindemittel, Oberbauschichten mit hydraulischen Bindemitteln, Oberbauschichten aus Asphalt, Pflasterdecken, Plattenbeläge und Einfassungen ; Normen.* 9. Auflage, Stand der abgedr. Normen: April 2003. VOB Teil B: DIN 1961 ; VOB Teil C: ATV DIN 18299, ATV DIN 18315, ATV DIN 18316, ATV DIN 18317, ATV DIN 18318. Berlin: Beuth Verlag, 2003.
24. Deutsches Institut für Normung: *VOB : Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen.* Ausg. 2006. Berlin: Beuth Verlag, 2006.
25. Drees, G. u.a.: *Kalkulation von Baupreisen: Hochbau, Tiefbau, schlüsselfertiges Bauen.* 8., erw. und aktualisierte Aufl. Berlin: Bauwerk-Verlag, 2005.
26. Fassmann, G.: *Lohn nach Leistung.* in Baugewerbe. 20/2001, S. 44-47.
27. Fetzner, T.: *Ein Verfahren zur Erfassung von Minderleistungen aufgrund witterungsbedingter Bauablaufstörungen.* Dissertation. Technische Universität Darmstadt, Institut für Baubetrieb, 2007.
28. Fleischmann, H. D.: *Angebotskalkulation mit Richtwerten: Grundlagen der Kostenerfassung im Baubetrieb, Musterkalkulation.* 3., überarbeitete Auflage. Düsseldorf: Werner Verlag, 1999.
29. Forkl, R. u.a.: *Ifo-Konjunkturtest: Sonderfragen, Ergebnisse.* München: Ifo-Institut für Wirtschaftsforschung Abt. Konjunktur- und Investitionstest, 1969.
30. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. Arbeitsgruppe Mineralstoffe im Straßenbau: *Merkblatt für Flächenbefestigungen mit Pflaster und Plattenbelägen.* Ausg. 1989 ; erg. Fassung 1994. Fgsv ; 618. Köln: FGSV-Verlag, 1994.
31. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. Arbeitsgruppe Mineralstoffe im Straßenbau: *Zusätzliche technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Pflasterdecken und Plattenbelägen: ZTV P-StB 2000.* Berecht. Nachdr. Febr. 2001. Fgsv ; 699. Köln: FGSV-Verlag, 2001.
32. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. Arbeitsgruppe Mineralstoffe im Straßenbau: *Regelbauweise (ungebundene Ausführung): M FP 1.* Ausg. 2003. Merkblatt für Flächenbefestigungen mit Pflasterdecken und Plattenbelägen / Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Mineralstoffe im Straßenbau ; Teil 1. Köln: Forschungsges. für Straßen- u. Verkehrswesen, 2003.

-
33. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung - Landschaftsbau: *Musterzeitwerte (MZW) zum Musterleistungsverzeichnis Freianlagen: Kalkulation im Garten-, Landschafts- und Sportplatzbau*. Bonn: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung - Landschaftsbau e.V., 1990.
34. Fronza, M. u.a.: *Die Beurteilung von Zeitdaten*. in Industrial Engineering. 4/1972, S. 205-210.
35. Fronza, M. u.a.: *Die Beurteilung von Zeitdaten*. in Industrial Engineering. 5/1972, S. 301-307.
36. Fronza, M. u.a.: *Die Beurteilung von Zeitdaten*. in Industrial Engineering. 1/1973, S. 39-49.
37. Gleißner, W.: *Risikomanagement und risikoorientierte Projektkalkulation in der Bauwirtschaft*. in Baumarkt + Bauwirtschaft. 6/2006, S. 22-26.
38. Grafe, C.: *Wirkungsweise von klimabedingten Einflüssen (Sonnenstrahlung, Ozon hohe Temperaturen) auf den menschlichen Körper insbesondere bei Arbeiten im Freien und Handlungsmöglichkeiten der Gewerbeaufsicht*. in 4. Fachtagung "Arbeitsschutz auf Baustellen". Freiberg/Sachsen, 2003.
39. Großlaub, F.: *Erstellung einer Datenbank für Arbeitszeitrichtwerte*. Diplomarbeit. Technischen Universität Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen, Studienrichtung Baubetriebswesen, 1995.
40. Grubbs, F. E.: *Sample Criteria for Testing Outlying Observations*. in Annals of mathematical statistics. 1/1950, S. 27-58.
41. Gummersbach, A.: *Produktionsmanagement*. 6. Aufl. Produktionsmanagement. Hamburg: Verlag Handwerk und Technik, 2005.
42. Hahn, H. J.: *Beitrag über die normalen Witterungseinflüsse auf die Bauproduktion*. in Das Baugewerbe: Organ d. Zentralverbandes des Deutschen Baugewerbes. 12,13,14/1970, S. 744-748; 822-830; 887-889.
43. Haide, J.: *Gewerkspezifische Analyse der Arbeitszeiteinteilung in einem Beispielunternehmen*. Diplomarbeit. Universität Rostock, Fachbereich Landeskultur und Umweltschutz, Institut für Baubetriebswirtschaft, 2001.
44. Haide, J.: *Arbeitswissenschaftlich ermittelte Zeitaufwandswerte für den Baubetrieb: Spielt die Qualität verwendeter Zeitwerte für Bauunternehmen in der heutigen Zeit noch eine Rolle?* in Baumarkt + Bauwirtschaft. 4/2005, S. S. 32 - 33.
45. Haide, J. u.a.: *Datenpflege im Baubetrieb : Die Gewinnung, Bereinigung und Haltung betrieblicher Stammdaten im Baubetrieb*. in Baumarkt + Bauwirtschaft. /2004, S. S. 28 - 30.
46. Haller-Wedel, E.: *Multimoment-Aufnahmen in Theorie und Praxis: ein statistisches Verfahren zur Durchführung von Arbeits- und Zeitstudien in Industrie, Wirtschaft und Verwaltung, in Werkstatt, Büro und Lager*. München: Hanser Verlag, 1962.
47. Haller, C.: *Controlling - Herausforderung für die Baubranche*. in IO-Management. 3/1993, S. 53-58.
48. Heinz, K. u.a.: *Planzeitermittlung*. München: Hanser Verlag, 1994.
49. Hembus, M.: *Was kann die (Bau-) Wirtschaft noch retten?* in Baumarkt + Bauwirtschaft. 3/2004, S. 30-33.

50. Hettinger, T.: *Probleme der Übertragbarkeit arbeitswissenschaftlicher Forschungsergebnisse in die Praxis. Leistung und Lohn* ; 150/151. Bergisch-Gladbach: Heider, 1984.
51. Hettinger, T. u.a.: *Ergonomie am Arbeitsplatz: Daten zur menschengerechten Gestaltung der Arbeit*. 2., überarb. u. erw. Aufl. Ludwigshafen/Rhein: Kiehl Verlag, 1980.
52. Hinrichsen, S. u.a.: *Anwendung des Multimomentverfahrens im Einzelhandel*. in REFA-Nachrichten, Zeitschrift des REFA-Bundesverbandes e.V., Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung. 2/2005, S. 22-29.
53. Hinrichsen, S., Institut für Arbeitswissenschaft der RWTH Aachen: *Eine neue Methode zur Schätzung und Visualisierung der Zeitanteile von Ablaufarten bei kleinem Stichprobenumfang*, (13.11.2006).
54. Hoffmann, F. H.: *Ungenutzte Potentiale in der Ablauf- und Fertigungsplanung im Betonbau*. Dissertation. Universität Kassel, Fachbereich Bauingenieurwesen, 2000.
55. Hoffmann, M. u.a.: *Zahlentafeln für den Baubetrieb*. 7., vollst. überarb. Aufl. Wiesbaden: Teubner Verlag, 2006.
56. Husfeld, H.: *Differenzierte Ansätze zur Bewertung von Bauablaufstörungen, Teil 1: Einleitung, Grundlagen, bisheriger Praxis*. in *Baumarkt + Bauwirtschaft*. 4/2006, S. 31-33.
57. Institut für Zeitwirtschaft (ifo): *Handbuch Arbeitsorganisation Bau. Bewehrungsarbeiten*. Handbuch Arbeitsorganisation Bau. Zeitwirtschaft Institut Für. Neu-Isenburg: Zeittechnik-Verlag, 2001.
58. Jacob, D.: *Die Bauwirtschaft im Jahr 2010 - eine baubetriebswirtschaftliche Analyse*. 1. Aufl. Freiberger Forschungshefte D ; 208. Freiberg: Techn. Univ. Bergakad., 2000.
59. Jacob, D. u.a.: *Kalkulationsformen im Ingenieurbau*. Berlin: Verlag Ernst & Sohn, 2002.
60. Janssen, J. u.a.: *Statistische Datenanalyse mit SPSS für Windows: eine anwendungsorientierte Einführung in das Basisprogramm und das Modul Exakte Tests*. 4., neubearb. und erw. Aufl. Berlin: Springer Verlag, 2003.
61. Johann, H. P.: *Analytische Untersuchungen über die Treffsicherheit und Zuverlässigkeit des Leistungsgradschätzens und der Vorgabezeit-Ermittlung mit Hilfe mathematisch-statistischer Verfahren*. Köln: Wasmund Verlag, 1964.
62. Jörs, B.: *Wissensmanagement - zwischen Anspruch und Wirklichkeit*. in REFA-Nachrichten : Zeitschrift des REFA-Bundesverbandes e.V., Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung. /2006, S. 30-39.
63. Kalusche, W.: *Winterbau aus Bauherrensicht*. <http://www.pboek.tu-cottbus.de/literatur/veroeffentlichungen/winterbau.html>, (09.05.2007).
64. Kassel, H.: *Überbetriebliche Planzeiten (Arbeitszeit-Richtwerte) in der Bauwirtschaft*. Leistung und Lohn ; 188/191. Bergisch Gladbach: Heider, 1987.
65. Kassel, H.: *Zeitgemäße Entlohnung im Baubetrieb: ein Leitfaden für die betriebliche Praxis*. 2. Aufl. Wirtschaftliche und effektive Betriebsführung ; Bd. 1. Neu-Isenburg: ztv, Zeittechnik-Verlag, 2000.

66. Kassel, H. u.a.: *Arbeitszeit-Richtwerte Hochbau*, ARH. Neu-Isenburg: Zeittechnik-Verlag, 1998.
67. Kiziltas, S. u.a.: *The Need for Prompt Schedule Update By Utilizing Reality Capture Technologies: A Case Study*. in *Construction Research Congress*. San Diego, CA, 2005.
68. Koberstein, F. u.a.: *Leistungswerte in der Bauproduktion*. Studienarbeit. Bauhaus Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen, Professur Baubetrieb und Bauverfahren, 2002.
69. Koehler, K. u.a.: *Fachstufen Bau, Tiefbau: Technologie*. 2., überarb. Aufl. Hamburg: Verlag Handwerk und Technik, 1983.
70. Künstner, G.: *REFA in der Baupraxis*. Teil 2 Datenermittlung. Neu-Isenburg: ztv, Zeittechnik-Verlag, 1991.
71. Künstner, G. u.a.: *Ablauforganisation von Baustellen: ein Leitfaden zur Planung und Steuerung von Bauabläufen am Beispiel einer Fertigungshalle mit Verwaltungsgebäude in Mischbauweise*. 2. Aufl. Wirtschaftliche und effektive Betriebsführung; 2. Frankfurt a. M.: ztv, Zeittechnik-Verlag, 2002.
72. Kupke, E.: *Beiträge zu Frage des Leistungsgrades und der Vorgabezeit*. 2. unveränd. Nachdr. Grundlagen und Praxis des Arbeits- u. Zeitstudiums; 8. München: Hanser Verlag, 1951.
73. Leimböck, E. u.a.: *Bauwirtschaft: Grundlagen und Methoden*. 2., erw. und aktualisierte Aufl. Stuttgart: Teubner Verlag, 2005.
74. Leimböck, E. u.a.: *Baukalkulation und Projektcontrolling: unter Berücksichtigung der KLR Bau und der VOB*. 10., vollständig überarb. und erw. Aufl. Braunschweig: Vieweg Verlag, 2002.
75. Lindemann, D.: *Störungen im Bauablauf*. Diplomarbeit. Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Institut für Baubetriebswirtschaft, 2001.
76. Luczak, H.: *Arbeitswissenschaft*. 2., vollst. neubearb. Aufl. Springer-Lehrbuch. Berlin: Springer Verlag, 1998.
77. Mantscheff, J. u.a.: *Baumarkt - Bewertungen - Preisermittlung: mit einem Kalkulationsbeispiel und Aufwandswerten, Tariflöhnen, Baustoffpreisen sowie Leistungswerten von Geräten im Anhang*. 5., vollkommen neu bearb. und erw. Aufl. Baubetriebslehre 2. Düsseldorf: Werner Verlag, 2004.
78. Mechnig, M.: *Die Anpassungsfähigkeit der baubetrieblichen Produktionsplanung und -steuerung an interne und externe Einflüsse*. Dissertation. Universität Dortmund, Fachbereich Bauwesen, 1998.
79. Mentlein, H.: *Pflaster Atlas: Planung, Konstruktion und Herstellung*. Köln: Rudolph Müller Verlag, 2005.
80. Meyer, R. u.a.: *Mehr Erfolg durch professionellen Methodeneinsatz: eine empirische Untersuchung zum Methodeneinsatz in produzierenden Unternehmen; Ergebnisse der Studie*. Stuttgart Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung, 1998.
81. Möller, D.: *Erarbeitung betrieblicher Stammdaten mit Hilfe der Nachkalkulation für ausgewählte Bauarbeiten eines Beispielbetriebes*. Diplomarbeit. Universität Rostock, Institut für Baubetriebswirtschaft und Umweltökonomie, Fachbereich Landeskultur und Umweltschutz, 2002.

82. Olbrich, R.: *Aufbau einer Zeitwirtschaft: Beschreibung der Vorgehensweise*. Köln: Wirtschaftsverlag Bachem, 1993.
83. Olesen, G.: *Kalkulationstabellen Hochbau: Rohbau, Erdarbeiten, Rohrleitungen, Aussenanlagen*. 12., Aufl. Kalkulation im Bauwesen; Bd. 2. Berlin: Verlag Schiele & Schön, 2006.
84. Oppolzer, A.: *Psychische Belastungen in der Arbeitswelt als Herausforderung für den Arbeits- und Gesundheitsschutz*. in *Tagungsband der Vertreterversammlung der Norddeutschen Metall-Berufsgenossenschaft*. Rostock: Norddeutsche Metall-Berufsgenossenschaft, 1999.
85. Papoulis, A. u.a.: *Probability, random variables and stochastic processes*. 4. Boston, Mass.: McGraw-Hill, 2002.
86. Peer, S.: *Die Baustellen-Zeitstudie in Theorie und Praxis*. in *Baumaschine + Bautechnik*. 1/1983, S. 20-24.
87. Plümecke, K. u.a.: *Preisermittlung für Bauarbeiten*. 25., überarb. und erw. Aufl., 1. korrigierter Nachdr. Köln: Rudolph Müller Verlag, 2005.
88. Pongracz, K.: *Methodik zur technologischen Vorbereitung bei komplexen Rekonstruktionen von städtischen Hauptnetzstraßen*. Dissertation. Hochschule für Verkehrsweisen, Fakultät für Technik, 1985.
89. Porschlegel, H. u.a.: *Mitbestimmen im Betrieb bei Lohn und Leistung : ein Hand- und Arbeitsbuch in 2 Bänden für die Praxis*. Bd. 1: Grundlagen, Problem- und Handlungsfelder. Köln: Bund-Verlag, 1994.
90. Porschlegel, H. u.a.: *Mitbestimmen im Betrieb bei Lohn und Leistung: ein Hand- und Arbeitsbuch in 2 Bänden für die Praxis*. Bd. 2: Methoden und Kritik der Datenermittlung Köln: Bund-Verlag, 1995.
91. Presgrave, R.: *The Dynamics of time study*. 2. Industrial Organization and Management Series. New York; London: McGraw-Hill Book Comp., 1945.
92. Rabe, P. u.a.: *Kalkulationstabellen Straßen- und Tiefbau*. 9., neubearb. und erw. Aufl. Kalkulation im Bauwesen; Bd. 3. Berlin: Verlag Schiele & Schön, 1996.
93. REFA Verband für Arbeitsstudien: *Datenermittlung*. 6. Aufl. Methodenlehre des Arbeitsstudiums / Verband für Arbeitsstudien - REFA ; 2. München: Hanser Verlag, 1978.
94. REFA Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation: *Methodenlehre der Betriebsorganisation*. Planung und Gestaltung komplexer Produktionssysteme. V. Verband Für Arbeitsstudien Und Betriebsorganisation E. München: Hanser Verlag, 1990.
95. Richter, K. u.a.: *Prozessgestaltung auf industriellen Baustellen*. in REFA-Nachrichten Zeitschrift des REFA-Bundesverbandes e.V., Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung. 1/2006, S. 24-28.
96. Riediger, H.-G. u.a.: *Rationalisierung im Baubetrieb: Möglichkeiten der REFA-Methodenlehre*. in Thesis - Wissenschaftliche Zeitschrift der Bauhaus-Universität Weimar. 1/2000, S. 39-49.
97. Rothkegel, U.: *Planung und Organisation im Eisenbahnbau*. Berlin: Transpress, 1980.
98. Rüppel, U.: *Vernetzt-kooperative Planungsprozesse im Konstruktiven Ingenieurbau: Grundlagen, Methoden, Anwendung und Perspektiven zur vernetzten Ingenieurkooperation*. Berlin: Springer Verlag, 2007.

99. Schäfer, L.: *Analyse und Gestaltung fertigungstechnischer Prozessketten: Konzept zur datenbasierten Ermittlung qualitätswirksamer Einfluss-Ursache-Wirkzusammenhänge und zur Ableitung von Maßnahmen zur Prozesssicherung.* FBK produktionstechnische Berichte; 45. Kaiserslautern: Univ., Lehrstuhl für Fertigungstechnik und Betriebsorganisation, 2003.
100. Schott, R.: *Kritik am Leistungsgradschätzen auf Grund von Ergebnissen experimenteller Untersuchungen.* in Werkstatt und Betrieb. 104/1971, S. 337-341.
101. Schreyögg, G.: *Organisation: Grundlagen moderner Organisationsgestaltung.* 4., vollst. überarb. und erw. Aufl. Gabler-Lehrbuch. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2003.
102. Schröder, R.: *Mathematisch-statistische Grundlagen des Zeitstudiums.* in Wirtschaftlichkeit. 7/1955, S. S. 79 bis 84.
103. Schröder, H. u.a.: *Leistungslohn im Baugewerbe, Rechtliche Rahmenbedingungen und praktische Umsetzung.* Zentralverband Der Deutschen Bauindustrie E. V. Köln: Rudolph Müller Verlag, 2006.
104. Schultetus, W.: *Arbeitswissenschaft und Betriebspraxis - 40 Jahre IfaA - und was bringt die Zukunft?* in Zeitschrift: Angewandte Arbeitswissenschaft: Mitteilungen der IfaA. 176/2003, S. S. 1-15.
105. Schwab, B.: *Rahmentarifvertrag für Leistungslohn im Baugewerbe: Kommentar für die Praxis.* 3. Aufl. Neu-Isenburg: Zeittechnik-Verlag, 1995.
106. Seeling, R. u.a.: *Recht im Baubetrieb: ein Leitfaden für die Praxis der Bauwirtschaft.* Köln-Braunsfeld: Rudolph Müller Verlag, 1983.
107. Shackel, B. u.a.: *Handbuch Betonsteinpflaster : Bemessung, Konstruktion, Ausführung.* Düsseldorf: Beton-Verlag, 1996.
108. sirAdos-Baudaten Tiefbau / GaLa sirAdos - Baudatenbank. WEKA MEDIA GmbH und Co. KG, München, Dachau, 2000.
109. Spranz, D.: *Arbeitszeiten im Baubetrieb: Ermittlung und Anwendung bei Kalkulation, Arbeitsvorbereitung und Leistungsentlohnung ; eine Genauigkeits- und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.* Schriftenreihe des Institutes für Baubetriebslehre der Universität Stuttgart, TH ; 13. Wiesbaden: Bauverlag, 1975.
110. Spranz, D.: *Arbeitsvorbereitung im Ingenieurhochbau: Bauablauf, Organisation, Verfahren, Baustelleneinrichtung, Schalungstechniken, Visualisierung von Störeinflüssen.* 1. Aufl. Berlin: Bauwerk Verlag, 2003.
111. DESTATIS: *Bauinvestitionen.* 2007, <http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/>, (09.06.2007).
112. Steinmetzger, R.: *Bauproduktionstechnik/REFA.* Lehrunterlage für die Vertiefungsrichtung Baubetrieb. Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen, Professur Baubetrieb und Bauverfahren, 2003.
113. Steinmetzger, R.: *Alle Jahre wieder: Hitzearbeit im Freien.* in 4. Fachtagung Sicherheit auf Baustellen. Weimar: Schriften der Professur Baubetrieb und Bauverfahren, Universitätsverlag, 2005.
114. Storm, R.: *Wahrscheinlichkeitsrechnung, mathematische Statistik und statistische Qualitätskontrolle.* 10., völlig neubearb. Aufl. Leipzig: Fachbuchverlag, 1995.
115. Texter, R.: *Vergleich von Leistungs- bzw. Zeitwerten auf Basis der Nachkalkulation am Beispiel von Pflasterarbeiten* Diplomarbeit. Universität

- Rostock, Institut für Umweltingenieurwesen, Professur für Baubetriebswirtschaft, 2006.
116. Toffel, R. F.: *Kosten- und Leistungsrechnung in Bauunternehmungen*. 2., durchges. Auflage. Leitfaden der Bauwirtschaft und des Baubetriebs. Stuttgart: Teubner Verlag, 1994.
117. Ucke, C.: *Physikalisches Praktikum für Mediziner* Arbeitsunterlagen Band 14, Technische Universität München, 1999.
118. Verband für Arbeitsgestaltung Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung: *Ortim: Zeitwirtschaft im Wandel*. in REFA-Nachrichten: für industrial engineering. 5/2000, S. 52-54.
119. Verband für Arbeitsstudien: *Methodenlehre des Arbeitsstudiums: Datenermittlung Teil 2*. 6. Aufl. REFA, Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V. München: Hanser Verlag, 1978.
120. Verband für Arbeitsstudien: *Datenermittlung*. 7. Aufl., 321. - 360. Tsd. Methodenlehre des Arbeitsstudiums / REFA, Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V. ; Teil 2. München: Hanser, 1992.
121. Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation: *Planung und Steuerung*. Methodenlehre der Betriebsorganisation. München: Hanser Verlag, 1991.
122. Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation: *Lexikon der Betriebsorganisation*. 1. Aufl. Methodenlehre der Betriebsorganisation / REFA, Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation. München: Hanser Verlag, 1993.
123. Verband für Arbeitstudien und Betriebsorganisation e.V.: *Methodenlehre des Arbeitsstudiums, Teil 1*. München: Hanser-Verlag, 1989.
124. Wand, G.: *Die Bewertung des stochastischen Aspektes der produktiven Faktoren bautechnologischer Prozesse*. Dissertation. Hochschule Wismar, 1973.
125. Warnecke, H.-J.: *Organisation, Produkt, Planung*. 3., unveränd. Aufl. Der Produktionsbetrieb 1. Berlin: Springer Verlag, 1995.
126. Weeber, H. u.a.: *Vergabeverfahren und Baukosten*. Bauforschung für die Praxis ; 56. Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verlag, 2001.
127. Wendehorst, R. u.a.: *Bautechnische Zahlentafeln*. 28., neubearbeitete Auflage. Stuttgart: Teubner Verlag, 1998.
128. Werner, A.: *Rechnergestützte Terminplanung zur Effektivitätssteigerung im Hochbau*. Diplomarbeit. Universität Rostock, Fachbereich Bauingenieurwesen, 1995.
129. Werner, A.: *Datenbankgestützte Risikoanalyse von Bauprojekten: eine Methode zur rechnergestützten Monte-Carlo-Simulation des Bauablaufes für die Risikoanalyse im Bauunternehmen*. Dissertation. Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Fachbereich Landeskultur- und Umweltschutz, Institut für Baubetriebswirtschaft, 2003.
130. Westkämper, E. u.a.: *Die Rolle der Zeitwirtschaft in wandlungsfähigen Unternehmensstrukturen*. in Fortschrittliche Betriebsführung und Industrial engineering: FB IE. 1/1997, S. 19-23.
131. Westkämper, E. u.a.: *Prognose von Vorgabezeiten mit Neuronalen Netzen für variantenreiche Kleinserienprodukte*. in Industrie Management. 13/1997, S. 33-37.

132. Deutscher Wetterdienst: *Klimadaten Wetterstation Warnemünde, 2001-2004*. <http://www.dwd.de/de/>, (04.02.2005).
133. Wiesehahn, A.: *Geschäftsprozeßoptimierung für Versicherungsunternehmen: theoretische Konzeption und praktische Durchführung*. Controlling-Praxis. München: Verlag Vahlen, 2001.
134. Winkelmann, M.: *Zur Berücksichtigung von stochastischen Einflüssen bei der Ablaufplanung von Verkehrsbauprozessen: dargestellt am Beispiel der Witterung*. Dissertation. Hochschule für Verkehrswesen, Fakultät für Technik, 1984.
135. Winkelmann, M.: *Realistische Bauablaufplanung durch ein Korrekturbeiwertverfahren für die zeitliche Dimensionierung von Prozessstufen*. in Bauplanung - Bautechnik. 8/1986, S. 370-373.
136. Wischnewski, E.: *Aktives Projektmanagement für das Bauwesen: eine Anleitung zur effektiven Unterstützung, Durchführung und Steuerung von Bauprojekten*. 2., vollst. überarb. und erw. Aufl. Business computing. Braunschweig: Vieweg Verlag, 1997.
137. Witteler, H.-G.: *Schwachstellen-Analyse der Bauunternehmung und Möglichkeiten zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit*. 2. Aufl. Baubetrieb und Baumaschinen; 3. Berlin: Univ.-Bibl. d. Techn. Univ., Abt. Publ., 1984.
138. Zentralverband des Deutschen Baugewerbes: *ARH - Arbeitszeit Richtwerte Holzbau: Holzbau - Zimmerarbeiten*. 2., überarb. Aufl., Gesamtausg. Neu-Isenburg: Zeittechnik-Verlag, 2002.
139. Zülch, G.: *Zeitwirtschaftliche Voraussetzungen für die simulationsunterstützte Planung von Produktionssystemen*. in REFA-Nachrichten. 2/2004, S. 4-11.

Selbständigkeitserklärung

Ich erkläre, dass ich die eingereichte Dissertation selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Rostock, den

Thesen

- Besonders in wirtschaftlich angespannten Phasen spielen die Angaben über die Dauer der ausgeführten Bauarbeiten und deren jeweilige Teiltätigkeiten zur Sicherung des Fortbestandes des Bauunternehmens eine besondere Rolle.
- Es existiert eine Vielzahl an Methoden zur Ermittlung von Vorgangsdauern als Grundlage für die Planung und Steuerung im Baubetrieb. Den klassischen Zeitermittlungsmethoden stehen dabei zunehmend die Ergebnisse aus Simulationsmodellen gegenüber. Jedoch fehlen vielfach genaue Kenntnisse über Zeitwerte und deren Entstehungsbedingungen, um diese Modelle entsprechend zu validieren.
- Die im Rahmen dieser Untersuchung entwickelte Verfahrensweise ermöglicht die Ermittlung realitätsnaher Vorgangsdauern, die in den Grenzen einer gegebenen statistischen Sicherheit zuverlässige und realistische Planungsdaten für das Bauunternehmen darstellen.
- Die zu erwartenden Vorgangsdauern setzen sich durch die entwickelte Verfahrensweise aus einem abgeleiteten Grundzeitwert (bezogen auf die jeweilig ausgeführte Arbeit sowie die Kolonne) und den quantifizierten Zuschlagsfaktoren entsprechend der zu erwartenden Einflüsse auf der Baustelle, welche den Verteil- und Erholzeitanteil charakterisieren, zusammen.
- Die Anteile der Zeitarten sowie deren Variation sind durch in Interaktion stehende Einflüsse gekennzeichnet. Die Zeitartenanteile sind auf Basis der in REFA beschriebenen Multimomentaufnahme erfassbar und deren Variation aufgrund der Einflüsse mit Hilfe multivariater statistischer Analysen quantifizierbar. Es ist zwischen konstant und variabel auf Zeitanteile wirkenden Einflüssen zu unterscheiden.
- Über die theoretisch entwickelte Methode zur Quantifizierung von Einflüssen auf lohnintensive Arbeiten sind die variablen Einflüsse am Beispiel Pflasterarbeiten eindeutig und statistisch gesichert nachweis- und quantifizierbar. Die konstanten Einflüsse lassen sich anhand der Berechnung des Grundzeitwertes (Anteil der Grundzeit in Bezug auf die tägliche Arbeitszeit und die aufgemessene Leistung) und dessen Variation nicht eindeutig nachweisen, so dass zu überlegen ist, ob dafür alternative Methoden anzuwenden sind.

- Der Nutzleistungsfaktor f_E zur Angleichung der Grundleistung einer Baumaschine und der berechnete Korrekturfaktor k_E zur Angleichung des Grundzeitwertes eines durch die Arbeitsperson geprägten Vorganges sind in ihrer Ausprägung ähnlich.
- Der Grundzeitwert bildet ein Stammdatum des Unternehmens. Der über die entwickelte Verfahrensweise und die quantifizierten Einflüsse ermittelbare Soll-Zeitwert ist Grundlage der Planungs- und Steuerungsprozesse im Unternehmen. Seine individuelle Anpassung an zu erwartende Bedingungen stellt einen hohen Realitätsbezug dar.
- Die Angleichung eines auf den ausgeführten Vorgang bezogenen Grundzeitwertes mittels des berechneten Korrekturfaktors k_E und k_{er} ist im Vergleich zu anderen Methoden ein Genauigkeitsgewinn. Die abgeleiteten Vorgangsdauern sind transparent in ihrer Zusammensetzung und unternehmens- bzw. arbeitspezifischer als die durch die im Baubetrieb üblich angewendeten Methoden der Zeitwertermittlung. Die Multimomentaufnahme ist ein geeignetes Werkzeug im Bau- betrieb zur Analyse der verschiedenen genutzten Zeitanteile eines Vorgangs. Die Kombination der aus einer Multimomentaufnahme abgeleiteten Grundzeitwerte mit den aus der Analyse gebildeten quantifizierten Zuschlagsfaktoren ist für das Unternehmen eine geeignete wirtschaftliche Methode der Zeitwertermittlung.
- Die Methode zur Quantifizierung der Einflüsse ist auch für von Pflasterarbeiten verschiedene Arbeiten anwendbar. Dafür ist jedoch eine Überprüfung der gegebenenfalls unterschiedlich wirkenden Einflüsse sowie die Beschreibung und Zuordnung der jeweiligen Teilvergänge des neu zu betrachtenden Vorgangs Voraussetzung.
- Die Ergebnisse der Untersuchung haben sowohl für die betriebliche Praxis als auch als Grundlage weiterführender Forschungsarbeiten im Bereich der Simulation von Bauprozessen und -abläufen Bedeutung.