

# Prozessorientierter Nachweis von Produktivitätsverlusten auf Baustellen

Dem Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie  
der Technischen Universität Darmstadt  
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)  
genehmigte Dissertation

von  
Dipl.-Ing. Sandra Sondermann  
aus Olpe

Darmstadt, im April 2013

D 17

**ULB Darmstadt**



**18489350**

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Ausgangssituation und Anlass der Arbeit .....	1
1.2 Zielsetzung der Arbeit .....	2
1.3 Vorgehensweise .....	3
<b>2 Arbeitsproduktivität in der Bauindustrie</b> .....	<b>5</b>
2.1 Definition der Produktivität .....	5
2.2 Definition des Produktivitätsverlustes .....	6
<b>3 Der Soll-Bauprozess</b> .....	<b>9</b>
3.1 Definition .....	9
3.2 Bauprozessablaufplanung.....	10
3.2.1 Gliederung des Bauwerks .....	10
3.2.2 Ermittlung der Teilmengen .....	11
3.2.3 Festlegung der Teilprozesse nach Art, Reihenfolge und Folgezeit .....	12
3.2.4 Ermittlung der Aufwandswerte .....	12
3.2.5 Ermittlung der Dauer einzelner Teilprozesse.....	14
3.2.6 Erstellen eines Arbeitsverzeichnisses .....	15
3.3 Darstellungsformen eines Bauablaufes .....	16
3.3.1 Balkenplan .....	16
3.3.2 Liniendiagramm/Zeit-Wege-Diagramm.....	16
3.3.3 Netzplan .....	17
3.4 Grundlagen der Kalkulation .....	17
3.4.1 Die Kosten- und Leistungsrechnung.....	17
3.4.2 Angebotskalkulation.....	18
3.4.3 Auftrags- und Vertragskalkulation .....	19
3.4.4 Arbeitskalkulation.....	19
3.4.5 Nachkalkulation .....	19
<b>4 Baurechtliche Anforderungen an den Nachweis von Produktivitätsverlusten</b> .....	<b>21</b>
4.1 Anspruchsgrundlage.....	21

4.2	Kausalitätsnachweis .....	21
4.2.1	<i>Haftungsbegründender Kausalitätsnachweis</i> .....	21
4.2.2	<i>Haftungsausfüllender Kausalitätsnachweis</i> .....	22
4.2.2.1	Ansprüche aus § 2 Abs. 5 und Abs. 6 VOB/B .....	23
4.2.2.2	Ansprüche aus § 6 Abs. 6 VOB/B .....	24
4.2.2.3	Ansprüche aus § 642 BGB .....	26
<b>5</b>	<b>Faktoren, die die Produktivität beeinflussen .....</b>	<b>29</b>
<b>6</b>	<b>Qualifizierter Nachweis von Produktivitätsverlusten .....</b>	<b>33</b>
6.1	<i>Allgemeines</i> .....	33
6.2	<i>Anforderungen an eine adäquat kausale Nachweisführung von Produktivitätsverlusten im Bauprozess</i> .....	33
6.2.1	<i>Anforderungen an die Dokumentation</i> .....	33
6.2.1.1	Bautagesbericht .....	33
6.2.1.2	Planlisten .....	34
6.2.1.3	Schriftverkehr .....	35
6.2.1.4	Störungsdatenblätter .....	36
6.2.1.5	Nachtragsliste .....	37
6.2.2	<i>Anforderungen an den Soll-Bauablauf</i> .....	37
6.2.3	<i>Anforderungen an den Ist-Bauablauf</i> .....	39
6.2.4	<i>Anforderungen an die Kalkulation</i> .....	39
6.3	<i>Möglichkeiten zur Visualisierung des Kausalitätsnachweises</i> .....	40
6.3.1	<i>Allgemeines</i> .....	40
6.3.2	<i>Bauprozessanalyse durch eine vorgangswise Betrachtung</i> .....	40
6.3.2.1	1. Schritt: Vergleich von Soll- und Ist-Dauern .....	40
6.3.2.2	2. Schritt: Erstellung einer bauablaufbezogenen Darstellung der Störungseinflüsse, die zu Produktivitätsverlusten geführt haben .....	44
6.3.2.3	3. Schritt: Bestimmung von $\alpha$ und $D_z - D_E$ .....	45
6.3.3	<i>Leistungswertanalyse</i> .....	46
<b>7</b>	<b>Verfahren zur Quantifizierung von Produktivitätsverlusten ....</b>	<b>49</b>
7.1	<i>Allgemeines</i> .....	49
7.2	<i>Verfahren, die kumulierte Produktivitätsverluste ermitteln</i> .....	49
7.2.1	<i>Projektspezifische Verfahren</i> .....	50
7.2.2	<i>Projektvergleichende Verfahren</i> .....	50
7.2.3	<i>Ermittlungen auf Grundlage einer Kostenanalyse</i> .....	50
7.3	<i>Verfahren, die Produktivitätsverluste für einzelne Ursachen ermitteln</i> .....	50

7.3.1	<i>Ursachenbezogene Studien</i> .....	50
7.3.2	<i>Allgemeine Studien, die mehrere Ursachen berücksichtigen</i> .....	51
7.4	Verfahren, die Produktivitätsverluste resultierend aus Bauausführungsänderungen ermitteln.....	51
<b>8</b>	<b>Projektspezifische Verfahren</b> .....	<b>53</b>
8.1	Verfahren mit einer Betrachtung über die Gesamtbauzeit.....	53
8.1.1	<i>Measured Mile-Methode</i> .....	53
8.1.2	<i>Baseline-Methode nach Thomas und Zavrski</i> .....	56
8.1.3	<i>Baseline-Methode nach Gulezian und Samelian</i> .....	59
8.1.4	<i>Improved Measured Mile-Methode</i> .....	63
8.1.5	<i>Zusammenfassung</i> .....	64
8.2	Verfahren mit einer Ermittlung auf der Grundlage einer Stichprobe.....	65
8.2.1	<i>Multimomenthäufigkeits-Studie</i> .....	65
8.2.2	<i>Aufwandswert-Kontroll-Blatt nach Dorn</i> .....	66
8.2.3	<i>Craftsman Questionnaire Sampling Methode</i> .....	69
8.2.4	<i>Zusammenfassung</i> .....	71
<b>9</b>	<b>Projektvergleichende Verfahren</b> .....	<b>73</b>
<b>10</b>	<b>Ursachenbezogene Studien</b> .....	<b>75</b>
10.1	Allgemeines.....	75
10.2	Verlust des Einarbeitungseffektes.....	75
10.2.1	<i>Definition</i> .....	75
10.2.2	<i>Wirkung des Einarbeitungseffektes auf die Produktivität</i> .....	75
10.2.3	<i>Einarbeitungseffekt in Abhängigkeit von der Art der Tätigkeit</i> .....	78
10.2.4	<i>Einarbeitungseffekt in Abhängigkeit von der Abschnittsgröße</i> .....	81
10.2.5	<i>Formeln zur Quantifizierung des Einarbeitungseffektes</i> .....	83
10.2.5.1	Allgemeines.....	83
10.2.5.2	Wright (1936).....	83
10.2.5.3	De Jong (1969).....	84
10.2.5.4	Körner (1982).....	85
10.2.5.5	Larew (1996).....	86
10.2.5.6	<i>Zusammenfassung</i> .....	87
10.2.6	<i>Wirkung von Unterbrechungen auf den Einarbeitungseffekt</i> .....	88
10.2.7	<i>Verfahren zur Quantifizierung des Verlustes des Einarbeitungseffektes</i> .....	90
10.2.7.1	Gates und Scarpa (1972).....	90

10.2.7.2	Lang (1988).....	93
10.2.7.3	Hager (1991).....	98
10.2.7.4	Thomas und Oloufa (1995).....	100
10.2.7.5	Zusammenfassung .....	102
10.3	Überstunden .....	103
10.3.1	Definition.....	103
10.3.2	Wirkung von Überstunden auf die Produktivität.....	103
10.3.3	Quantifizierung des Einflusses der täglichen Arbeitszeit.....	103
10.3.3.1	Lang/Winter (1988) .....	103
10.3.3.2	Hager (1991).....	105
10.3.3.3	Kapellmann/Schiffers (2006).....	107
10.3.3.4	Hofstadler (2011).....	108
10.3.3.5	Schlagbauer (2011).....	110
10.3.3.6	Zusammenfassung .....	112
10.3.4	Quantifizierung des Einflusses der wöchentlichen Arbeitszeit.....	114
10.3.4.1	Allgemeines .....	114
10.3.4.2	Bureau of Labor and Statistics Bulletin 917 (1947).....	114
10.3.4.3	Howerton (1969).....	116
10.3.4.4	Business Roundtable (1980).....	117
10.3.4.5	Haneiko und Henry (1991) .....	119
10.3.4.6	Thomas und Raynar (1997) .....	121
10.3.4.7	Hanna, Taylor und Sullivan (2005) .....	123
10.3.4.8	Hanna und Haddad (2009).....	125
10.3.4.9	Zusammenfassung .....	129
10.4	Schichtarbeit .....	130
10.4.1	Definition.....	130
10.4.2	Einfluss der Schichtarbeit auf die Arbeitsproduktivität .....	130
10.4.2.1	Haneiko und Henry (1991) .....	131
10.4.2.2	Lieb (1996) .....	132
10.4.2.3	Hanna (2007) und Hanna et al. (2008) .....	133
10.4.3	Zusammenfassung .....	138
10.5	Personalverdichtung.....	139
10.5.1	Definition.....	139
10.5.2	Wirkung auf die Produktivität .....	139
10.5.3	Quantifizierung der Produktivitätsverluste.....	139
10.5.3.1	Allgemeines .....	139
10.5.3.2	Einfluss der Kolonnenstärke auf die Produktivität nach Lang (1988).....	140
10.5.3.3	Einfluss längerer Kranwartezeiten nach Hager (1991).....	141
10.5.3.4	Einfluss des Verteilens der Tätigkeiten auf eine zugeordnete Taktzeit nach Hager (1991).....	143
10.5.3.5	Einfluss zu vieler Arbeitskräfte auf zu engem Raum nach Hager (1991) .....	144
10.5.3.6	Einfluss der Personalverdichtung bei Leistungen im Klima-, Lüftungs- und Heizungsanlagenbau nach Hanna et al. (2007).....	146
10.5.3.7	Einfluss der Personalverdichtung auf Elektroarbeiten nach Hanna (2007).....	149

10.5.3.8 Einfluss des Mindestarbeitsraums auf die Produktivität nach Hofstadler (2011) .....	151
10.5.4 Zusammenfassung .....	153
<b>10.6 Witterungseinflüsse .....</b>	<b>154</b>
10.6.1 Definition.....	154
10.6.2 Wirkung der Witterung auf die Produktivität.....	154
10.6.3 Einfluss von niedrigen Temperaturen .....	155
10.6.3.1 Wittrock (1967).....	155
10.6.3.2 Lang (1987).....	156
10.6.3.3 Zusammenfassung .....	158
10.6.4 Einfluss von Temperatur und Luftfeuchtigkeit .....	159
10.6.4.1 Grimm und Wagner (1974).....	159
10.6.4.2 Koehn und Brown(1984) .....	160
10.6.4.3 Thomas und Yiakoumis (1987) .....	162
10.6.4.4 Hancher und Abd-Elkhalek (1998).....	164
10.6.4.5 Zusammenfassung .....	166
10.6.5 Einfluss von Temperatur, Wind und Niederschlag.....	168
10.6.5.1 Abele (1986) .....	168
10.6.5.2 Oglesby, Parker und Howell (1989) .....	170
10.6.5.3 Fetzner (2007).....	172
10.6.5.4 Schneider und Spiegel (2009).....	176
10.6.5.5 Zusammenfassung .....	178
<b>11 Leistungsänderungen und deren Sekundärverzögerungen ....</b>	<b>179</b>
11.1 Allgemeines .....	179
11.2 Definition .....	179
11.3 Wirkung einer Häufung von Leistungsänderungen .....	180
11.4 Leonard Studie (1988) .....	180
11.5 Thomas und Napolitan (1995).....	186
11.6 Studien von Ibbs (1995, 2005).....	189
11.7 Studien von Hanna.....	194
11.7.1 Allgemeines .....	194
11.7.2 Hanna et al. (1999a).....	194
11.7.3 Hanna et al. (1999b).....	197
.....	199
.....	202

12.1	National Electrical Contractor's Association (NECA), Manuel of labor units (1976)	203
12.2	US Army Corps of Engineers, Modification Impact Evaluation Guide (1979)	205
12.2.1	<i>Unterbrechungen</i>	205
12.2.2	<i>Personalverdichtung</i>	208
12.2.3	<i>Beschleunigung</i>	209
12.2.4	<i>Motivationsverlust</i>	211
12.3	Petzschmann (1994)	212
12.4	Mechanical Contractors Association of America (2005)	213
12.5	Zusammenfassung	215
<b>13</b>	<b>Ermittlungen auf Grundlage einer Kostenanalyse</b>	<b>217</b>
13.1	Gesamtarbeitskosten-Methode (Total Cost Method)	217
13.2	Modifizierte Gesamtarbeitskosten-Methode (Modified Total Cost Method)	218
13.3	Arbeitswertanalyse (Earned Value Analyse)	219
13.4	Actual Cost-Methode nach Schwartzkopf/McNamara	223
13.5	Methode zur Ermittlung der Kosten geänderter Bauabläufe nach Toffel	225
13.6	Zusammenfassung	227
<b>14</b>	<b>Entscheidungsprozess zur Auswahl einer Methode</b>	<b>229</b>
14.1	Entscheidungspunkt <b>Nr. 1</b> : Bestimmung von $PV_{max}$	230
14.2	Entscheidungspunkt <b>Nr. 2</b> : Ursachenbestimmung	231
14.3	Entscheidungspunkte Nr. 3, Nr. 4 und Nr. 5: Anzahl der Ursachen sowie Umfang des Störungszeitraums	231
14.3.1	<i>Allgemeines</i>	231
14.3.2	<b>Nr. 3</b> : Eine Ursache + begrenzter Störungszeitraum	232
14.3.3	<b>Nr. 4</b> : Eine oder mehrere Ursachen + kein begrenzter Störungszeitraum erforderlich	232
14.3.4	<b>Nr. 5</b> : Mehrere Ursachen + begrenzter Störungszeitraum	233
14.4	Entscheidungspunkte Nr. 6, Nr. 7 und Nr. 8: Bewertung der Dokumentation	234
14.4.1	<i>Allgemeines</i>	234
14.4.2	<b>Nr. 6</b> : Ausgezeichnete Dokumentation	234
14.4.3	<b>Nr. 7</b> : Ausreichende Dokumentation	234
14.4.4	<b>Nr. 8</b> : Unzureichende Dokumentation	235

14.5 Weitere Auswahl der Verfahren (Buchstaben).....	236
14.5.1 Allgemeines .....	236
14.5.2 Ursachenbezogene Studien <b>A</b> bis <b>E</b> .....	236
14.5.2.1 Allgemeines .....	236
14.5.2.2 Einarbeitungseffekt <b>A</b> .....	237
14.5.2.3 Überstunden <b>B</b> .....	239
14.5.2.4 Schichtarbeit <b>C</b> .....	241
14.5.2.5 Personalverdichtung <b>D</b> .....	242
14.5.2.6 Witterung <b>E</b> .....	244
14.5.3 Allgemeine Studien, die mehrere Ursachen berücksichtigen <b>F</b> bis <b>I</b> .....	246
14.5.4 Produktivitätsverluste aufgrund von Leistungsänderungen <b>L</b> .....	248
14.5.5 Projektspezifische Verfahren <b>J</b> und <b>K</b> mit einer Ermittlung über die Gesamtbauzeit.....	250
14.5.5.1 Allgemeines .....	250
14.5.5.2 Measured Mile-Methode <b>J</b> .....	250
14.5.5.3 Baseline-Methode <b>K</b> .....	251
14.5.6 Projektspezifische Verfahren mit Produktivitätsmessungen auf Basis einer Stichprobe <b>M</b> , <b>N</b> und <b>P</b> .....	252
14.5.6.1 Allgemeines .....	252
14.5.6.2 Multimomenthäufigkeits-Studie/Work Sampling-Methode <b>M</b> .....	252
14.5.6.3 Aufwandswert-Kontroll-Blatt nach Dorn <b>N</b> .....	252
14.5.6.4 Craftsman Questionnaire Sampling-Methode <b>P</b> .....	253
14.5.7 Projektvergleichende Verfahren <b>Q</b> .....	253
14.5.8 Ermittlung auf Grundlage einer Kostenanalyse <b>Q</b> , <b>R</b> , <b>S</b> und <b>T</b> .....	255
14.5.8.1 Actual Cost-Methode <b>Q</b> .....	255
14.5.8.2 Arbeitswertanalyse (Earned Value-Methode) <b>R</b> .....	256
14.5.8.3 Gesamtarbeitskosten-Methode <b>T</b> .....	257
14.5.8.4 Modifizierte Gesamtarbeitskosten-Methode <b>S</b> .....	257
<b>15 Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>259</b>
<b>16 Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>263</b>
<b>17 Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>267</b>
<b>18 Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>269</b>
<b>19 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>273</b>
<b>20 Dissertationen des Instituts für Baubetrieb der Technischen     Universität Darmstadt.....</b>	<b>281</b>