

**Entwicklung einer systematischen  
Kostenberechnungsmethodik auf der Basis eines  
standardisierten Grundkonzepts mit dem Ziel einer  
zutreffenden präoperativen Ermittlung der Herstellkosten  
für Bauvorhaben in einem untertägigen Grubenbetrieb  
am Beispiel des Forschungs- und Lehrbergwerks der  
TU Bergakademie Freiberg**

---

Von der Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau  
der Technischen Universität Bergakademie Freiberg  
genehmigte

**DISSERTATION**

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktor-Ingenieur  
Dr.-Ing.

vorgelegt

von M. Eng. Tobias Lupek  
geboren am 19.03.1989 in Wiesbaden

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Helmut Mischo Pr. Eng.  
Prof. Dr.-Ing. Stefan Plaum  
Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Per Nicolai Martens

Tag der Verleihung: 24.08.2017

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	VIII
Tabellenverzeichnis.....	X
Abkürzungsverzeichnis .....	XII
1 Einleitung .....	1
1.1 Problemdefinition und Aufgabenstellung .....	2
1.2 Zielsetzung.....	4
1.3 Struktur der Arbeit .....	5
2 Hintergrund .....	7
2.1 Definition und Relevanz von Bauleistungen unter Tage .....	7
2.2 Motivation und Zweck.....	10
3 Sachstände und Rahmenbedingungen .....	13
3.1 Betriebliches Rechnungswesen.....	13
3.1.1 Kosten- & Leistungsrechnung eines fiktiven Bergwerks .....	14
3.1.2 Bezug zur Forschungsarbeit .....	19
3.2 Vertragsrechtliche Aspekte.....	20
3.2.1 Klassische Bauvertragstypen in Deutschland.....	20
3.2.2 Bezug zur Forschungsarbeit .....	21
3.3 Kostenkalkulation im Bauwesen.....	22
3.3.1 Kalkulationsverlauf im Bauunternehmen.....	22
3.3.1.1 Angebotskalkulation.....	23
3.3.1.2 Auftragskalkulation .....	25
3.3.1.3 Arbeitskalkulation .....	26
3.3.1.4 Nachtragskalkulation.....	28
3.3.1.5 Nachkalkulation.....	29
3.3.1.6 Bezug zur Forschungsarbeit .....	29
3.3.2 Bestandteile der Baukostenkalkulation .....	29
3.3.2.1 Einzelkosten der Teilleistungen – Direkte Kosten .....	30
3.3.2.1.a Lohnkosten.....	32
3.3.2.1.b Stoffkosten .....	34

3.3.2.1.c	Gerätekosten .....	35
3.3.2.1.d	Nachunternehmer .....	37
3.3.2.1.e	Sonstige Kosten .....	38
3.3.2.2	Baustellengemeinkosten – Indirekte projektabhängige Kosten .....	38
3.3.2.3	Allgemeine Geschäftskosten – Indirekte unternehmensabhängige Kosten .....	40
3.3.2.4	Bezug zur Forschungsarbeit .....	42
3.3.3	Arten der Baukostenkalkulation .....	42
3.3.3.1	Zuschlagskalkulation mit vorausbestimmten Zuschlägen .....	43
3.3.3.2	Zuschlagskalkulation über die Angebotsendsumme .....	43
3.3.3.3	Funktionsweise der Baukostenkalkulation .....	47
3.3.3.4	Bezug zur Forschungsarbeit .....	51
3.3.4	Aufwandswerte für die Baukostenkalkulation .....	51
3.3.4.1	Bestimmung von Aufwandswerten .....	52
3.3.4.2	Einflüsse auf die Aufwandswerte .....	55
3.3.4.3	Bezug zu Forschungsarbeit .....	56
3.3.5	Genauigkeitsanforderungen der Baukostenermittlungen .....	57
3.3.5.1	Kostenplanung nach DIN 276-1 .....	57
3.3.5.1.a	Kostenschätzung .....	58
3.3.5.1.b	Kostenberechnung .....	59
3.3.5.1.c	Kostenanschlag .....	60
3.3.5.2	Bezug zur Forschungsarbeit .....	61
3.4	Kostenkalkulation im untertägigen Bergbau .....	62
3.4.1	Bergwirtschaftslehre .....	62
3.4.1.1	Produktionsfaktor ‚Arbeit‘ .....	63
3.4.1.1.a	Einfluss der Unfallgefährdung .....	64
3.4.1.1.b	Einfluss des Klimas .....	65
3.4.1.1.c	Einfluss des Staubs .....	66
3.4.1.1.d	Einfluss des Lärms .....	67
3.4.1.1.e	Einfluss der Arbeitszeit .....	67
3.4.1.2	Produktionsfaktor ‚Betriebsmittel‘ .....	68
3.4.1.3	Produktionsfaktor ‚Energie‘ .....	70

3.4.1.4	Bezug zur Forschungsarbeit .....	71
3.4.2	Kalkulation bergbaulicher Tätigkeiten .....	72
3.4.2.1	Struktur der Zeitaufwände .....	72
3.4.2.1.a	Schichtgebundener Zeitaufwand $t_{A1}$ .....	74
3.4.2.1.b	Abschlag-/ Zyklusgebundener Zeitaufwand $t_{A2}$ .....	75
3.4.2.1.c	Stückzeiten $t_s$ .....	76
3.4.2.2	Bezug zur Forschungsarbeit .....	78
4	Lösungsansatz .....	79
4.1	Umfang der Forschungstätigkeit .....	79
4.2	Verlauf der Ansatzfindung .....	80
4.3	Verfolgter Ansatz .....	82
5	Beschreibung der Forschungs- und Entwicklungsvorgänge .....	85
5.1	Forschungskonzeption .....	85
5.2	Forschungsdurchführung .....	86
5.2.1	Bergwerksbefahrungen .....	86
5.2.2	Befragung Fachunternehmen .....	88
5.2.3	Auswertung Projektdatenbank FLB .....	89
5.2.3.1	Arithmetisches Mittel .....	93
5.2.3.2	Minimum/ Maximum .....	94
5.2.3.3	Median .....	94
5.2.3.4	Robuster Mittelwert (Huber-Schätzer) .....	94
5.2.3.5	Histogramm mit Normalverteilung .....	96
5.2.3.6	Weiterführende Angaben .....	96
5.2.3.7	Darstellung und Ergebnisse der statistischen Auswertung .....	96
5.2.4	Auswertung Aufwandswerte bestehender Literatur .....	98
5.2.5	Feldversuche am FLB .....	99
5.2.5.1	Referenzierung des Grubenrisswerks .....	99
5.2.5.2	Messreihe Fortbewegungsgeschwindigkeiten .....	101
5.2.5.3	Messreihe Transportarbeiten .....	103
6	Auswertung und Diskussion der Erkenntnisse .....	106
6.1	Befragungserkenntnisse .....	106

6.1.1	Umfang und Qualität von Ausschreibungen.....	106
6.1.2	Vorgehensweise bei der Angebotsbearbeitung.....	107
6.1.3	Übliche Vertragstypen.....	108
6.1.4	Nachtragssachverhalte.....	108
6.1.5	Kalkulationsgrundlagen.....	108
6.1.6	Kostenarten der Einzelkosten der Teilleistungen.....	109
6.1.7	Beeinflussung der Lohnkosten.....	110
6.1.8	Gemeinkosten.....	110
6.1.9	Typische untertägige Bauleistungen.....	111
6.2	Abgrenzung von Bauleistungen unter Tage zu Bergbauleistungen.....	111
6.2.1	Längenbezogene Anlagen und Einrichtungen.....	114
6.2.2	Flächenbezogene Anlagen und Einrichtungen.....	117
6.2.3	Fazit zur Schnittstellendefinition.....	120
6.3	Kostenrelevante untertägige Bedingungen.....	121
6.3.1	Lohnkosten.....	121
6.3.1.1	Zugang zur Baustelle.....	122
6.3.1.2	Personenführung (Personaltransport).....	122
6.3.1.3	Schichtsystem.....	123
6.3.1.4	Kommunikationsmöglichkeiten.....	124
6.3.1.5	Baufreiheit.....	125
6.3.1.6	Qualifikation des Personals.....	126
6.3.1.7	Bewetterung.....	126
6.3.1.8	Einflüsse der Arbeitsumgebung.....	126
6.3.1.8.a	Grubenklima.....	127
6.3.1.8.b	Lichtverhältnisse.....	127
6.3.1.8.c	Ergonomie und Dimension der Arbeitsplätze.....	128
6.3.1.8.d	Gefährdungssituation der Arbeitsplätze.....	129
6.3.1.8.e	Beschaffenheit der Arbeitsplätze.....	130
6.3.2	Stoffkosten.....	130
6.3.2.1	Transportwege und Transporteinrichtungen.....	131
6.3.2.1.a	Tageszugang.....	132

6.3.2.1.b	Streckennetz.....	133
6.3.2.1.c	Planung und Signifikanz der Transportarbeiten.....	134
6.3.2.2	Einflüsse der Arbeitsumgebung .....	136
6.3.2.2.a	Geometrie des Baustellenbereichs .....	136
6.3.2.2.b	Luftfeuchtigkeit.....	137
6.3.2.2.c	Aggressive Grubenwässer.....	137
6.3.2.2.d	Schmutz.....	137
6.3.2.2.e	Signifikanz der Arbeitsumgebungseinflüsse.....	138
6.3.2.3	Versorgungsinfrastruktur.....	138
6.3.3	Gerätekosten.....	139
6.3.3.1	Geometrie des Baustellenbereichs.....	139
6.3.3.2	Transportwege und Transportmöglichkeiten.....	140
6.3.3.3	Einflüsse der Arbeitsumgebung .....	141
6.3.3.3.a	Luftfeuchtigkeit und aggressive Grubenwässer .....	141
6.3.3.3.b	Schmutz.....	142
6.3.3.3.c	Wetter und Bewetterung.....	143
6.3.3.3.d	Sohlbeschaffenheit.....	143
6.3.3.4	Versorgungsinfrastruktur.....	144
6.3.4	Kalkulation der Transportkosten .....	145
6.3.4.1	Beispielrechnung.....	145
6.3.4.2	Lösungsvorschlag zur Berücksichtigung der Transportkosten.....	147
6.4	Systematische Baustellenbewertung.....	147
6.4.1	Produktivitätsverluste .....	149
6.4.1.1	Nachtarbeit .....	150
6.4.1.2	Beengte Arbeitsbereiche.....	151
6.4.1.3	Limitierte Kolonnenstärke.....	155
6.4.1.4	Temperatur .....	156
6.4.1.5	Beleuchtungssituation.....	158
6.4.1.6	Berücksichtigung der Produktivitätsverluste.....	159
6.4.2	Unproduktive Zeiten.....	160
6.4.2.1	Ruhe- bzw. Arbeitspausen.....	161

6.4.2.2	Verlustzeiten durch Fahrung.....	161
6.4.2.3	Planmäßige Stillstände.....	162
6.4.2.4	Verlustzeiten durch anderweitige Tätigkeiten .....	162
6.4.2.5	Limitierung der Arbeitsdauer.....	163
6.4.2.6	Berücksichtigung unproduktiver Zeiten – Der Schichtfaktor .....	163
6.5	Fortbewegung und Transporte am Forschungs- und Lehrbergwerk (FLB) .....	166
7	Kalkulationsleitfaden CE-SiuM©.....	168
7.1	Phase 1 – Bauinhalte und Baumstände .....	169
7.2	Phase 2 – Baustellenanalyse.....	173
7.3	Phase 3 – Baustellenplanung.....	175
7.4	Phase 4 – Baukostenkalkulation.....	178
7.5	Schaubild zur Baukostenkalkulation .....	180
8	Sensitivitätsanalyse.....	182
8.1	Funktionsprinzip der Lohnkostenermittlung .....	183
8.2	Definition sensibler Parameter .....	185
8.3	Aussage der Analyseergebnisse .....	188
9	Testkalkulation .....	190
9.1	Phase 1 – Bauinhalte und Baumstände .....	190
9.1.1	Ausschreibungsunterlagen zur Bauleistung.....	191
9.1.2	Ausschreibungsunterlagen zum Bergwerk .....	195
9.1.3	Prüfung der Ausschreibungsunterlagen .....	196
9.1.4	Ortsbesichtigung .....	196
9.1.5	Entscheidung über die Angebotsabgabe .....	196
9.2	Phase 2 – Baustellenanalyse.....	196
9.2.1	Auswertung der Baustellenanalyse.....	197
9.3	Phase 3 – Baustellenplanung.....	198
9.3.1	Technologieplanung – Wahl Bauverfahren .....	199
9.3.2	Technologieplanung – Wahl Baustoffe .....	201
9.3.3	Technologieplanung – Wahl Nachunternehmer .....	202
9.3.4	Arbeits- und Ablaufplanung – Kapazitätsplanung.....	202
9.3.5	Arbeitsvorbereitung – Logistik und Organisation .....	205

9.3.6	Arbeitsvorbereitung – Planung zusätzlicher Arbeiten.....	206
9.3.7	Arbeits- und Ablaufplanung – Feinterminplanung.....	207
9.3.8	Prüfung terminlicher und technischer Risiken .....	208
9.4	Phase 4 – Baukostenkalkulation .....	209
9.4.1	Ermittlung der Einzelkosten der Teilleistungen .....	210
9.4.2	Ermittlung der Transportgemeinkosten .....	211
9.4.3	Ermittlung der Baustellengemeinkosten.....	215
9.4.4	Herstellkosten des Bauvorhabens.....	215
9.5	Evaluation der Testkalkulation .....	215
9.5.1	Bildung der Vergleichsdatenbasis .....	216
9.5.2	Vergleich der Kalkulationsergebnisse .....	219
9.5.2.1	Arbeitsstunden und Lohnkosten .....	220
9.5.2.2	Stoffkosten.....	220
9.5.2.3	Transportkosten .....	220
9.5.3	Bewertung der Funktionsweise .....	221
10	Zukünftiger Forschungsbedarf .....	222
11	Zusammenfassung .....	224
12	Fazit und Schlussfolgerungen .....	234
	Quellenverzeichnis .....	235
	Bibliographische Daten des Leitfadens CE-SiuM .....	240