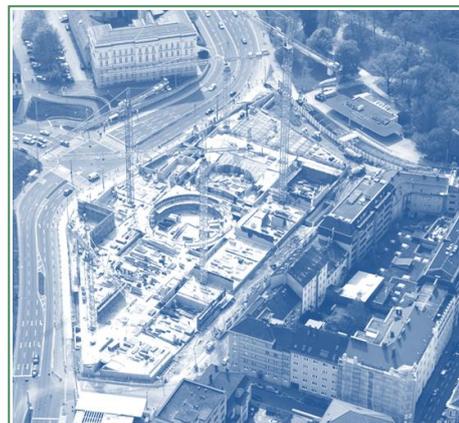
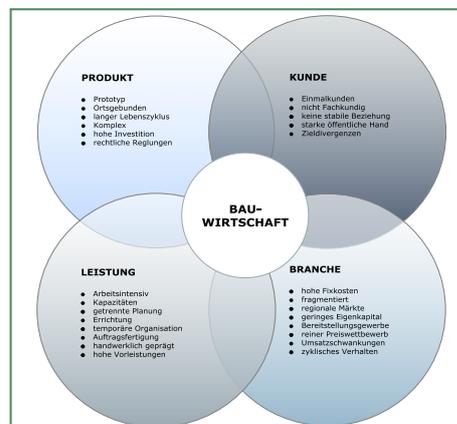
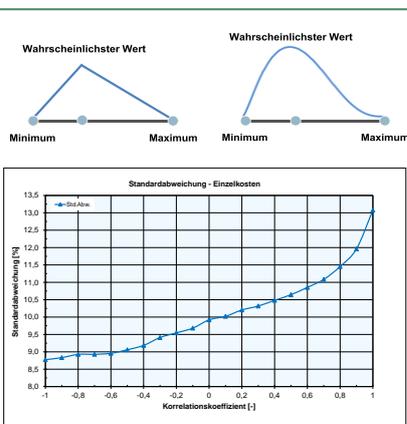


MASTERARBEIT



BERÜCKSICHTIGUNG VON BANDBREITEN UND KORRELATIONEN IM ZUGE VON MONTE-CARLO-SIMULATIONEN FÜR DIE ERMITTLUNG DER BAUKOSTEN

Grišević Edin, BSc.

Vorgelegt am
 Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft

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

Mitbetreuender Assistent
 Dipl.-Ing. Markus Kummer

Graz am 02. März 2014

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

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

Graz, am

.....

(Unterschrift)

STATUTORY DECLARATION

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

Graz,

date

.....

(signature)

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen danken, die mir während meiner Masterarbeit mit Rat und Tat zur Seite standen.

Für die Betreuung von universitärer Seite bedanke ich mich bei Herrn Assoc. Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Hofstadler. Vielen Dank auch an Herrn Dipl.-Ing. Markus Kummer für die hilfreichen Anregungen und das große Interesse an dieser Arbeit.

Besonderer Dank gebührt meiner Familie, die mich die gesamte Ausbildungszeit hindurch unterstützt hat.

(Ort), am (Datum)

(Unterschrift des Studenten)

Kurzfassung

Die vorliegende Masterarbeit beschäftigt sich mit dem gezielten Umgang mit Risiken bei Kostenermittlungen der Stahlbetonarbeiten. Wesentliche Punkte für den Umgang und die Modellierung der Unsicherheiten stellen die Bandbreiten der Eingangsdaten sowie die Korrelationen zwischen den einzelnen Größen dar. Mit der Berücksichtigung dieser Punkte soll das Modell der Realität näher kommen und in weiterer Folge die Aussagekraft der Simulationsergebnisse erhöhen.

Zu Beginn der Arbeit werden Begriffsauffassungen, Grundlagen und Inhalte des Risikomanagementsystems vorgestellt. Zudem wird auf die Risiken und Chancen in der Bauwirtschaft sowie auf die Implementierungsmöglichkeiten des Risikomanagements bei Bauunternehmen eingegangen.

In weiterer Folge werden die Kostenermittlungsverfahren bei Bauprojekten und die Berechnungsgleichungen für die Stahlbetonarbeiten angeführt und erörtert. Abschließend wird im theoretischen Teil der Arbeit auf die Problematiken der „exakten“ Werte (deterministische Werte) und der Prognosen eingegangen. Dabei werden Möglichkeiten für den Umgang mit Unsicherheiten aufgezeigt und näher betrachtet. Letztlich werden die Grundlagen des Simulationsverfahrens sowie die wesentlichen Grundbegriffe der Statistik vorgestellt.

Im empirischen Teil der Arbeit werden unterschiedliche Untersuchungen und Berechnungen mittels der Monte-Carlo-Methode durchgeführt. Das Ziel dabei ist es, den Einfluss von Bandbreiten und Korrelationen im Zuge der Kostenermittlung der Stahlbetonarbeiten aufzuzeigen. Als Referenzprojekt für die Berechnungen wird das Musiktheater in Linz herangezogen. Die Ergebnisse und Erkenntnisse werden Abschließend zusammengefasst.

Abstract

The master thesis at hand deals with the purposeful handling of risks for the costing of reinforced concrete works. Essential points for the handling and the modelling of the ventures show the bandwidths of the incoming data and the correlations between the particular sizes. With the consideration of these points, the model shall depicture the actual situation and, as a consequence, raise the meaningfulness of the simulation results.

At the beginning, the terms, bases and contents of the risk management system are presented. Furthermore, the risks and chances within the construction sector as well as the implementation possibilities of risk management for construction companies are discussed.

Moreover, the cost measures and account equation for the reinforced concrete works are listed and discussed. In the closing section of the theoretical part, the problems of the “exact” values (deterministic values) and the prognoses as well as possibilities for the handling of risks are debated. Finally, the essentials of the simulation processes and the crucial basic terms of the statistics are presented.

In the empirical part of the thesis, the Monte Carlo method is used for various analyses and calculations. The goal is to illustrate the influence of the bandwidths and correlations in the course of the costing of ferro concrete works. The “Musiktheater” (music theatre) in Linz is adduced as reference project. Concluding, the results and findings are summarised.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Grundlagen des Risikomanagements	4
2.1	Das Risiko	4
2.2	Risikomanagement	7
2.2.1	Ziele des Risikomanagements	8
2.2.2	Risikomanagement-System	10
2.3	Risikomanagement-Prozess	11
2.3.1	Risikopolitik und Risikokultur	12
2.3.2	Risikobeurteilung	12
2.3.3	Risikobewältigung	19
2.3.4	Risikoüberwachung und Risikoüberprüfung	21
2.3.5	Kommunikation und Konsultation	21
3	Risikomanagement in der Bauwirtschaft	22
3.1	Ausgangslage der Bauwirtschaft	22
3.2	Risikomanagement bei Bauunternehmen	24
3.2.1	Hauptproblemfelder	24
3.2.2	Kategorisierung der Unternehmensrisiken	27
3.2.3	Das Risikomanagementsystem im Bauunternehmen	30
3.3	Risikomanagement auf Projektebene	33
3.3.1	Risiken bei der Projektrealisierung	33
3.3.2	Risikomanagement-Prozess	35
3.4	Risiken im Bereich der Stahlbetonarbeiten	37
3.4.1	Die wirtschaftliche Bedeutung der Stahlbetonarbeiten	37
3.4.2	Risiken bei Stahlbetonarbeiten	38
4	Kostenplanung und -ermittlung bei Bauprojekten	39
4.1	Definition und Differenzierung des Kostenbegriffes	39
4.2	Kostenplanung bei Bauprojekten	42
4.2.1	Kostenermittlungsverfahren	44
4.2.2	Kostensicherheit und Kostentoleranzen	45
4.2.3	Kostenbeeinflussbarkeit	48
4.3	Ermittlung von Baukosten für die Stahlbetonarbeiten	49
4.3.1	Grobkalkulation der Baukosten für die Stahlbetonarbeiten	50
4.3.2	Detailkalkulation Baukosten für die Stahlbetonarbeiten	51
5	Probabilistische Kostenermittlung	57
5.1	Prognosen und Unschärfen	57
5.2	Umgang mit Unschärfen	60
5.3	Bandbreiten	62
5.3.1	Bandbreiten bei der Kostenermittlung	63
5.3.2	PERT-Methode	63
5.4	Modellierung von Eingangsgrößen	65
5.4.1	Modellierung mittels definierter Verteilungsdichten	67
5.4.2	Überblick der verwendeten Verteilungsformen	69
5.5	Monte-Carlo-Simulation	70
5.6	Grundbegriffe der Statistik	72
5.6.1	Statistik	72
5.6.2	Wahrscheinlichkeitsdichte und Verteilungsfunktion	73
5.6.3	Schiefe versus Symmetrie	73

5.6.4	Lageparameter	74
5.6.5	Streuungsparameter	77
5.7	Korrelationen	79
5.8	@ Risk.....	82
6	Berechnungsbeispiele	83
6.1	Deterministische Kostenberechnung	85
6.1.1	Mengen	85
6.1.2	Aufwandswerte.....	86
6.1.3	Geräte- und Materialkosten.....	86
6.1.4	Einzel- und Herstellkosten	87
6.1.5	Zusammenfassung – Deterministische Kostenberechnung.....	88
6.2	Einfluss der Bandbreiten	89
6.2.1	Bandbreite der Eingangsdaten bezogen auf den Erwartungswert.....	89
6.2.2	Einfluss der Wahl des Modalwertes	104
6.2.3	Gegenüberstellung der Grob- und Detailkalkulation	111
6.2.4	Gegenüberstellung der Ermittlungsmöglichkeiten des Gesamtaufwandwertes	116
6.3	Einfluss der Korrelationen	118
6.3.1	Berücksichtigung der Korrelationen mit @Risk.....	118
6.3.2	Korrelationen zwischen den Eingangsparametern im Zuge der Kostenermittlung der Stahlbetonarbeiten.....	120
6.3.3	Auswirkungen der Korrelationen bei der Berechnung des Gesamtaufwandwertes der Stahlbetonarbeiten	123
6.3.4	Auswirkungen der Korrelationen bei der Berechnung der Einzelkosten der Stahlbetonarbeiten	129
6.3.5	Zusammenfassung – Versuchsreihe 5.....	134
7	Zusammenfassung und Ausblick	135
7.1	Zusammenfassung und Ergebnisse.....	135
7.2	Ausblick	140
A.1	Anhang	141
A.1.1	Kostenermittlung bei Stahlbetonarbeiten	144
A.1.2	Gauß'sche Fortpflanzungsgesetz	146
A.1.3	Einfluss von Korrelationen auf die Berechnungen	148
A.1.4	Simulationsergebnisse der Versuchsreihe Nr. 1/20/x	151
A.1.5	Verlauf der Standardabweichung – Versuch-Nr.: 5/2.....	163
	Literaturverzeichnis	164

Abbildungsverzeichnis

Bild 1.1	Aufbau der Arbeit	3
Bild 2.1	Gliederung der Unsicherheiten (in Anlehnung an Hofstadler und Knight)	5
Bild 2.2	Risikodefinition (in Anlehnung an Flemming/Netzker/Schöttle)	6
Bild 2.3	Risikomanagement-System.....	10
Bild 2.4	Risikomanagement-Prozess.....	12
Bild 2.5	Methoden der Risikoidentifikation.....	14
Bild 2.6	Likert-Skala zur qualitativen Bewertung des Risikos	15
Bild 2.7	Portfolioauswertung.....	16
Bild 2.8	Methoden der Risikobewertung.....	18
Bild 2.9	Strategien zur Ausschöpfung der Chancen und Reduzierung von Gefahren	19
Bild 2.10	Möglichkeiten der Risikobewältigung	20
Bild 3.1	Merkmale der Bauwirtschaft	22
Bild 3.2	Tendenz zum unauskömmlichen Preis – Risikobandbreite	26
Bild 3.3	Einfluss-faktoren der Angebots-preisbildung	27
Bild 3.4	Zusammenhang zwischen Risikofeldern, -arten und Einzelrisiko	28
Bild 3.5	Systematisierung von Risiken	29
Bild 3.6	Exemplarische Darstellung der Einbindung der Risikomanagement-Stabstelle.....	30
Bild 3.7	Zusammenhang der verschiedenen Aggregationsebenen	32
Bild 3.8	Risikoarten des Bauprojektes.....	33
Bild 3.9	Systemorientierte Kategorisierung der Risikofaktoren.....	34
Bild 3.10	Risikomanagement-Prozess in der Projektphase.....	36
Bild 3.11	RM-Prozess.....	36
Bild 3.12	Transportbetonproduktion in Europa	37
Bild 4.1	Kostenwürfel.....	39
Bild 4.2	progressive und degressive Kostenverläufe.....	40
Bild 4.3	Remanenzschleife [Kostenremanenz(1)] – remanenter Kostensprung [Kostenremanenz (2)].....	41
Bild 4.4	Planungssystem lt. ÖNORM B 1801-1:2009	42
Bild 4.5	Kostentoleranzen [in Anlehnung an Lechner].....	47
Bild 4.6	Beeinflussbarkeit der Investitionskosten in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Projektphasen.....	48
Bild 4.7	Grob- und Detailkalkulation der Stahlbetonarbeiten	49
Bild 4.8	Differenzierung der Aufwandswerte	52
Bild 4.9	Einflussfaktoren auf Aufwandswerte – Beispiel Schalarbeiten	52
Bild 4.10	Schalarbeiten – Beispiel einer Gerätekostenmatrix [Hofstadler].....	56
Bild 5.1	Unschärfeprinzip bei Prognosen	58

Bild 5.2	Gegenüberstellung der deterministischen und probabilistischen Betrachtungsweisen im Projektverlauf.....	61
Bild 5.3	Definition – Bandbreite	62
Bild 5.4	Beispiel – Bandbreiten.....	63
Bild 5.5	Gegenüberstellung – PERT-Methode und Drei-Punktschätzung	64
Bild 5.6	PERT-Verteilung (30,45,66)	65
Bild 5.7	Beispiel – Dreiecksverteilung, PERT-Verteilung.....	65
Bild 5.8	Gegenüberstellung – PERT- und Dreiecksverteilung	66
Bild 5.9	Mögliche definierte Verteilungsfunktionen	67
Bild 5.10	Systematischer Ablauf der Monte-Carlo-Simulation	71
Bild 5.11	Schiefe der Verteilung	73
Bild 5.12	Gegenüberstellung – Median, Modalwert und Mittelwert.....	75
Bild 5.13	Quantilwert einer Verteilung	76
Bild 5.14	Korrelation zweier Variablen (A und B).....	79
Bild 6.1	Musiktheater Linz	83
Bild 6.2	Dreiecksverteilung.....	89
Bild 6.3	Gesamtaufwandswert [Std/m ³] – Versuch-Nr.: 1/10/M	91
Bild 6.4	Einzelkosten [€] – Versuch-Nr.: 1/10/M	92
Bild 6.5	Gesamtaufwandswert [Std/m ³] – Versuch-Nr.: 1/10/AW	92
Bild 6.6	Einzelkosten [€] – Versuch-Nr.: 1/10/AW	93
Bild 6.7	Einzelkosten [€] – Versuch-Nr.: 1/10/K.....	93
Bild 6.8	Gesamtaufwandswert [Std/m ³] – Versuch-Nr.: 1/10/AP	94
Bild 6.9	Einzelkosten [€] – Versuch-Nr.: 1/10/AP	95
Bild 6.10	Verlauf der Einzelkosten in Abhängigkeit von Bandbreiten der Mengenänderung – Versuch-Nr.: 1/x/M.....	97
Bild 6.11	Verlauf der Einzelkosten in Abhängigkeit von der Änderung der Aufwandswerte – Versuch-Nr.: 1/x/AW	98
Bild 6.12	Verlauf der Einzelkosten in Abhängigkeit von der Änderung der Geräte- und Materialkosten – Versuch-Nr.: 1/x/K.....	98
Bild 6.13	Verlauf der Einzelkosten in Abhängigkeit von der Änderung aller Eingangsgrößen – Versuch-Nr.: 1/x/AP.....	99
Bild 6.14	Standardabweichung – Einzelkosten – Versuch-Nr.: 1/x/x.....	99
Bild 6.15	Einfluss der Eingangsparameter auf die Einzelkosten – Versuch-Nr.: 1/x/x.....	100
Bild 6.16	Verlauf des Gesamtaufwandswertes in Abhängigkeit von Bandbreiten der Mengenänderung – Versuch-Nr.: 1/x/M	101
Bild 6.17	Verlauf des Gesamtaufwandswertes in Abhängigkeit von der Änderung der Aufwandswerte – Versuch-Nr.: 1/x/AW.....	101
Bild 6.18	Verlauf des Gesamtaufwandswertes in Abhängigkeit von der Änderung aller Eingangsgrößen – Versuch-Nr.: 1/x/AP	102
Bild 6.19	Standardabweichung – Gesamtaufwandswert – Versuch-Nr.: 1/x/x. 102	
Bild 6.20	Einfluss der Eingangsparameter auf den Gesamtaufwandswert – Versuch-Nr.: 1/x/x.....	103
Bild 6.21	Dreiecksverteilung - schiefe Verteilungsformen	104

Bild 6.22	Verlauf der Einzelkosten in Abhängigkeit von der Position des Modus – Mengenänderung – Versuch-Nr.: 2/20/M.....	105
Bild 6.23	Verlauf der Einzelkosten in Abhängigkeit von der Position des Modus – Mengenänderung – Versuch-Nr.: 2/40/M.....	105
Bild 6.24	Verlauf der Einzelkosten in Abhängigkeit von der Position des Modus – Änderung der Aufwandswerte – Versuch-Nr.: 2/20/AW.....	106
Bild 6.25	Verlauf der Einzelkosten in Abhängigkeit von der Position des Modus – Änderung der Aufwandswerte – Versuch-Nr.: 2/40/AW.....	106
Bild 6.26	Verlauf der Einzelkosten in Abhängigkeit von der Position des Modus – Änderung der Geräte- und Materialkosten – Versuch-Nr.: 2/20/K.....	107
Bild 6.27	Verlauf der Einzelkosten in Abhängigkeit von der Position des Modus – Änderung der Geräte- und Materialkosten – Versuch-Nr.: 2/40/K.....	107
Bild 6.28	Verlauf der Einzelkosten in Abhängigkeit von der Position des Modus – Änderung aller Eingangsgrößen – Versuch-Nr.: 2/20/AP ..	108
Bild 6.29	Verlauf der Einzelkosten in Abhängigkeit von der Position des Modus – Änderung aller Eingangsgrößen – Versuch-Nr.: 2/40/AP ..	108
Bild 6.30	Verlauf der Standardabweichung – Einzelkosten in Abhängigkeit von der Position des Modus – Versuch-Nr.: 2/20/x	109
Bild 6.31	Verlauf der Standardabweichung – Einzelkosten in Abhängigkeit von der Position des Modus – Versuch-Nr.: 2/40/x	110
Bild 6.32	Gegenüberstellung – Grob- und Detailkalkulation – gleiche Bandbreiten (+/- 20 %) – Histogramm 1 – Versuch-Nr.: 3/1	111
Bild 6.33	Gegenüberstellung – Grob- und Detailkalkulation – gleiche Bandbreiten (+/- 20 %) – Histogramm 2 – Versuch-Nr.: 3/1	112
Bild 6.34	Gegenüberstellung – Grob- und Detailkalkulation – unterschiedliche Bandbreiten – Histogramm – Versuch-Nr.: 3/2.....	113
Bild 6.35	Kostentoleranzen [in Anlehnung an Lechner].....	114
Bild 6.36	Ermittlungsmöglichkeiten – Gesamtaufwandswert	116
Bild 6.37	Gegenüberstellung – Ermittlungsmöglichkeiten – Gesamtaufwandswert – Versuch-Nr.: 4/1	117
Bild 6.38	Korrelationsmatrizen – @Risk Darstellung mit Zahlenwerten (links); Graphische Darstellung (rechts)	118
Bild 6.39	Einfluss der Korrelationen auf den Gesamtaufwandswert	124
Bild 6.40	Einfluss der Korrelationen auf den Gesamtaufwandswert – Standardabweichung.....	125
Bild 6.41	Gegenüberstellung – Gesamtaufwandswert – Histogramme – Versuch 5/1	125
Bild 6.42	Gegenüberstellung – Gesamtaufwandswert – Verteilungsfunktionen – Versuch-Nr.: 5/1	126
Bild 6.43	Wahrscheinlichkeitsverteilung – Gesamtaufwandswert – Versuch-Nr.: 5/1.....	127
Bild 6.44	Einfluss der Korrelationen auf den Gesamtaufwandswert.....	128
Bild 6.45	Wahrscheinlichkeitsverteilung – Gesamtaufwandswert; Korrelationskoeffizient: 0,72 – Versuch Nr.: 5/1	128
Bild 6.46	Einfluss der Korrelationen auf die Einzelkosten	131
Bild 6.47	Gegenüberstellung – Einzelkosten – Versuch-Nr.: 5/2.....	131

Bild 6.48	Einfluss der Korrelationen auf die Einzelkosten – Standardabweichung.....	132
Bild 6.49	Wahrscheinlichkeitsverteilung – Einzelkosten – Versuch-Nr.: 5/2	133
Bild 6.50	Einfluss der Korrelationen auf die Einzelkosten – Standardabweichung.....	133
Bild 6.51	Wahrscheinlichkeitsverteilung – Einzelkosten; Korrelationskoeffizient: 0,66 – Versuch-Nr.: 5/2	134
Bild 7.1	Deterministische und probabilistische Betrachtungsweisen im Projektverlauf	136

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1	Vor- und Nachteile des Risikomanagements.....	9
Tabelle 2.2	Risikobewertung mittels fester Bewertungszahlen	16
Tabelle 3.1	Projektklassifizierung.....	35
Tabelle 3.2	Risiken bei Stahlbetonarbeiten.....	38
Tabelle 5.1	Übersicht spezieller Quantile.....	76
Tabelle 5.2	Einteilung der Korrelationen nach Chau.....	80
Tabelle 5.3	Einfluss von Korrelationen auf die Streuung der Ergebnisse getrennt nach Rechenoperatoren.....	81
Tabelle 6.1	Mengenermittlung – Musiktheater	84
Tabelle 6.2	Überblick der Versuche	84
Tabelle 6.3	Aufwandswerte für das Schalen, Bewehren und Betonieren.....	86
Tabelle 6.4	Gerätekosten für Schalung, Bewehrung und Beton	86
Tabelle 6.5	Materialkosten für Schalung, Bewehrung und Beton.....	87
Tabelle 6.6	Übersicht der Versuche – der ersten Versuchsreihe	90
Tabelle 6.7	Übersicht der Ergebnisse – Versuchsreihe 1	96
Tabelle 6.8	Gegenüberstellung – Detail- und Grobkalkulation – Versuch-Nr.: 3/1	112
Tabelle 6.9	Eingangsgrößen – Gesamtaufwandswert – Versuch Nr.: 4/1.....	116
Tabelle 6.10	Korrelationsmatrix – Ausgangsmatrix (links); automatisch angepasste Matrix (rechts).....	119
Tabelle 6.11	Anpassungsfaktoren-Matrix (links); neue Korrelationsmatrix (rechts)	119
Tabelle 6.12	Korrelationsmatrix – Gesamtaufwandswert.....	120
Tabelle 6.13	Korrelationsmatrix – Kalkulation der Einzelkosten.....	122
Tabelle 6.14	Eingangsgrößen – Gesamtaufwandswert – Versuchs-Nr.: 5/1.....	123
Tabelle 6.15	Anpassungsfaktorenmatrix – Gesamtaufwandswert	123
Tabelle 6.16	Korrelationsmatrix – Berechnung des Gesamtaufwandwertes.....	126
Tabelle 6.17	Angepasste Korrelationsmatrix – Gesamtaufwandswert	126
Tabelle 6.18	Eingangsgrößen – Einzelkosten – Versuch-Nr.: 5/2.....	129
Tabelle 6.19	Modifizierte Korrelationsmatrix – Berechnung der Einzelkosten.....	129
Tabelle 6.20	Anpassungsfaktoren-Matrix – Berechnung der Einzelkosten	130
Tabelle 6.21	Korrelationsmatrix vor der Anpassung – Einzelkosten	130
Tabelle 6.22	Korrelationsmatrix nach der Anpassung – Einzelkosten	130
Tabelle 6.23	Korrelationsmatrix – Berechnung der Einzelkosten.....	132

Abkürzungsverzeichnis

AG	Auftraggeber
AN	Auftragnehmer
ARGE	Arbeitsgemeinschaft
AW	Auswirkung
BGF	Brutto-Grundfläche
BGM	Baustellengemeinkosten
BRI	Brutto-Rauminhalt
DIN	Deutsches Institut für Normung
EN	Europäische Norm
EP	Einheitspreis
EW	Erwartungswert
GGK	Geschäftsgemeinkosten
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
ISO	International Accounting Standard
LHS	Latin Hypercube-Sampling
LG	Leistungsgruppen
MC	Monte-Carlo
MSC	Monte-Carlo-Simulation
R	Risiko / Risikoerwartungswert
RM	Risikomanagement
RMP	Risikomanagement-Prozess
RMS	Risikomanagement-System
SGE	Strategische Geschäftseinheit
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats
T	Tragweite
UGL	Unterleistungsgruppen
ÖNORM	Österreichische Norm
ONR	Österreichisches Normungsinstitut Regeln
PERT	Program Evaluation and Review Technique
VaR	Value at Risk
W	Eintrittswahrscheinlichkeit

1 Einleitung

Märkte, bei denen der Preis als das entscheidende Kaufkriterium gesehen wird, sind grundsätzlich sehr risikobehaftet. Für die Bauwirtschaft gilt dies im Besonderen bei der Auftragsakquisition und der Auftragsvergabe. In Kombination mit den hohen konjunkturellen Nachfrageschwankungen kann dies zu erheblichen Umsatzfluktuationen und in weiterer Folge zu gravierenden Auswirkungen auf die Ertragslage der Bauunternehmen führen.² Um der Nachfragevolatilität entgegenzusteuern, sind die Bauunternehmen gezwungen, neben den Rohbauarbeiten weitere Leistungen wie Planung, Koordinierung, Finanzierung, Betrieb u.v.m. rund um das Bauprojekt anzubieten.

Weiteres sind die Bauunternehmen durch den speziellen bauwirtschaftlichen Wettbewerbsdruck, bei dem Unternehmen Aufträge ohne Rücksicht auf finanzielle Konsequenzen zu nicht deckenden Preisen akzeptieren und den immer komplexeren Bauvorhaben, einer erhöhten Anzahl an Risiken ausgesetzt. Finanzierungsrisiken, Vertragsrisiken, technische Risiken, Terminrisiken, Nachunternehmerisiken sind nur ein Teil der Vielzahl an Risiken, welche die Baubranche prägen.

Trotz des großen Bedarfs der Unternehmen, durch ein systematisches und effizientes Risikomanagement den Unternehmensfortbestand zu sichern, weisen diese oft ein relativ schwach entwickeltes Risikomanagement auf.³ Die eingesetzten Risikomanagement-Systeme dienen bei den meisten Unternehmen in erster Linie dem Zweck, persönliche Haftungsrisiken des Vorstandes und der Geschäftsführung abzuwehren.⁴

Um den wirtschaftlichen Erfolg oder sogar die Existenz des Unternehmens nicht zu gefährden, müssen die Risiken durch ein systematisches Risikomanagement identifiziert, bewertet und entsprechende Maßnahmen gesetzt werden.

Eines der größten Risiken stellt die Ermittlung der Baukosten dar. Nach Jacob/Stuhr/Winter⁵ entfallen von den Gesamtrisiken ca. 41 % auf die Kalkulation. Da Kostenberechnungen schon in frühen Projektstadien, in welchen der Kenntnisstand über die Projekte mäßig ist, stattfinden, können kostenwirksame Einflussgrößen nicht genau bestimmt werden. Es ist somit unmöglich, eine „exakte“ Baukostenberechnung durchzuführen,

Der Preiswettbewerb „fördert direkt (Preis) und indirekt (geringe Puffer) das Wagnispotential und grenzt gleichzeitig das Chancenpotential ein.“¹

¹ WIGGERT, M.: Risikomanagement von Betreiber- und Konzessionsmodellen. S. 97.

² Vgl. GLEIBNER, W.; MOTT, B.; SCHENK, M.: Risikomanagement in der Bauwirtschaft, Praktische Umsetzung am Beispiel der Bauer AG, In: ZRFG - Zeitschrift für Risk, Fraud & Governance, 2007. S. 179.

³ Vgl. GIRMSCHIED, G.; BUSCH, T. A.: Unternehmensrisikomanagement in der Bauwirtschaft. S. 26.

⁴ Vgl. OEPEN, R.-P.; GLEIBNER, W.; HEINE, R.; KLÖZER, H.; WIECZOREK, R.: Risikoorientierte Bauprojekt-Kalkulation. S. 65.

⁵ Vgl. JACOB, D.; STUHR, C.; WINTER, C.: Kalkulieren Im Ingenieurbau. S. 357.

da diese mit einer Vielzahl an Unsicherheiten und Unschärfen behaftet ist.

Nach Flemming/Netzker/Schöttle sind die „Eingangsdaten für die Angebotskalkulation [...] hinsichtlich ihrer tatsächlichen Realisierung in der Zukunft unsicher und stellen Risiken für das Bauunternehmen dar. Mit den gegenwärtig eingesetzten, deterministischen Berechnungsmethoden können diese Risiken nicht abgebildet werden.“⁶

Das Problem der in der Praxis am häufigsten eingesetzten, deterministischen Methoden zur Kostenermittlung im Bauwesen ist, dass diese keine Möglichkeiten bieten, Unsicherheiten und Abhängigkeiten in die Berechnung systematisch miteinfließen zu lassen. Anders ist es bei der Monte-Carlo-Methode (MC-Methode), bei welcher die Schwankungen bzw. Unsicherheiten als auch die Zusammenhangsstärken der Eingangsparameter berücksichtigt werden können.⁷

Ziele und Aufbau der Arbeit

Unter Berücksichtigung der oben genannten Aspekte werden in der vorliegenden Arbeit die Kosten für die Stahlbetonarbeiten, welche nach Hofstadler⁸ eine sehr bedeutsame Rolle bei den Rohbauarbeiten haben, in mehreren verschiedenen Versuchsanordnungen mittels der MC-Methode berechnet. Das Ziel der Arbeit ist es, die Möglichkeiten für den Umgang mit Unsicherheiten bei Kostenermittlungen aufzuzeigen, umzusetzen und deren Auswirkungen auf die Ergebnisse aufzuzeigen. Wesentliche Punkte für den Umgang und die Modellierung der Unsicherheiten, stellen die Bandbreiten der Eingangsdaten sowie die Korrelationen zw. den einzelnen Parametern dar. Im Zuge der Modellierung und Simulation der Baukostenberechnung soll die Auswirkung der Bandbreiten und Korrelationen abgebildet werden. Als Grundlage für die Berechnungen wird das Musiktheater in Linz herangezogen.

Im zweiten Kapitel dieser Arbeit wird ein Überblick über die allgemeinen Begriffsdefinitionen sowie den aktuellen Stand des branchenübergreifenden Risikomanagements in der Literatur gegeben. Dabei werden die einzelnen Schritte des Managementprozesses, die Risikoidentifikation, Risikoanalyse, Risikobewertung und Risikobewältigung dargestellt.

Aufbauend auf den allgemein analysierten Ansätzen, werden im Folgekapitel die Einsatzmöglichkeiten des Risikomanagements sowie die Risi-

⁶ FLEMMING, C.; NETZKER, M.; SCHÖTTLE, A.: Probabilistische Berücksichtigung von Kosten- und Mengenrisiken in der Angebotskalkulation, In: Bautechnik 88, Heft 2, 2011a. S. 95.

⁷ Vgl. KUMMER, M. K.: Einsatz der Monte-Carlo Simulation zur Berechnung von Baukosten und Bauzeit. S. 95.

⁸ Vgl. HOFSTADLER, C.: Schalarbeiten. S. 27ff.

ken und Chancen bei ausführenden Bauunternehmen und deren Bau-
projekten vorgestellt.

Der vierte Abschnitt beschäftigt sich mit den betriebswirtschaftlichen
Grundlagen und Definitionen des Kostenbegriffes. Weiters wird in die-
sem Kapitel auch ein Überblick über die Kostenplanung und den Kos-
tenermittlungsverfahren gegeben. Für die Kostenermittlung der Stahlbe-
tonarbeiten werden Berechnungsgleichungen getrennt nach Grob- und
Detailkalkulation angeführt und erörtert.

Im fünften Teil wird auf die Problematiken deterministischer Kostener-
mittlungsverfahren und den Umgang mit Unsicherheiten eingegangen.
Dabei werden die Grundlagen der Monte-Carlo-Methode sowie Grund-
begriffe der Statistik, welche eine Voraussetzung für das Verständnis,
die Interpretation der Ergebnisse und der Anwendung stochastischer
Berechnungen bilden, eingegangen. In diesem Kapitel werden auch die
Begriffe „Bandbreiten“ und „Korrelationen“ näher behandelt und präzi-
siert.

Folgend werden die praktische Umsetzung der Kostenberechnung bei
Stahlbetonarbeiten und der Einfluss von Bandbreiten der Größen und
Korrelationen zwischen den Eingangsfaktoren anhand mehrerer Berech-
nungen im empirischen Teil dieser Arbeit aufgezeigt.

Schließlich werden die einzelnen Ergebnisse und Erkenntnisse der Ar-
beit, zusammengefasst und ein Ausblick auf die zukünftige Entwicklung
des Risikomanagements im Bauwesen gegeben.

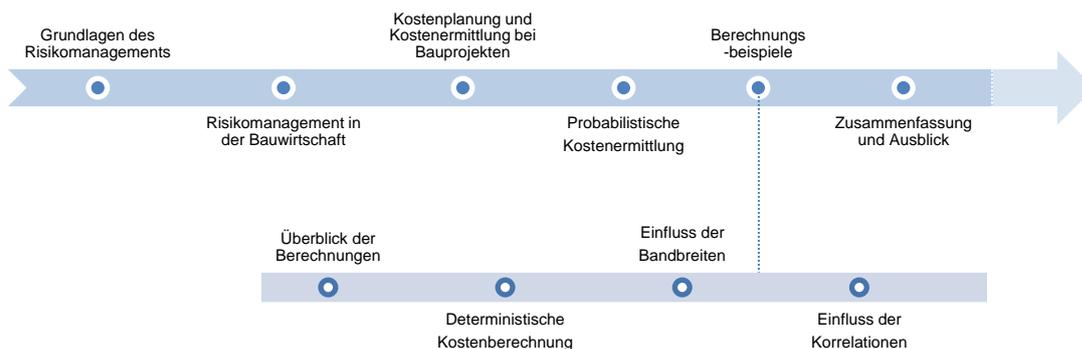


Bild 1.1 Aufbau der Arbeit

2 Grundlagen des Risikomanagements

Im folgenden Kapitel werden die grundlegenden Begriffsdefinitionen sowie die Inhalte des Risikomanagementsystems zusammenfassend vorgestellt, bevor auf die Risiken und Chancen in der Bauwirtschaft eingegangen wird. Die einheitliche Abgrenzung der Begriffe stellt, unabhängig vom Anwendungsgebiet und von den branchenspezifischen Ausprägungen, das Fundament eines erfolgreichen Risikomanagements dar. Aus diesem Grund werden nachstehend die wesentlichen Begriffe, welche in Zusammenhang mit dem Risikomanagement stehen, näher erläutert und definiert.

2.1 Das Risiko

Für die Begrifflichkeit des Risikos ist eine einheitliche Definition nicht gegeben. Diskrepanzen der Auffassungen sind innerhalb der verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen vorhanden. Dabei wird das Risiko im Großteil der wissenschaftlichen Literatur als eine negative Zielabweichung definiert.⁹ Neben der Definition ist der Ursprung des Wortes ebenso nicht eindeutig geklärt. Der auf den lateinischen/italienischen „rischiare“/„risicare“ zurückgeführte Begriff bedeutet so viel wie das Umsegeln einer Klippe, welches als ein Wagnis gesehen werden kann. Demgegenüber steht die arabische/griechische Herkunft, welche sich aus dem Lebensunterhalt, der von Gott abhängt, ableitet und somit, im Gegensatz zur ersten Herleitung, auf etwas Unbeeinflussbares und Schicksalhafteres deutet. Der im deutschen Sprachraum verwendete Terminus findet seinen Ursprung im Lateinischen/Italienischen.¹⁰

Wie oben erwähnt, werden mit Risiken in einem Großteil der wissenschaftlichen Arbeiten sowie in den meisten Wörterbüchern oder Nachschlagewerken, aber auch im allgemeinen Sprachgebrauch negative Aspekte und Gefahren in Verbindung gebracht.¹¹ Im Duden wird beispielsweise das Risiko wie folgt beschrieben: *„möglicher negativer Ausgang, bei einer Unternehmung, mit dem Nachteile, Verlust, Schäden verbunden sind; mit einem Vorhaben, Unternehmen o.Ä. verbundenes Wagnis.“*¹²

Nach Wiggert zeichnet sich in modernen Begriffsauffassungen ein Trend in Richtung der Integration von Chancen in den Risikobegriff ab.¹³

⁹ Vgl. GIRMSCHIED, G.; MOTZKO, C.: Kalkulation, Preisbildung und Controlling in der Bauwirtschaft. S. 332.

¹⁰ Vgl. WIGGERT, M.: Risikomanagement von Betreiber- und Konzessionsmodellen. S. 67ff.

¹¹ Vgl. DAYYARI, A.: Beitrag zur projektspezifischen Ausrichtung eines feed-forward- und feed-back-orientierten Risikomanagements für Bauprojekte. S. 20.

¹² Duden: Deutsches Universalwörterbuch. S. 1400.

¹³ Vgl. WIGGERT, M.: Risikomanagement von Betreiber- und Konzessionsmodellen. S. 84.

Wortursprung

Demnach kann die Chance als ein Bestandteil des Risikos gesehen werden, „da auch sie, wie die Gefahr auf der anderen Seite, zukunftsbezogen mit Unsicherheiten verbunden ist“¹⁴ Als Unsicherheit kann dabei der Mangel an Gewissheit/Sicherheit, Informationen, Verständnis oder an Wissen über ein Ereignis verstanden werden. Unsicherheiten wiederum werden in Ungewissheit und Risiko unterschieden. Anders als bei der Ungewissheit ist die Eintrittswahrscheinlichkeit beim Risiko bekannt. Ähnlich definiert Knight¹⁵ das Risiko als eine quantitativ messbare Unsicherheit und alle nicht quantifizierbaren Unsicherheiten als Ungewissheit. Hofstadler¹⁶ erweitert diese Betrachtungsweise, indem er das Unwissen hinzufügt, bei welchem neben der nicht bestimmaren Eintrittswahrscheinlichkeit auch die Auswirkung nicht vollständig bekannt ist.

Unsicherheiten

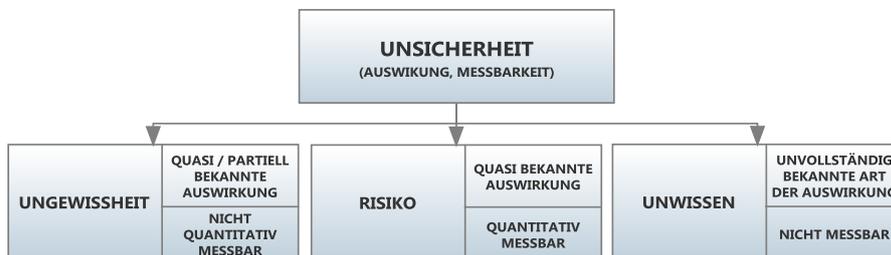


Bild 2.1 Gliederung der Unsicherheiten (in Anlehnung an Hofstadler und Knight)

Die Doppeldeutung des Risikos als eine positive und negative Zielabweichung wird auch vom Normenwerk ONR 49000ff zur Begriffsauffassung herangezogen. Gemäß der aktuellen ÖNORM 49000 wird das Risiko als eine „Auswirkung von Unsicherheiten auf Ziele [definiert, und] umfasst folgende Aspekte:

Begriffsdefinition

- die Auswirkungen können positiv oder negativ sein,
- die Unsicherheit bzw. Ungewissheit wird mit der Wahrscheinlichkeit geschätzt bzw. ermittelt,
- die Kombination von Wahrscheinlichkeit und Auswirkung,
- die Ziele der Organisation oder des Systems umfassen strategische, operationelle oder finanzielle Ziele, die Sicherheit von Menschen, Sachen und der Umwelt („safety, security“) genau so wie andere Ziele und
- Risiko ist eine Folge von Ereignissen [...] oder Entwicklungen[...].“¹⁷

¹⁴ SANDER, P.: Probabilistische Risiko-Analyse für Bauprojekte. S. 32.

¹⁵ Vgl. KNIGHT, F. H.: Risk, uncertainty and profit. S. 19ff.

¹⁶ HOFSTADLER, C.: Risikofaktor Baugrund - Risikofaktoren aus technischer und stochastischer Sicht., Folie 10.

¹⁷ Austrian Standards Institute: ONR 49000: Risikomanagement für Organisationen und Systeme. S. 7.

Wiggert definiert in seiner Dissertation nach einer umfassenden Analyse der Risikoauffassung in Anlehnung an den semantischen Kasten von Jonen den Begriff wie folgt:

„Risiko ist der Einfluss von Unsicherheiten auf die Performance,¹⁸ ausgehend von bewusst und unbewusst gesetzten Zielen. Eine potenzielle Steigerung der relativen Performance wird als Chance und eine potenzielle Verminderung als Wagnis bezeichnet.“¹⁹

In einer ähnlichen Weise lässt sich nach Girmscheid der Risikobegriff als eine „Möglichkeit einer Zielverfehlung interpretieren, wobei potenzielle positive Abweichungen ‚Chance‘ und eventuelle negative Abweichungen ‚Gefahr‘ genannt werden.“²⁰

In der vorliegenden Arbeit wird der Begriff „Risiko“ ebenfalls mit der Doppeldeutigkeit verwendet, einmal als Überbegriff für die negative und positive Zielabweichung (Gefahr und Chance), und auch als Spezifikation der negativen Zielabweichung, wobei dann die Chance separat angeführt wird.

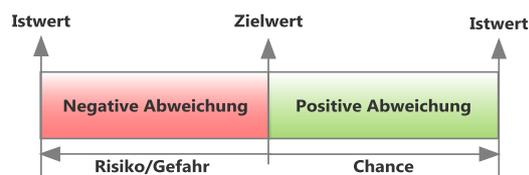


Bild 2.2 Risikodefinition (in Anlehnung an Flemming/Netzker/Schöttle²¹)

Risiko als Kombination von Wahrscheinlichkeit und Auswirkung

Das Risiko wird in vielen Literaturquellen als das mathematische Produkt von Eintrittswahrscheinlichkeit und Auswirkung bzw. Tragweite verstanden. Auf diese Weise soll der Risikoerwartungswert bzw. die Risikogröße bestimmt werden.

$$\text{Risiko(erwartungswert)} = \text{Eintrittswahrscheinlichkeit} \times \text{Auswirkung}$$

Der so ermittelte Risikowert ist nur von begrenzter Aussagekraft, da Informationen über den „Credible Worst Case“ verloren gehen.²² Beispielsweise ergibt sich ein Risikowert mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von zehn Prozent und einer Tragweite von 100.000 € zu 10.000 €. Was aber dabei vernachlässigt wird, ist, dass in der Realität das Einzelrisiko

¹⁸ Unter der Performance wird ein Maß der Zielerreichung bzw. das Verhältnis von tatsächlichem zu festgelegtem Output verstanden.

¹⁹ WIGGERT, M.: Risikomanagement von Betreiber- und Konzessionsmodellen. S. 114.

²⁰ GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 701.

²¹ Vgl. FLEMMING, C.; NETZKER, M.; SCHÖTTLE, A.: Probabilistische Berücksichtigung von Kosten- und Mengenrisiken in der Angebotskalkulation, In: Bautechnik 88, Heft 2, 2011a. S. 95.

²² Vgl. BRÜHWILER, B.: Risikomanagement nach ISO 31000 und ONR 49000. S. 30.

nur zwei Zustände einnehmen und entweder zu Risikokosten von null oder 100.000 € führen kann. Da der Risikobetrag von 10.000 € keines der beiden Szenarien abbildet, stellt dieser für die Risikobewertung keine realistische Größe dar.²³ Vor allem ist dieser Wert für die im Risikomanagement notwendige Überlagerung der Einzelrisiken nicht geeignet.²⁴

Nach Brühwiler handelt es sich beim Risiko immer um eine Kombination von Eintrittswahrscheinlichkeit und Auswirkung. Abweichende Interpretationen können verhängnisvoll sein, insbesondere wenn das Risiko als das Produkt von Eintrittswahrscheinlichkeit und Auswirkung verstanden wird.²⁵

**Risiko als Kombination
von Wahrscheinlichkeit
und Auswirkung**

2.2 Risikomanagement

Ähnlich wie beim Risiko schwankt die Interpretation des Risikomanagementbegriffes je nach Betrachtungsweise und Kontext. Im wirtschaftlichen Bereich liegt beispielsweise der Fokus meistens nur auf der Vermeidung bzw. Absicherung von negativen Auswirkungen in monetärer Hinsicht. Weiteres kann davon ausgegangen werden, dass der Begriff Risikomanagement im Alltagsverständnis eher mit den negativen als mit den positiven Auswirkungen auf die Ziele verbunden und auf die Eliminierung der Risiken gerichtet ist.²⁶ Eine vollständige Meidung von Risiken ist jedoch unmöglich und entsprechend der normkornformen Risikoauffassung unternehmerisch nicht sinnvoll. Vielmehr liegt der Fokus auf der frühzeitigen Identifizierung der Risiken, der Abwehr möglicher Schäden und der Ausschöpfung von Chancen.

Die ONR 4900 beschreibt das Risikomanagement als „*Prozesse und Verhaltensweisen, die darauf ausgerichtet sind, eine Organisation bezüglich Risiken zu steuern. Die Umsetzung des Risikomanagements führt zu einer Risikokultur [...] in der Organisation.*“²⁷

Definition

Dieser Auffassung nach kann das Risikomanagement als eine Vorgehensweise einer Organisation für den systematischen Umgang mit Unsicherheiten gesehen werden. Je nach Anforderung und Branche können die Systeme und Prozesse spezifische Entwicklungen und Ausprägungen zeigen. Die Gründe dafür liegen in der starken Koppelung der Entwicklung und Implementierung der spezifischen Geschäftsprozesse. Die

²³ Vgl. FLEMMING, C.: 4-Stufen-Risikosimulation zur Ermittlung von Mittelabflüssen unter Berücksichtigung des geplanten Baufortschritts, In: Bautechnik 88, Heft 7, 2012. S. 466ff.

²⁴ Vgl. GLEIßNER, W.; ROMEIKE, F.: "Die größte anzunehmende Dummheit im Risikomanagement", In: Risk, Compliance & Audit, 2011. S. 22.

²⁵ Vgl. BRÜHWILER, B.: Risikomanagement nach ISO 31000 und ONR 49000. S. 30.

²⁶ Vgl. BRÜHWILER, B.: Risikomanagement nach ISO 31000 und ONR 49000. S.29.

²⁷ Austrian Standards Institute: ONR 49000: Risikomanagement für Organisationen und Systeme. S. 13.

organisatorische Umsetzung des Risikomanagements wiederum ist eher von der Unternehmensstruktur und Größe abhängig.

Die unterschiedlichen Risikomanagement-Ansätze können beispielhaft für folgende Branchen wie folgt eingeteilt werden:²⁸

- Risikomanagement bei Banken
- Risikomanagement bei Versicherungen
- Risikomanagement in Unternehmen der stationären Industrie (Massenproduktion)
- Risikomanagement in Unternehmen der Bauwirtschaft mit unikatartigen Projektaufträgen

2.2.1 Ziele des Risikomanagements

Die Zielsetzungen des Risikomanagements sind, begründet durch die breite Anwendungspalette, gleich wie die Auffassungen unterschiedlich definiert. Bevor aber auf die Ziele eingegangen wird, sei anzumerken, dass die Schaffung des Risikobewusstseins im gesamten Unternehmen branchenunabhängig eine Voraussetzung für den Erfolg darstellt.

Die Ziele des Risikomanagements können grundsätzlich in quantitativ messbare und qualitative Ziele eingeteilt werden. Als qualitative Ziele können z.B. Qualität, Marktposition und Kommunikation gesehen werden. Zu den qualitativen Zielen gehören messbare Größen wie z.B. Termine, Kosten und Renditen.²⁹ Nachfolgend werden allgemeine Ziele auf Unternehmensebene, welche während der Analyse der Literatur festgestellt wurden, aufgelistet:³⁰

- Erfüllung von relevanten gesetzlichen und regulativen Anforderungen
- Wertsteigernde und nachhaltige Entwicklung des Unternehmens
- Verbesserung der Wirksamkeit und Effizienz des Unternehmens durch eine proaktive anstatt einer reaktiven Führung
- Motivation sowie Zuweisung von Verantwortlichkeiten der einzelnen Mitarbeiter durch die aktive Anwendung des Risikomanagements
- Förderung des Vertrauens durch Nachvollziehbarkeit der Risikobelastung und -verteilung zwischen den Projektbeteiligten

²⁸ Vgl. GIRMSCHIED, G.; BUSCH, T. A.: Unternehmensrisikomanagement in der Bauwirtschaft. S. 22ff.

²⁹ Vgl. WIGGERT, M.: Risikomanagement von Betreiber- und Konzessionsmodellen. S. 120.

³⁰ Vgl. Austrian Standards Institute: ONR 49000: Risikomanagement für Organisationen und Systeme. S. 19ff.; sowie STEMPKOWSKI, R.; WALDAUER, E.: Risikomanagement Bau. S. 38ff.

- Bildung von Grundlagen für die Entscheidungsfindung sowie für die risikoorientierte Projektauswahl

Als primäres Ziel des Risikomanagements können zusammenfassend die Sicherung und die erfolgreiche Weiterentwicklung des Unternehmens gesehen werden. Erreicht werden diese Ziele, indem das Risikomanagement als Bestandteil der Unternehmenskultur gemacht wird. Dazu gehört die Erarbeitung von geeigneten Maßnahmen zur operativen Gestaltung der Risikosituation.³¹

Abschließend werden die Vor- und Nachteile des Risikomanagements in nachfolgender Tabelle dargestellt.

Vorteile	Nachteile
aktives Management der Risiken	höhere Kosten/Ressourcen
nutzen von Chancen/Potenzialen	höherer Arbeitsaufwand
minimieren von Wagnissen	mehr Personal
gesteigerter Projekterfolg/Erreichen der Ziele	Restrisiken bleiben
Wettbewerbsvorteile	Aufwand für Handlungsstrategien
nachhaltige Entwicklung/Unternehmenskultur	
Bedeutung einzelner Einflüsse	
gesteigerte Transparenz Risiken/Projekt	
gesteigertes Vertrauen	
objektive Vergleichbarkeit Risiken/Projekte	
gesteigertes Verantwortungsbewusstsein	
gesteigerte Kommunikation	
tieferes Projektverständnis/wissen	
unterstützen systematischer Entscheidungen	
syst. Aufbau/Nutzen von Erfahrungen/Wissen	
bessere Finanzierungskonditionen	
glaubwürdigere Planungen	
effizientere Ressourcenallokation	
Personalentwicklung/ Motivation	

Vor- und Nachteile des RM

Tabelle 2.1 Vor- und Nachteile des Risikomanagements³²

³¹ Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 712.

³² WIGGERT, M.: Risikomanagement von Betreiber- und Konzessionsmodellen. S. 120.

2.2.2 Risikomanagement-System

Das Risikomanagement-System „umfasst alle Elemente des Management-Systems einer Organisation, die die Aufgabe haben, die Risiken zu bewältigen“³³. Die Funktionen dieses Systems sind durch den bekannten Demingkreis³⁴, welcher aus dem Qualitätsmanagement stammt, charakterisiert. Dieser beschreibt den Regelkreislauf mit den vier Begriffen „Plan – Do – Check – Act“, worunter die Führungstätigkeiten Planung, Umsetzung, Bewertung und Verbesserung verstanden werden.³⁵

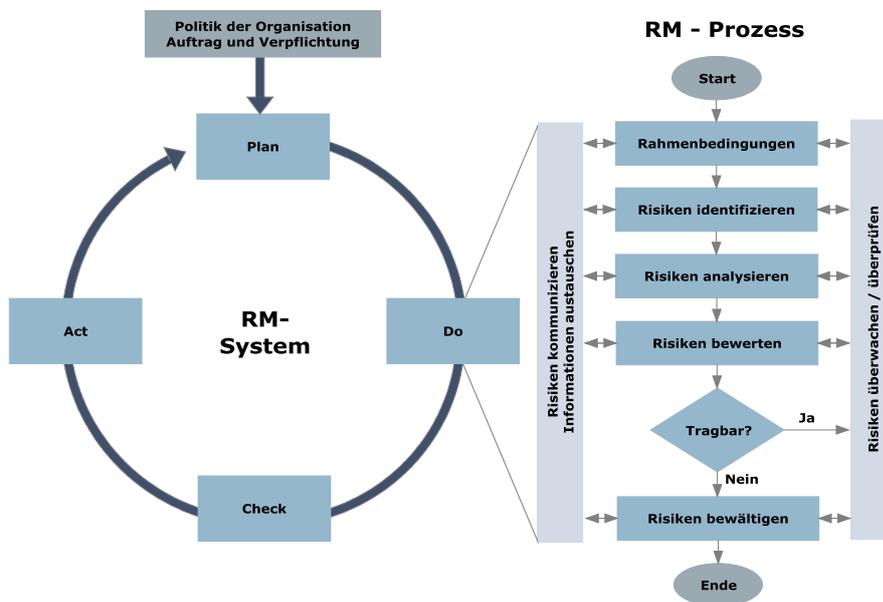


Bild 2.3 Risikomanagement-System³⁶

„Plan“

Die Entwicklung, Einführung und Verwirklichung des Risikomanagement-Systems einer Organisation fallen in die Verpflichtung der obersten Leitung. Diese legt die Risikomanagement-Politik einschließlich ihrer Ziele und Strategien sowie Befugnisse und Verantwortungen in der Organisation fest.

³³ Austrian Standards Institute: ONR 49000: Risikomanagement für Organisationen und Systeme. S. 17.

³⁴ Vgl. Wikipedia: Demingkreis, URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Demingkreis>, Datum des Zugriffs: 30.01.2013.

³⁵ Vgl. BRÜHWILER, B.: Risikomanagement nach ISO 31000 und ONR 49000. S. 23.

³⁶ Vgl. Austrian Standards Institute: ONR 49001: Risikomanagement für Organisationen und Systeme. S. 5.

„Do“

Unter dem Begriff „Do“ wird die eigentliche Umsetzung des Risikomanagements verstanden. Eine nähere Betrachtung dieses Prozesses, welcher den Kern des Risikomanagements darstellt, erfolgt in Kapitel 2.3.

„Check & Act“

Als „Check“ und „Act“ werden die fortlaufende Kontrolle, Bewertung und Verbesserung des Managementsystems verstanden. Dabei soll die Überprüfung als eine interne Revision durch regelmäßige Audits durchgeführt werden und soll das mögliche Verbesserungspotenzial identifiziert und umgesetzt werden.

2.3 Risikomanagement-Prozess

Der Risikomanagement-Prozess stellt eine „*systematische Anwendung von Grundsätzen, Verfahren und Tätigkeiten einer Organisation*“³⁷ dar und kann als ein in den Führungs- und Geschäftsprozessen integrierter Kreislauf verstanden werden. Dieser zyklisch durchzuführende Regelkreis wiederum besteht aus Teilprozessen, durch welche die Risiken identifiziert, bewertet, bewältigt, aufgezeigt, verfolgt und überwacht werden sollen. Zusammenfassend besteht der Risikomanagement-Prozess grundsätzlich aus den folgenden vier Elementen:

- Risikoidentifikation
- Risikoanalyse (Bewertung und Klassifizierung)
- Risikobewältigung
- Risikocontrolling

Je nach Unternehmensschwerpunktsetzung oder Projektanforderung können für die oben angeführten Teilprozesse andere Definitionen, Abfolgen und Methoden (z.B. zur Risikobewertung) zur Anwendung kommen.³⁸

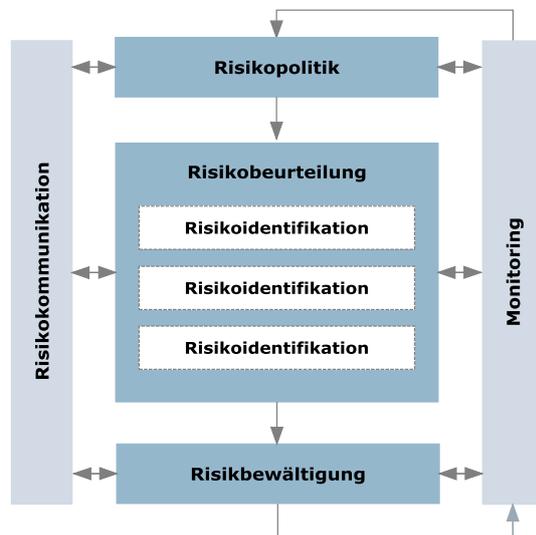
Für diese Arbeit wird die Definition des Prozesses aus den ON-Regelwerken (ONR 49001 und ÖNORM ISO 31000) herangezogen, wobei wesentliche Ergänzungen aus der Literatur berücksichtigt werden. Der Ablauf des Risikomanagement-Prozesses sowie die verwendeten Begrifflichkeiten sind in Bild 2.4 grafisch dargestellt.

³⁷ Austrian Standards Institute: ONR 49000: Risikomanagement für Organisationen und Systeme. S. 13.

³⁸ Vgl. WIGGERT, M.: Risikomanagement von Betreiber- und Konzessionsmodellen. S. 182.

2.3.1 Risikopolitik und Risikokultur

Die Risikopolitik dient zur Konkretisierung der Grundsätze, Strategien und Ziele einer Organisation und ist vor jeder Weiterentwicklung des Unternehmens oder vor dem Einsatz im Projekt zu modifizieren.⁴⁰ Mit dieser strategischen Ausrichtung werden Anwendungsgebiete, Verantwortlichkeiten, Umfang, Methoden, K.o.-Kriterien, Rahmenbedingungen und sonstige Bedürfnisse der Organisation definiert.⁴¹ Diese risikopolitischen Grundsätze stellen somit den wesentlichen Erfolgsfaktor für das Risikomanagement des Unternehmens dar und sollten somit für alle Beteiligten schriftlich festgehalten werden. Dies wiederum trägt zur Schaffung der Risikokultur und des Risikobewusstseins in der Organisation bei.⁴²



„Die Kultur der Organisation besteht aus der Gesamtheit der gemeinsamen Vorstellungen, der geteilten Werte und des Wissen seiner Mitglieder. Sie hat zwei Komponenten, die persönliche der Individuen und den Rahmen der Organisation. Ein effektives Risikomanagement berücksichtigt beide Aspekte.“³⁹

Bild 2.4 Risikomanagement-Prozess⁴³

2.3.2 Risikobeurteilung

Ausgehend von der Risikokultur und Politik wird die Risikobeurteilung durchgeführt, welche die Identifikation, Analyse und Bewertung der Risikopotenziale umfasst. Nachfolgend wird auf die einzelnen Beurteilungstechniken näher eingegangen, um einen zusammenfassenden Überblick der Merkmale und Probleme zu geben.

³⁹ WIGGERT, M.: Risikomanagement von Betreiber- und Konzessionsmodellen. S. 218.

⁴⁰ Vgl. STEMPKOWSKI, R.; WALDAUER, E.: Risikomanagement Bau. S. 84.

⁴¹ Vgl. Austrian Standards Institute: ONR 49001: Risikomanagement für Organisationen und Systeme. S. 15.

⁴² Vgl. LINK, D.; Stempkowski Reiner: Grundlagen, praktische Anwendungen und Nutzen des Risikomanagements im Bauwesen. S. 3.

⁴³ Vgl. Austrian Standards Institute: ÖNORM ISO 31000: Risikomanagement. S. 20.

Risikoidentifikation

Dieser Teilprozess dient einer umfassenden und systematischen Erfassung aller relevanten Risiken eines Projektes oder der unternehmerischen Tätigkeiten. Diesem Schritt wird eine große Bedeutung zugeschrieben, da nicht identifizierte Risiken in weiteren Analysen und Entscheidungsprozessen unberücksichtigt bleiben können.⁴⁴ Aus diesem Grund ist diesem Teilprozess über alle Projektphasen trotz der unterschiedlichen Detaillierungstiefen ausreichend Aufmerksamkeit zu schenken.⁴⁵

Bevor auf die Methoden der Risikoidentifikation eingegangen wird, werden zwei Strategien zur Gefahren- und Chancenerkennung in einer knappen Form vorgestellt. Unterschieden wird dabei unter folgenden Ansätzen:

- Top-down
- Bottom-up

Strategien

Bei dem Top-down-Ansatz werden die Risikobereiche und Kategorien zur Einordnung der Risiken von der Unternehmensführung vorgegeben. Im Gegensatz dazu werden bei dem Bottom-up-Ansatz die Risiken in der Bearbeitungsebene betrachtet, gesammelt und durch Konsolidierung und Aggregation als Risikosummen und Kennzahlen dem Management zur Verfügung gestellt. Diese Herangehensweise eignet sich besonders für das Risikomanagement bei Bauprojekten, da sich die Risikoeinschätzung so an das Projekt anpassen lässt. Die Ansätze der Risikoidentifikation werden weiter in die Methoden der progressiven und der retrograden Risikoerfassung unterschieden. Bei der ersten werden verschiedene Risikoursachen betrachtet und deren Auswirkungen auf die Ziele untersucht. Bei der retrograden Erkennung wird das Ziel anvisiert, und anhand verschiedener Analysen werden mögliche Risiken, welche zu Zielabweichungen führen könnten, gesucht. Diese Methode findet beim strategischen unternehmensbezogenen Risikomanagement ihre Anwendung, wobei die progressive Risikoerkennung eher auf Projektebene angewendet wird.⁴⁶

Zur Identifikation der Risiken stehen intuitive und systematische Ansätze zur Verfügung. Die intuitiven Methoden lassen sich wiederum in strukturierte und unstrukturierte Vorgehensweisen einteilen. Eine Übersicht der Methoden mit Bezug zur Bauwirtschaft ist in folgender Abbildung dargestellt.

⁴⁴ Vgl. Austrian Standards Institute: ONR 49001: Risikomanagement für Organisationen und Systeme. S.17.

⁴⁵ Vgl. STEMPKOWSKI, R.; WALDAUER, E.: Risikomanagement Bau. S. 86.

⁴⁶ Vgl. FEIK, R.: Elektronisch gestütztes Risikomanagement im Bauwesen. S. 44.

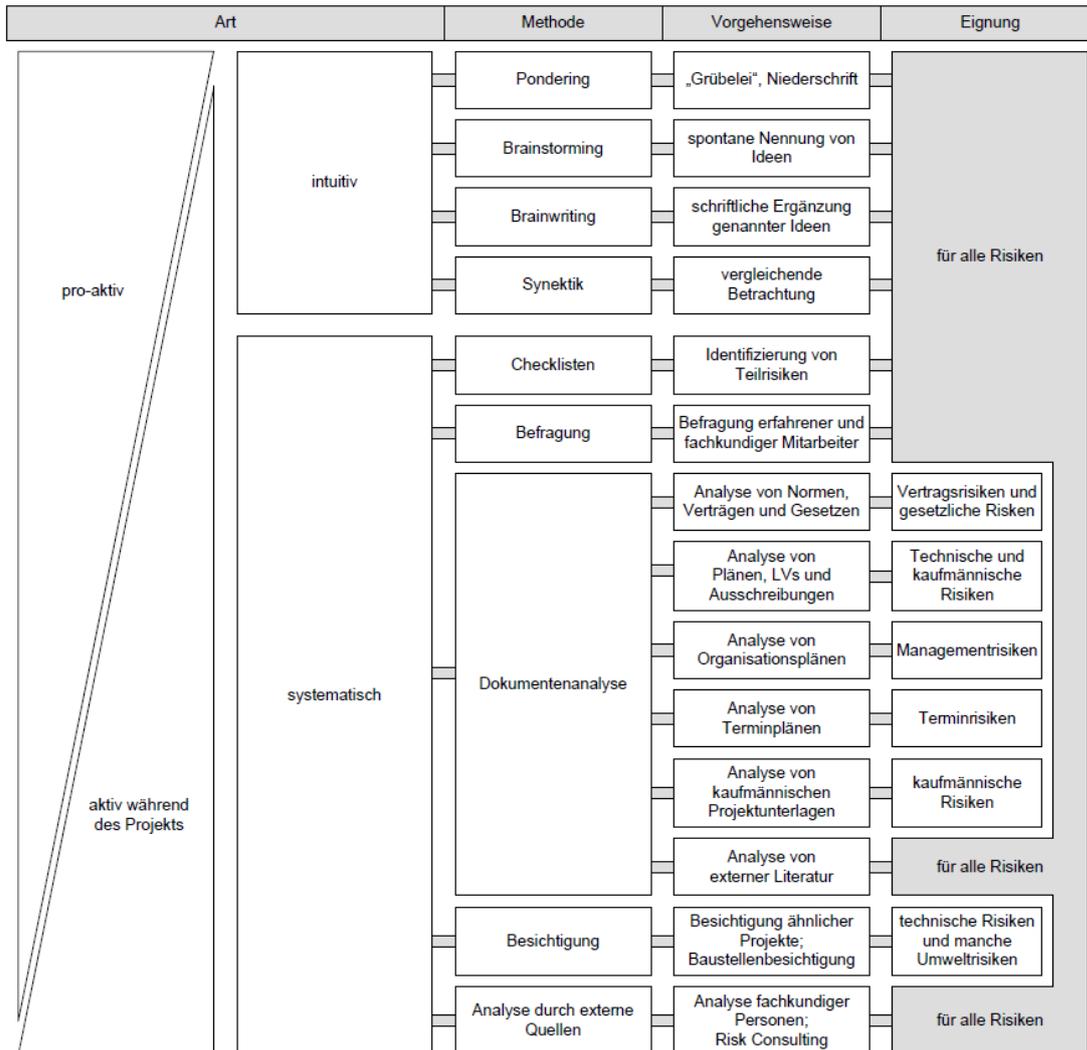


Bild 2.5 Methoden der Risikoidentifikation⁴⁷

Die intuitive Risikoidentifizierung sollte in frühen Projektstadien bzw. vor der systematischen Identifikation erfolgen, um die Kreativität und das Fachwissen der Projektbearbeiter bei der Risikoerfassung durch die vorgegebene Systematik nicht zu beeinträchtigen.⁴⁸

Das Ziel aller Methoden ist die Erstellung von Sammel Listen aus den identifizierten Risiken, um diese in den nächsten Schritten analysieren und bewerten zu können.

⁴⁷ FEIK, R.: Elektronisch gestütztes Risikomanagement im Bauwesen. S. 49.

⁴⁸ Vgl. GIRMSCHEID, G.; MOTZKO, C.: Kalkulation, Preisbildung und Controlling in der Bauwirtschaft. S. 343.

Risikoanalyse und Risikobewertung

Eine Trennung der Risikobewertung von der Risikoanalyse, wie das ON-Regelwerk diese vorschlägt, findet in einer Großzahl der betrachteten Literatur nicht statt. Vielmehr wird die Phase der Risikoanalyse durch die Risikobewertung und Klassifizierung erweitert, und die Bewertungsmethoden werden entsprechend ihrem Aufwand in qualitative, semiquantitative und quantitative Ansätze differenziert.^{49 50 51} In dieser Arbeit werden die zwei Teilprozesse ebenfalls als zusammenhängend gesehen und zu einem Schritt zusammengefasst.

Bevor die identifizierten Risiken bewertet werden, ist ein Verständnis für diese zu schaffen. Weiters sind Entscheidungen zu treffen, ob und mit welchen Strategien und Methoden die Einzelrisiken weiter behandelt werden. Diese Feststellungen sowie die Untersuchungen der Ursachen, der Quellen, der Eintrittswahrscheinlichkeiten und der positiven als auch negativen Auswirkungen von Risiken werden in der Risikoanalyse durchgeführt. Dabei sollten die Faktoren, welche die Tragweiten und die Wahrscheinlichkeiten beeinflussen, identifiziert und festgehalten werden.⁵² Diese Erkenntnisse sollen Anhaltspunkte für die weitere Risikobewertung liefern. Für die Bewertung der Risiken werden mehrere Methoden in der Literatur behandelt, welche im Bauwesen kombiniert zum Einsatz kommen.

Nachstehen werden die drei Bewertungsansätze (qualitativ, semiquantitativ und quantitativ) zusammenfassend vorgestellt. Eine systematische Übersicht der möglichen Verfahren ist in Bild 2.8 dargestellt.

Qualitative Risikobewertung

Die qualitative Methode stellt den ersten Schritt der Bewertung dar und eignet sich vor allem für die Anwendung in frühen Projektphasen, in denen der Kenntnisstand noch gering ist. Hier geht es in erster Linie darum, die Risiken schnell und unkompliziert grob abzuschätzen, indem Prognosen oder Erfahrungen aus abgeschlossenen Projekten herangezogen werden. Beispielhaft ist in der nächsten Abbildung eine fünfstufige Likert-Skala, welche zur persönlichen Einstufung des Risikos herangezogen werden kann, dargestellt.



Bild 2.6 Likert-Skala zur qualitativen Bewertung des Risikos

⁴⁹ Vgl. SANDER, P.: Probabilistische Risiko-Analyse für Bauprojekte. S. 40ff.

⁵⁰ Vgl. GIRMSCHIED, G.; MOTZKO, C.: Kalkulation, Preisbildung und Controlling in der Bauwirtschaft. S. 336ff.

⁵¹ Vgl. FEIK, R.: Elektronisch gestütztes Risikomanagement im Bauwesen. S. 50ff.

⁵² Vgl. Austrian Standards Institute: ONR 49001: Risikomanagement für Organisationen und Systeme. S. 17.

Risikoanalyse

Risikobewertung

Semiquantitative Risikobewertung

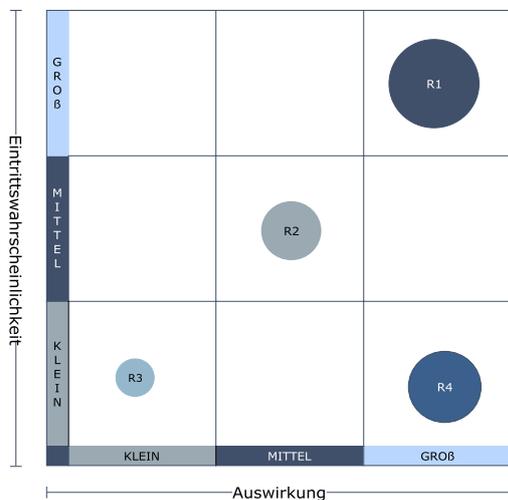
Beim semiquantitativen Verfahren werden die verbalen Einschätzungen aus der qualitativen Bewertung durch Zahlenwerte ersetzt und standardisierten Wahrscheinlichkeitsklassen zugeordnet. Die Klassifizierung kann dabei für jedes Projekt anders gestaltet werden.^{53 54} Das nachfolgende Beispiel zeigt nur eine von vielen Möglichkeiten der Risikobewertung mit Bewertungszahlen.

Bewertungszahl	Eintrittswahrscheinlichkeit W	Tragweite T
1	Kleine Eintrittswahrscheinlichkeit	Kleine Auswirkung
2	Mittlere Eintrittswahrscheinlichkeit	Mittlere Auswirkung
3	Große Eintrittswahrscheinlichkeit	Große Auswirkung

Tabelle 2.2 Risikobewertung mittels fester Bewertungszahlen⁵⁵

Die klassifizierten Risiken lassen sich so in einer Risikolandschaft (Portfolioarstellung) zu einer besseren Veranschaulichung darstellen. Dabei werden die Risiken nach Eintrittswahrscheinlichkeit auf der Ordinate und Auswirkung auf der Abszisse eingeteilt und diese einander gegenübergestellt.

In Bild 2.7 bezeichnet beispielsweise „R1“ ein Risiko mit einer großen Eintrittswahrscheinlichkeit und großen Auswirkung und „R4“ ein Risiko mit einer großen Tragweite, aber kleinen Wahrscheinlichkeit.



Risiko	W	T
R1	groß	groß
R2	mittel	klien
R3	klien	klien
R4	klien	groß

Bild 2.7 Portfolioauswertung

⁵³ Vgl. LINK, D.; Stempkowski Reiner: Grundlagen, praktische Anwendungen und Nutzen des Risikomanagements im Bauwesen. S. 5.

⁵⁴ Vgl. FEIK, R.: Elektronisch gestütztes Risikomanagement im Bauwesen. S. 53ff.

⁵⁵ Vgl. GIRMSCHEID, G.; MOTZKO, C.: Kalkulation, Preisbildung und Controlling in der Bauwirtschaft. S. 347.

Quantitative Risikobewertung

Die potenziellen Auswirkungen der Risiken für die Kosten oder Termine werden erst durch die quantitative Betrachtungsweise ersichtlich, und so werden die Risiken auf einheitliche Bewertungsgrößen (Geld- bzw. Zeiteinheiten) gebracht.⁵⁶ Für diese Bewertungsmethode sind aber die Risikodeterminanten mit konkreten Werten zu bestimmen – die Tragweite T beispielsweise mit Geld- oder Zeitwerten und die Eintrittswahrscheinlichkeit W mit Prozentangaben.⁵⁷

Ein weiteres Kriterium der quantitativen Risikobewertung ist die Berücksichtigung potenzieller Schadensereignisse bzw. der Wechselbeziehungen zwischen den identifizierten Einzelrisiken, welche prinzipiell nicht voneinander unabhängig sind. Es sind folgende Abhängigkeiten zwischen zwei Risikoereignissen möglich:⁵⁸

- Risikoanatomie: Risiken schließen sich gegenseitig aus.
- Risikokonkurrenz: Die Erhöhung der Eintrittswahrscheinlichkeit für das eine Risiko führt zur Senkung der Eintrittswahrscheinlichkeit des anderen Risikoereignisses.
- Risikokomplementarität: Der Eintritt eines Risikoereignisses erhöht die Eintrittswahrscheinlichkeit des anderen Risikos.

Für quantitative Bewertung der Risiken können die Ansätze je nach Projektphase, Projektgröße und Art variieren. Generell stehen deterministische und probabilistische Verfahren zur Verfügung. Bei der deterministischen Bewertungsmethode wird der Risikoerwartungswert aus dem Produkt von Eintrittswahrscheinlichkeit $[W]$ und Tragweite $[T]$ bestimmt.⁵⁹ Die Abhängigkeiten der Risikoereignisse können dabei beispielsweise mit der Ereignisbaumanalyse bestimmt werden, und so kann das Gesamtrisiko aus der Summe der einzelnen Erwartungswerte errechnet werden.

Im Gegensatz zu den deterministischen Ansätzen werden die Auswirkungen der Risiken bei den probabilistischen Verfahren nicht mit einem einzelnen Wert, welcher mit einer hohen Unsicherheit belastet ist, dargestellt. Das gesamte Risikopotenzial wird nach einem Simulationsverfahren⁶⁰, bei welchem die Einzelrisiken verdichtet werden, als eine Wahrscheinlichkeitsverteilung abgebildet.⁶¹ Die Wechselbeziehungen der ein-

⁵⁶ Vgl. LINK, D.; Stempkowski Reiner: Grundlagen, praktische Anwendungen und Nutzen des Risikomanagements im Bauwesen. S. 5.

⁵⁷ Vgl. GIRMSCHIED, G.; MOTZKO, C.: Kalkulation, Preisbildung und Controlling in der Bauwirtschaft. S. 348.

⁵⁸ Vgl. SPANG, K.; DAYYARI, A.: Konzepte und Entwicklungen beim Risikomanagement komplexer Bauprojekte. S. 141.

⁵⁹ Vgl. Kapitel 0 Risiko als Kombination von Wahrscheinlichkeit und Auswirkung

⁶⁰ Vgl. Kapitel 5.5 Monte-Carlo-Simulation

⁶¹ Vgl. SANDER, P.: Probabilistische Risiko-Analyse für Bauprojekte. S.42.

zelen Risikoereignisse können dabei durch die Berücksichtigung der Korrelationen modelliert werden.⁶² Im Rahmen der probabilistischen Risikobewertung können beispielsweise Baukosten⁶³ als auch die Bauzeit ermittelt werden.⁶⁴

Die probabilistische Berücksichtigung von Unsicherheiten stellt eines der Fundamente dieser Arbeit dar und wird in den folgenden Kapiteln näher betrachtet und erläutert.

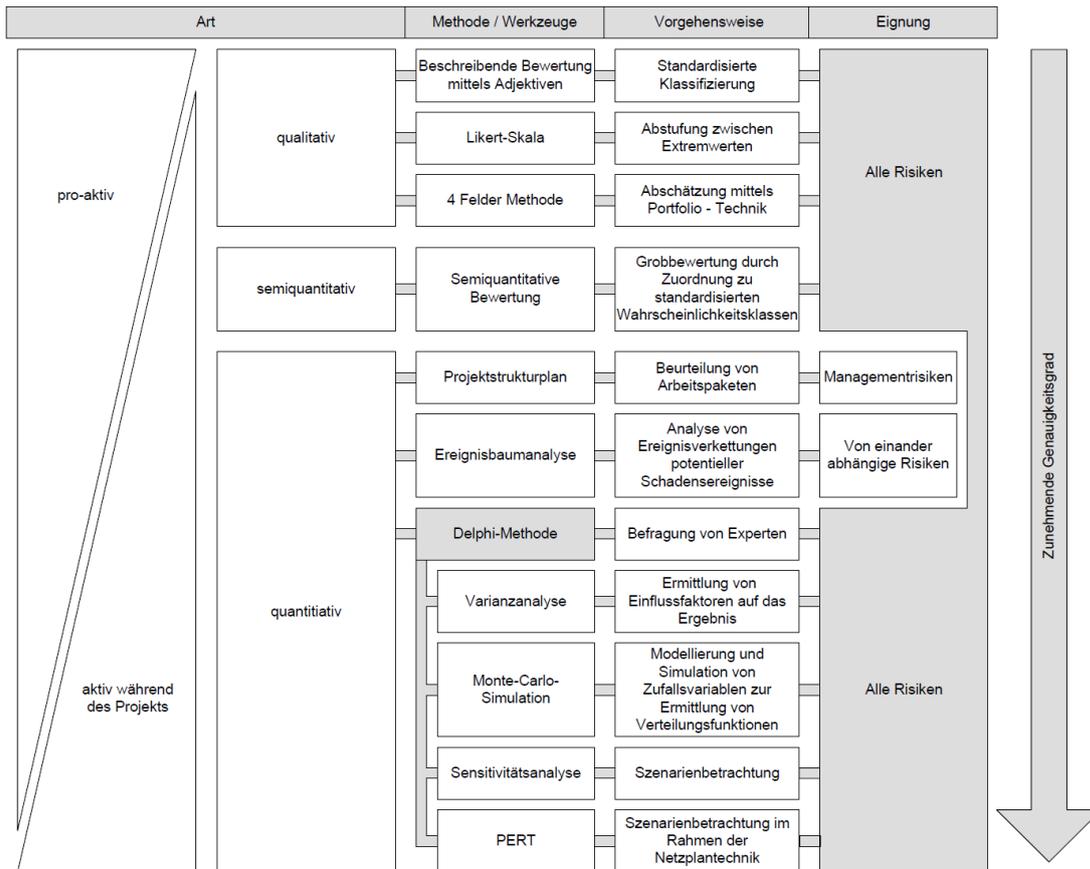


Bild 2.8 Methoden der Risikobewertung⁶⁵

⁶² Vgl. Kapitel 5.7 Korrelationen

⁶³ Die probabilistische Kostenberechnung wird im Kapitel 5 näher betrachtet und erläutert.

⁶⁴ HOFSTADLER, C.: Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb. S. 420ff.

⁶⁵ FEIK, R.: Elektronisch gestütztes Risikomanagement im Bauwesen. S. 51.

2.3.3 Risikobewältigung

Die Phase der Risikobewältigung umfasst die Planung, Auswahl und Umsetzung aller Maßnahmen, welche für die weiteren Behandlungen der identifizierten Risiken benötigt werden.⁶⁶

Das Ziel dieses Schrittes ist es, die vorhandenen Behandlungsmöglichkeiten zu erfassen, mögliche Alternativen einander gegenüberzustellen und die entsprechenden Maßnahmen mit einer möglichst hohen Effizienz, also mit einem verhältnismäßig geringen Aufwand, umzusetzen.⁶⁷ Dabei kann zwischen den aktiven (ursachenbezogen) und passiven (wirktungsbezogen) Bewältigungsstrategien unterschieden werden. Aktive beeinflussen die Risikostruktur direkt, indem auf die Eintrittswahrscheinlichkeit und/oder die Tragweite eingewirkt wird. Passive Maßnahmen hingegen sollen für den Fall des Risikoeintritts eine ausreichende Deckung oder Tragfähigkeit aufbauen. Häufig kommen die Maßnahmen mit dem Ziel, das Restrisiko gering zu halten, kombiniert zum Einsatz.⁶⁸ In der Literatur werden die Handlungsalternativen häufig als Stufenmodelle (Bild 2.10) zur Minderung der Gefahren bzw. zur Ausschöpfung der Chancen dargestellt.

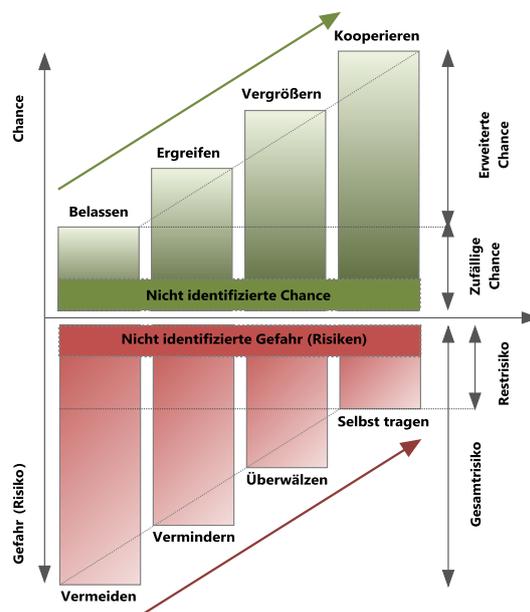


Bild 2.9 Strategien zur Ausschöpfung der Chancen und Reduzierung von Gefahren⁶⁹

⁶⁶ Vgl. Austrian Standards Institute: ÖNORM ISO 31000: Risikomanagement. S. 25.

⁶⁷ Vgl. STEMPkowski, R.; WALDAUER, E.: Risikomanagement Bau. S.111.

⁶⁸ Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 765ff.

⁶⁹ In Anlehnung an FEIK, R.: Elektronisch gestütztes Risikomanagement im Bauwesen. S. 67ff.

Die einzelnen Methoden der Risikobewältigung werden an dieser Stelle nur kurz zusammenfassend vorgestellt. Für eine ausführliche Auseinandersetzung sowie Ansätze, welche üblicherweise bei Bauprojekten zur Anwendung kommen, wird auf die Arbeiten von Girmscheid⁷⁰ und Feik⁷¹ verwiesen.

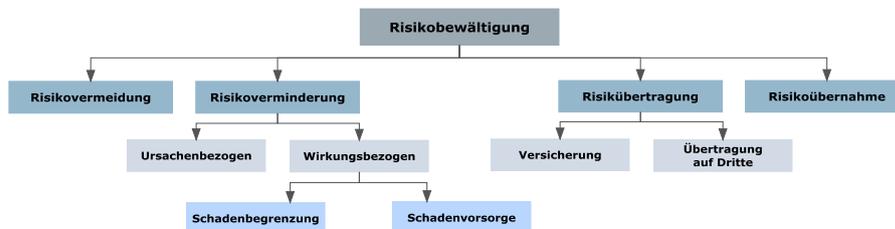


Bild 2.10 Möglichkeiten der Risikobewältigung⁷²

Risikovermeidung

Bei der Risikovermeidung werden Tätigkeiten, welche bestimmte Risiken beinhalten, nicht aufgenommen, oder es werden Änderungen (z.B. von Bauabläufen) vorgenommen, bei welchen die Eintrittswahrscheinlichkeit und/oder die Tragweite des Risikos den Wert null einnehmen/einnimmt. In Bezug auf Gefahren bringt diese Methode die größte Sicherheit, jedoch sind solche Maßnahmen meist mit einem großen Aufwand und hohen Kosten verbunden.⁷³ Was dabei noch zu beachten ist, ist, dass mit den Unsicherheiten auch Chancen in Verbindung stehen und so eventuelle Chancen nicht genutzt werden.

Risikoverminderung

Das Ziel der Risikoverminderung ist es, das Risiko auf ein akzeptables Maß zu reduzieren, sodass ein tragbares Restrisiko verbleibt. Dies kann durch technische, operationelle, bauliche oder personelle Maßnahmen erreicht werden.⁷⁴

Risikübertragung

Risiken, die nicht zu vermeiden oder nicht auf ein akzeptables Niveau zu mindern sind, können durch Risikotransfers an andere Projektbeteiligte (z.B. Sub-Unternehmer) oder Versicherungen übertragen werden. In solchen Fällen fallen Kosten – entweder in Form von Versicherungsprämien oder in Form von Risikozuschlägen – an.

⁷⁰ GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement.

⁷¹ FEIK, R.: Elektronisch gestütztes Risikomanagement im Bauwesen.

⁷² Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 766.

⁷³ Vgl. GIRMSCHIED, G.; MOTZKO, C.: Kalkulation, Preisbildung und Controlling in der Bauwirtschaft. S. 357.

⁷⁴ Vgl. DAYYARI, A.: Beitrag zur projektspezifischen Ausrichtung eines feed-forward- und feed-back-orientierten Risikomanagements für Bauprojekte. S. 259.

Risikoakzeptanz und Risikoübernahme

Können die Risiken mit den vorgenannten Maßnahmen nicht zur Gänze bewältigt, vermieden oder übertragen werden, sind diese zusätzlich zu den nicht berücksichtigten bzw. nicht identifizierten Risiken vom Unternehmen als ein Restrisiko zu übernehmen.

Nach der Wahl einer bzw. mehrerer Bewältigungsmaßnahmen ist eine Neubewertung der Risiken in Kombination mit den Maßnahmen durchzuführen, da die Maßnahmen selbst neue Risiken darstellen können.⁷⁵

2.3.4 Risikoüberwachung und Risikoüberprüfung

Den letzten Schritt des Risikomanagementprozesses stellen die Risikoüberwachung und Risikoüberprüfung dar, welche als ein Controlling-Prozess zu verstehen sind. Durch das kontinuierliche Risikocontrolling sollen die Gesamtentwicklung der Risikosituation, welche nach der Identifikation, Analyse und Bewältigung entsteht, als auch die Effizienz und Wirksamkeit der gewählten Bewältigungsmaßnahmen in periodischen Abständen überprüft und verfolgt werden. Werden dabei Abweichungen zwischen den Ist- und Sollgrößen oder neue Risiken festgestellt, sind aufgrund der neuen Informationen eine erneute Risikoanalyse sowie Maßnahmenplanung durchzuführen.⁷⁶

2.3.5 Kommunikation und Konsultation

Die Kommunikation und der Informationsaustausch sollten mit allen Beteiligten über alle Phasen des Risikomanagementprozesses durchgeführt werden. Dazu sind frühzeitig Kommunikations- und Konsultationspläne mit den internen und externen Stakeholdern zu entwickeln. So wird gewährleistet, dass alle Beteiligten die Grundlagen und Überlegungen, auf denen die Entscheidungen aufgebaut sind, verstehen.⁷⁷

⁷⁵ Vgl. Austrian Standards Institute: ÖNORM ISO 31000: Risikomanagement. S. 26.

⁷⁶ Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 776ff.

⁷⁷ Vgl. Austrian Standards Institute: ONR 49001: Risikomanagement für Organisationen und Systeme. S. 13ff.

3 Risikomanagement in der Bauwirtschaft

Nachdem die grundlegenden Begriffsdefinitionen sowie die Inhalte des Risikomanagementsystems branchenunabhängig aufgezeigt wurden, wird im nachstehenden Kapitel eine Kurzfassung der Einsatzmöglichkeiten des Risikomanagements sowie der Gefahren und Chancen in der Bauwirtschaft mit Fokus auf das ausführende Bauunternehmen und die Bauprojekte vorgestellt.

3.1 Ausgangslage der Bauwirtschaft

Im Vergleich zu den anderen Industriezweigen gilt die Bauwirtschaft als eine sehr risikoreiche Branche,⁷⁸ in der einzelne Projekte mit einem oft unvorhergesehenen negativen Ergebnis die Existenz eines Bauunternehmens infrage stellen können.⁷⁹ Als Ursachen dafür können die spezifischen Merkmale (Bild 3.1) der Bauwirtschaft gesehen werden, die das Risikopotenzial fördern und das Risikomanagement zu einem unverzichtbaren Werkzeug für diesen Wirtschaftszweig machen

Merkmale der Bauwirtschaft

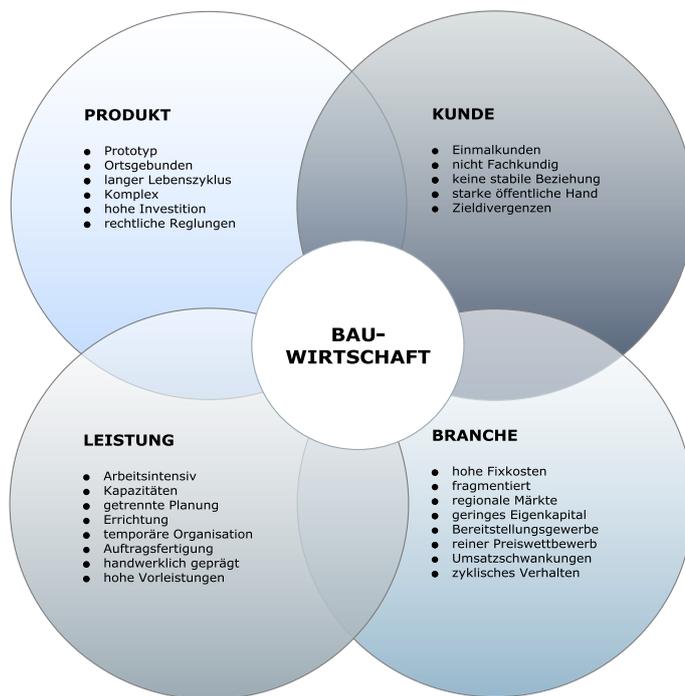


Bild 3.1 Merkmale der Bauwirtschaft⁸⁰

⁷⁸ Vgl. WIGGERT, M.: Risikomanagement von Betreiber- und Konzessionsmodellen. S. 95.

⁷⁹ Vgl. FLEMMING, C.; NETZKER, M.; SCHÖTTLE, A.: Probabilistische Berücksichtigung von Kosten- und Mengenrisiken in der Angebotskalkulation, In: Bautechnik 88, Heft 2, 2011b. S. 94.

⁸⁰ In Anlehnung an WIGGERT, M.: Risikomanagement von Betreiber- und Konzessionsmodellen. S. 95.

Trotz des großen Bedarfs an einem systematischen Risikomanagement zeigt sich in dieser Branche weltweit eine späte Entwicklung der Systeme. Die ersten Ansätze des Risikomanagements in der Bauwirtschaft sind in einfachen Anwendungsformen erst seit Anfang der Neunzigerjahre zu finden. Im Vergleich zu den Risikomanagementsystemen anderer Branchen ist in der Baubranche ein großer Nachholbedarf in Bezug auf Systematik und Methoden festzustellen. Während im Bank- und Versicherungswesen beispielsweise die probabilistische Risikokostenberechnung sowie die Quantifizierung der Risikotragfähigkeit zum Stand der Technik gehören, sind diese bei den Unternehmen der Bauwirtschaft eher in einer qualitativen Weise zu finden. Quantitative Anwendungen werden, wenn überhaupt, nur als deterministische Ermittlungen ohne Berücksichtigung der Bandbreiten möglicher Auswirkungen der einzelnen Risiken angewandt. Eine projektübergreifende Risikoüberlagerung bzw. Risikoaggregation zur Sicherung der Risikotragfähigkeit und damit des Unternehmenserfolges kommt nicht zur Anwendung.⁸¹

Status Quo

Als Hauptrisikoträger der Bauwirtschaft können die Bauunternehmen gesehen werden, die sich neben den Zielen der erfolgreichen Unternehmensführung auch mit den Zielen der erfolgreichen Projektabwicklung auseinandersetzen müssen.

Aus den oben dargestellten Merkmalen der Bauwirtschaft lassen sich einige Risikofaktoren für das Kerngeschäft (die Projektabwicklung) der Bauunternehmen ableiten, welche zu bewältigen sind:⁸²

- Unikatcharakter der Projekte (Unikatfertigung)
- Kapitalintensität durch hohe Investitionen
- Hoher Zeitdruck von der Bestellung bis zur Übergabe
- Management vieler Schnittstellen (Beteiligte, Gewerke etc.)
- Integration verschiedenster technischer Gewerke (Systemkomplexität)
- Teilweise Projektlaufzeiten über mehrere Jahre
- Ortsgebundenheit (Vollständige Produktion am Nutzungsort)
- Durch Überkapazitäten geprägte Konjunktur- und Strukturkrise

⁸¹ Vgl. GIRMSCHIED, G.; BUSCH, T. A.: Unternehmensrisikomanagement in der Bauwirtschaft. S. 25ff.

⁸² Vgl. GIRMSCHIED, G.; BUSCH, T. A.: Unternehmensrisikomanagement in der Bauwirtschaft. S. 26.

3.2 Risikomanagement bei Bauunternehmen

Vergleicht man die Bauunternehmen mit den Unternehmen anderer Branchen, fällt auf, dass diese besonderen Risiken unterliegen, welche sich aus den spezifischen Eigenschaften der Projekte sowie der Leistungserbringung ableiten lassen.⁸³ Die Risiken reichen dabei von strategischen Unternehmensrisiken bis zu technischen und terminlichen Projektrisiken.

3.2.1 Hauptproblemfelder

Bevor aber auf die maßgebenden Risiken und die Risikomanagementansätze der Bauunternehmen eingegangen wird, werden die typischen Problemfelder in Bezug auf Konflikt- und Risikoursachen, welche das Handeln der Bauunternehmen prägen, aufgezeigt.⁸⁴ Nach einer Untersuchung von Werkl lassen sich die Ursachen in folgenden Problemfeldern unterscheiden:⁸⁵

- Komplexität
- Planung mit unscharfen Prognosen
- Bauwirtschaftlicher Wettbewerb
- Angebots- und Auftragskalkulation

Komplexität

Unter der Komplexität werden im Allgemeinen „die Vielfalt der Verhaltensmöglichkeiten der Elemente und die Veränderlichkeit der Wirkungsverläufe verstanden“⁸⁶

In der Bauwirtschaft bezeichnet der Begriff der Komplexität die „Eigenschaft von Systemen (oder Modellen), die durch die Art und Zahl der zwischen den Systemelementen bestehenden Beziehungen (Relationen) festgelegt ist“⁸⁷ Da die Zustände der Systeme vom Zeitverlauf beeinflusst werden, ist diese Definition um eine zeitliche Komponente zu erweitern.⁸⁸

⁸³ Vgl. GIRMSCHIED, G.; BUSCH, T. A.: Unternehmensrisikomanagement in der Bauwirtschaft. S. 28.

⁸⁴ Für eine ausführliche Auseinandersetzung zu diesem Thema sei an dieser Stelle an die Dissertation von Werkl: „WERKL, M.: Risiko- und Nutzenverhalten in der Bauwirtschaft.“ verwiesen.

⁸⁵ Vgl. WERKL, M.: Risiko- und Nutzenverhalten in der Bauwirtschaft. S. 19.

⁸⁶ Gabler Wirtschaftslexikon, URL: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/5074/komplexitaet-v8.html>, Datum des Zugriffs: 15.01.2014.

⁸⁷ SCHLEICHER, M.: Komplexitätsmanagement bei der Baupreisermittlung im Schlüsselfertigbau. S. 11; zitiert bei: WERKL, M.: Risiko- und Nutzenverhalten in der Bauwirtschaft. S. 20.

⁸⁸ Vgl. WERKL, M.: Risiko- und Nutzenverhalten in der Bauwirtschaft. S. 19ff.

Unter Berücksichtigung der Definitionen können Handlungen unter Einfluss von Unsicherheit und Wahrscheinlichkeit als komplex beschrieben werden, da neben den Beziehungen der Systemelemente diese auch durch eine zeitliche Dimension veränderbar sind. Im Bauwesen äußert sich die Komplexität vor allem in dem Unikatcharakter der Bauwerke in Hinblick auf Planung, Projektorganisation, Bauablauf, Bauweise, Ressourceneinsatz und Projektdauer.⁸⁹

Planung mit unscharfen Prognosen

Die Planung ist „*der geistige, auch organisatorisch und institutionell ausgeformte Vorgang, durch Abschätzungen, Entwürfe und Entscheidungen festzulegen, auf welchen Wegen, mit welchen Schritten, in welcher zeitlichen und organisatorischen Abfolge, unter welchen Rahmenbedingungen und schließlich mit welchen Kosten und Folgen ein bestimmtes Ziel erreicht werden soll*“⁹⁰

Das Ziel der Planung in komplexen Systemen ist es, mithilfe von Prognosen zukünftige Ereignisse und Verläufe so genau wie möglich zu beschreiben bzw. vorauszusagen. Demzufolge stehen die Abwicklungen komplexer Planungsaufgaben mit der Bewältigung der Unsicherheiten und Wahrscheinlichkeiten in Verbindung.⁹¹ Diese Problematik trifft in der Bauwirtschaft sowohl den Auftraggeber bzw. dessen Planer als auch den Auftragnehmer, welcher beispielsweise bei der Angebotsbearbeitung (Kalkulation) oder bei der Arbeitsvorbereitung (Bauablaufplanung) mit zahlreichen Unsicherheiten und damit mit Risiken konfrontiert ist.

Bauwirtschaftlicher Wettbewerb

Die Bauwirtschaft ist durch einen intensiven und speziellen Wettbewerb geprägt, in dem Unternehmen ohne Rücksicht auf die finanziellen Konsequenzen Aufträge zu nicht deckenden Preisen akzeptieren, um so den Marktanteil zu halten bzw. auszubauen versuchen. Durch solche Wettbewerbsstrategien der Kostenführerschaft lassen sich zufriedenstellende Betriebsergebnisse jedoch nur von einer Minderheit der Unternehmen realisieren.⁹²

⁸⁹ Vgl. WERKL, M.: Risiko- und Nutzenverhalten in der Bauwirtschaft. S. 20.

⁹⁰ F.A. BROCKHAUS: Brockhaus Enzyklopädie. Band 21, S. 544.

⁹¹ Vgl. WERKL, M.: Risiko- und Nutzenverhalten in der Bauwirtschaft. S. 28.

⁹² Vgl. GIRMSCHEID, G.; BUSCH, T. A.: Unternehmensrisikomanagement in der Bauwirtschaft. S. 13.

Angebots- und Auftragskalkulation

Betrachtet man die Angebotskalkulation als einen vom Markt entkoppelten Prozess, beschreibt diese eine betriebswirtschaftliche Planungsaufgabe des Anbieters, mit welcher er versucht, die zukünftig entstehenden Kosten möglichst rational und objektiv abzubilden. Die Kostenermittlung⁹³ ist somit nur von den Rahmenbedingungen der Leistungserbringung abhängig und stellt die Ausgangsbasis für die Preisbildung dar, welche zusätzlich von den strategischen Entscheidungen der Unternehmung beeinflusst wird. Der Bieter hat bei der Angebotskalkulation also Entscheidungen zu treffen, welche mit Unsicherheiten behaftet sind und auf unscharfen Grundlagen⁹⁴ aufbauen, um einen deterministischen Preis zu ermitteln.⁹⁵ Unter Beachtung dieser kostenbestimmenden Unsicherheiten *„ist also schon der rein betriebswirtschaftlich kalkulatorische Ansatz von derart vielen Determinanten bestimmt, sodass eine vollständige Lösung der Kalkulationsaufgabe – zumindest mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand – nicht möglich erscheint“*⁹⁶

Die ohnehin komplex ermittelten Preise sind im Zuge der Angebotskalkulation bzw. der Angebotserstellung durch den bauwirtschaftlichen Wettbewerb weiteren speziellen Rahmenbedingungen ausgesetzt. In den meisten Fällen werden diese Preise vom Anbieter und dessen strategischen Entscheidungen zu einem unauskömmlichen Preis abgeändert.⁹⁷

*„Ein auskömmlicher Preis für ein konkretes Bauprojekt pendelt sich am Markt umso schlechter ein, je breiter die Wahrscheinlichkeitsverteilung für die Kosten ist, anders ausgedrückt, je höher die Risiken sind. Die Tendenz zum unauskömmlichen Preis wächst mit den Risiken.“*⁹⁸

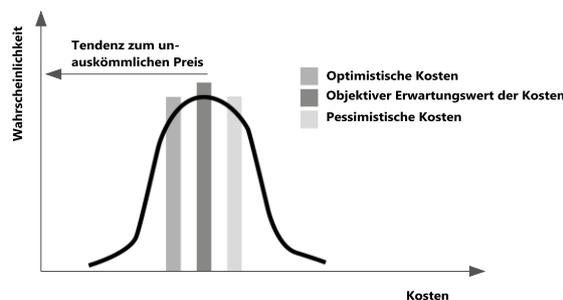


Bild 3.2 Tendenz zum unauskömmlichen Preis – Risikobandbreite⁹⁹

⁹³ Die Kostenermittlung, insbesondere die der Stahlbetonarbeiten stellt den Kern dieser Arbeit dar, und wird in Kapitel 4.3 genauer betrachtet.

⁹⁴ Als Beispiel könnte man die geschätzten Ansätze der Leistungswerte, sowie die unvorhersehbaren Materialpreisentwicklungen sehen.

⁹⁵ Vgl. WERKL, M.: Risiko- und Nutzenverhalten in der Bauwirtschaft. S. 30ff.

⁹⁶ WERKL, M.: Risiko- und Nutzenverhalten in der Bauwirtschaft. S. 31.

⁹⁷ Vgl. WERKL, M.: Risiko- und Nutzenverhalten in der Bauwirtschaft. S. 31ff.

⁹⁸ Bayerischer Bauindustrieverband e.V.: Baumarkt: Theorie für die Praxis 2002 S. 11.

⁹⁹ Vgl. Bayerischer Bauindustrieverband e.V.: Baumarkt: Theorie für die Praxis 2002 S. 11.

Aus den beschriebenen Problematiken der Angebots- und Auftragskalkulation wird ersichtlich, dass eine getrennte Betrachtung der Kostenermittlung und der Preisbildung anzustreben ist, da nur auf diese Weise betriebswirtschaftlich transparente Entscheidungen unter Risiko getroffen werden können.

Nachdem die Branchenimmanenten Rahmenbedingungen und die Problemfelder aufgezeigt wurden, werden folgend die Risiken eines Bauunternehmens kategorisiert und wird abschließend das Risikomanagement analysiert und dargestellt.

3.2.2 Kategorisierung der Unternehmensrisiken

Die Risiken eines Bauunternehmens sind in die Kategorien der **allgemeinen Unternehmensrisiken** und der **Projektrisiken** einzuteilen. Die Unternehmensrisiken bestehen projektübergreifend und unternehmensweit, wobei die Projektrisiken die spezifischen Risiken eines Bauprojektes bzw. die Risiken der Wertschöpfungskette beschreiben.¹⁰¹

Bezüglich des Zeithorizonts und der potenziellen Auswirkung werden die Risiken zwischen den **strategischen** und den **operativen** Risiken unterschieden. Erstere können in entscheidendem Masse die mittel- bis längerfristige Existenz des Unternehmens beeinflussen und weisen aufgrund ihres weit ausgelegten Zeithorizonts eine weniger klare Strukturierung auf. Da eine gezielte Steuerung und Beeinflussung häufig schwierig ist, sind diese in Hinblick auf die Bestandsgefährdung besonders zu beachten. Operative Risiken hingegen beschreiben die Gefahren relativ kurz- bis mittelfristig behebbarer Beeinträchtigungen des Geschäftsverlaufes. Die Zahl der operativen Risiken eines Bauunternehmens fällt im Gegensatz zu denen der stationären Industrie aufgrund der relativ langen Projektdauer und der Projektkomplexität sehr hoch aus. Wegen dieser Vielzahl der Risiken kann ein gleichzeitiger Eintritt mehrerer die Existenz des Unternehmens gefährden, da sich deren potenzielle Auswirkungen kumulieren können.¹⁰² Dadurch ergibt sich die Hauptrisikogruppe des Bauunternehmens im Wesentlichen aus den Risiken der Projektabwicklung.¹⁰³

In nachfolgender Abbildung (Bild 3.4) werden die Zusammenhänge zwischen den Risikofeldern, -arten und Einzelrisiken in Bauunternehmen dargestellt. Trotz der von Busch vereinfachten Darstellung wird bei nähe-



Bild 3.3 Einflussfaktoren der Angebotspreisbildung¹⁰⁰

¹⁰⁰ Vgl. LECHNER, H.: Kostenplanung, Normen, Regelwerke. S. 20.

¹⁰¹ Vgl. GIRMSCHIED, G.; BUSCH, T. A.: Unternehmensrisikomanagement in der Bauwirtschaft. S. 35.

¹⁰² Vgl. GIRMSCHIED, G.; BUSCH, T. A.: Unternehmensrisikomanagement in der Bauwirtschaft. S. 35.

¹⁰³ Vgl. GLEIBNER, W.: Risikomanagement und risikoorientierte Projektkalkulation in der Bauwirtschaft, In: Baumarkt + Bauwirtschaft 6/2006 S. 24.

rer Betrachtung die Komplexität der Ursache-Wirkung-Beziehungen verdeutlicht.

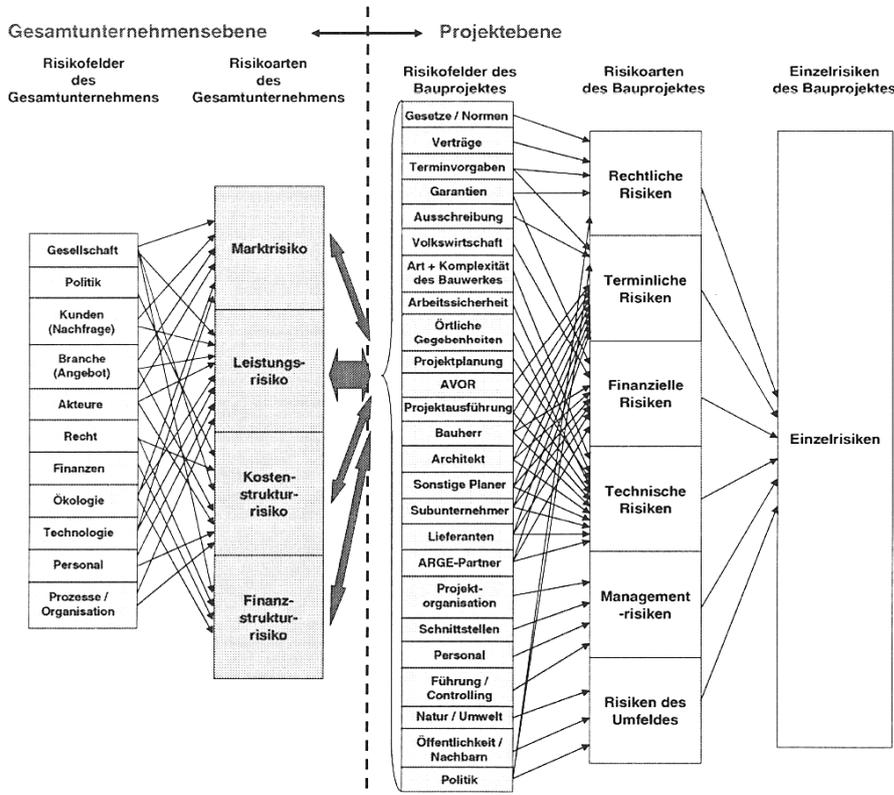


Bild 3.4 Zusammenhang zwischen Risikofeldern, -arten und Einzelrisiko¹⁰⁴

Die maßgebenden Risiken eines Bauunternehmens stellen sich aus den Markt-, Leistungs-, Kostenstruktur- und Finanzstrukturrisiken zusammen. Bei den **Marktrisiken** handelt es sich um Risiken, welche sich aus dem technologischen und gesellschaftlichen Umfeld des Unternehmens ableiten. Diese entstehen im Zuge der eigentlichen unternehmerischen Tätigkeit mit dem Ziel, Gewinne zu erzielen. Die **Leistungsrisiken** ergeben sich aus dem Leistungsangebot des Unternehmens, welche maßgeblich von der Leistungstiefe und -breite sowie von den Entscheidungen über die Art und den Umfang der Eigen- und Fremdleistungen beeinflusst werden. Die **Kostenstrukturrisiken** beeinflussen die akzeptablen unternehmensinternen Kosten (Risikotragfähigkeit) bei Eintritt eines Risikos. **Finanzstrukturrisiken** lassen sich durch den Eigenfinanzierungsgrad des Unternehmens, d.h. durch den Quotienten vom Eigenkapital (Dividend) und vom Gesamtkapital (Divisor), beschreiben. Sie beeinflussen die Rentabilität und die Eigenkapitalquote des Unternehmens.¹⁰⁵

¹⁰⁴ BUSCH, T. A.: Risikomanagement in Generalunternehmungen. S. 36.

¹⁰⁵ Vgl. DAYYARI, A.: Beitrag zur projektspezifischen Ausrichtung eines feed-forward- und feed-back-orientierten Risikomanagements für Bauprojekte. S. 110ff.

Um die Risiken zu strukturieren, werden Einzelrisiken, welche auf gleiche oder gleichartige Ursachen zurückzuführen sind, zu Risikoarten zusammengefasst. Risikofelder hingegen bezeichnen Bereiche, in denen diese Risikoarten liegen. In der Literatur wird generell die ursachenbezogene Strukturierung der Risiken empfohlen, da ein Risiko mehrere Auswirkungen zur Folge haben kann¹⁰⁶ Zu berücksichtigen ist, dass die Risiken nicht unabhängig voneinander sind. Der Eintritt eines Risikos einer Art kann Risiken auch anderer Arten hervorrufen.

In Bild 3.5 ist die Systematisierung der Risikoauswirkungen dargestellt. Die Auswirkungen des Risikoeintritts können dabei in drei Stufen (primäre, sekundäre und tertiäre Risikofolgen) eingeteilt werden. Der Eintritt eines Risikos – auch der von nicht quantifizierbaren Risiken – führt bei genauerer Betrachtung immer zu negativen finanziellen Folgen für das Unternehmen.

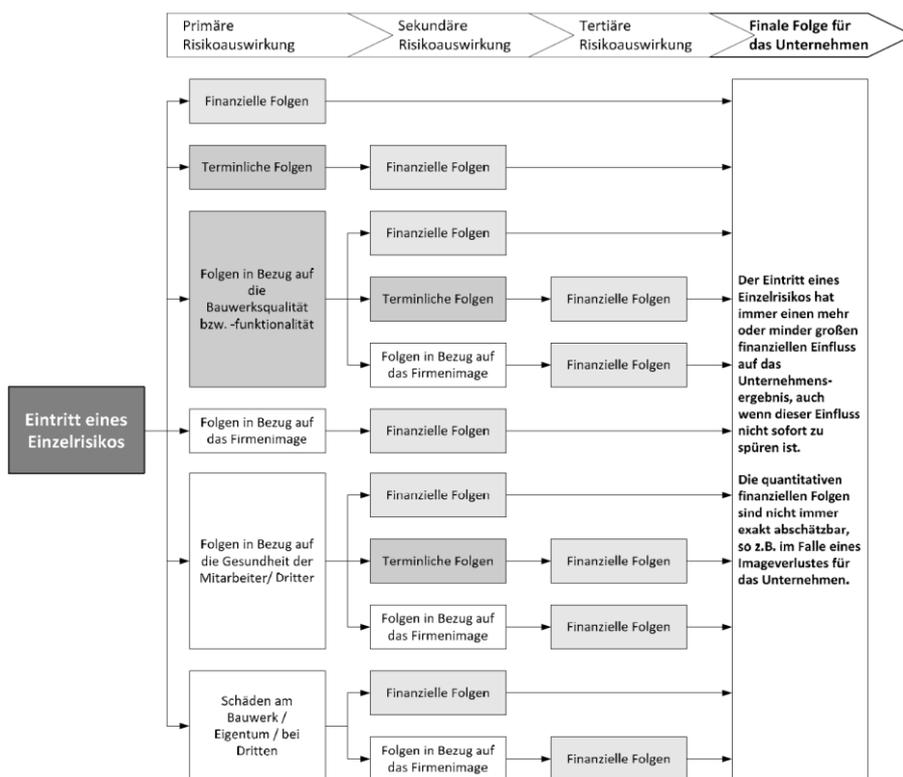


Bild 3.5 Systematisierung von Risiken¹⁰⁷

¹⁰⁶ Vgl. GIRMSCHIED, G.; MOTZKO, C.: Kalkulation, Preisbildung und Controlling in der Bauwirtschaft. S. 335.

¹⁰⁷ GIRMSCHIED, G.; MOTZKO, C.: Kalkulation, Preisbildung und Controlling in der Bauwirtschaft. S. 335.

3.2.3 Das Risikomanagementsystem im Bauunternehmen

Das Risikomanagement im Unternehmen ist als ein Organisations- bzw. Managementansatz zu sehen, dessen Ziele der systematische Umgang mit Risiken und die Schaffung von Transparenz über die unsicheren Zukunftentscheidungen sind. Die Aufgaben erstrecken sich von der Erarbeitung von Leitlinien über den operativen Risikomanagementprozess (Analyse, Bewertung, Bewältigung und Controlling) bis zur Umsetzung der Sicherheitsmaßnahmen. Dabei sind neben der Geschäftsleitung alle Abteilungen, Unternehmensebenen und Mitarbeiter in diesen Managementaufgaben einzubinden, was wiederum eine Abstimmung und Koordination der Aktivitäten sowie ein ausgeprägtes Risikobewusstsein erfordert.¹⁰⁸

Für die Einbindung des Risikomanagements sind in der Literatur unterschiedliche Modelle, aber keine konkreten Anleitungen zur Integration dieser vorhanden. Dies erschwert die Umsetzung in der Praxis.¹⁰⁹ Je nach Unternehmensgröße und Art können bei der Implementierung zentrale Risikomanagement-Stabstellen (siehe Bild 3.6) oder speziell geschulte Arbeitsgruppen bzw. Einzelpersonen zum Einsatz kommen. Stabstellen haben den Vorteil des hohen Spezialisierungsgrades und der unternehmensweiten Koordinierung.¹¹⁰

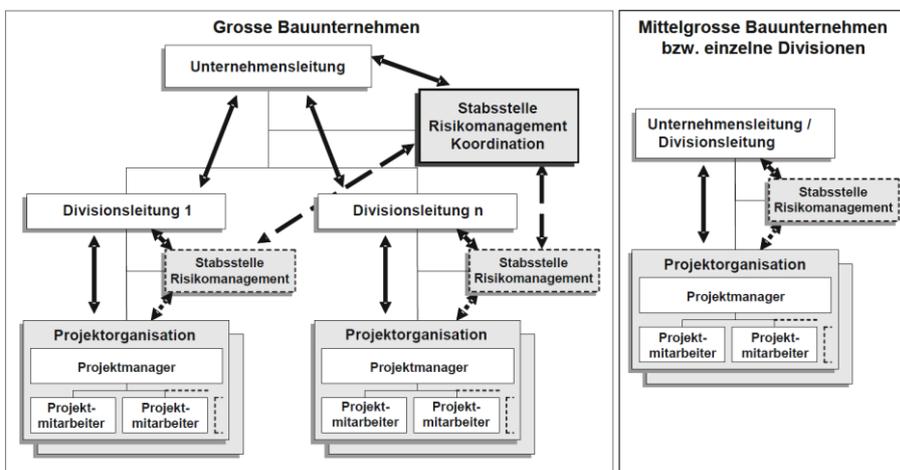


Bild 3.6 Exemplarische Darstellung der Einbindung der Risikomanagement-Stabstelle¹¹¹

¹⁰⁸ Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 712ff.

¹⁰⁹ Vgl. DAYYARI, A.: Beitrag zur projektspezifischen Ausrichtung eines feed-forward- und feed-back-orientierten Risikomanagements für Bauprojekte. S. 395.

¹¹⁰ Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 713.

¹¹¹ GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 714.

Die wesentlichen Aufgaben einer Risikomanagementstabstelle stellen sich wie folgt zusammen:¹¹²

- Unterstützung der Unternehmensleitung bei strategischen Risikomanagementfragen (z.B. bei der Definition von Risikozielen)
- Konzeption allgemeiner Richtlinien und Verhaltensanweisungen zur Risikohandhabung
- Ausbildung und Motivation der Mitarbeiter in den Methoden des operativen Risikomanagements
- Sicherstellung des Risikocontrollings

Die zentralen Aufgaben des Risikomanagements auf der Unternehmensebene sind die Bestimmung des eingegangenen Risikoumfangs und die Beurteilung der Risikotragfähigkeit. Dies geschieht im Schritt der Risikoaggregation auf verschiedenen Verdichtungsstufen.

3.2.3.1 Risikoaggregation

„Bei allen unternehmerischen Entscheidungen muss die Maxime lauten, dass der eingegangene Risikoumfang nicht höher sein darf als die Risikotragfähigkeit. Die Risikotragfähigkeit entspricht dabei dem Eigenkapital, da dieses im Falle des Risikoeintritts in Anspruch genommen wird, um Schaden entsprechend ausgleichen zu können.“¹¹³

Diese Ausführung führt zur Forderung, dass keine für die Existenz des Unternehmens gefährdende Risiken eingegangen werden dürfen. Zur Existenzgefährdung kommt es, wenn entweder eine Zahlungsunfähigkeit (finanzwirtschaftliche Dimension) oder eine Überschuldung (vermögenswirtschaftliche Dimension) des Unternehmens besteht. Eine Zahlungsunfähigkeit liegt vor, wenn das Unternehmen keine liquiden Mittel zur Verfügung hat, um fälligen Zahlungen nachzukommen. Die Überschuldung beschreibt den Zustand, wenn das Eigenkapital durch Verluste aufgebraucht wird und das Fremdkapital das (bilanzielle) Vermögen übersteigt. Um solchen gefährdenden Situationen vorzubeugen, muss der Risikoumfang aus den übernommenen und aus den noch zu übernehmenden Risiken mit der Risikotragfähigkeit des Unternehmens abgeglichen werden.¹¹⁴ Die Zusammenfassung der eingegangenen Risiken erfolgt über die Risikoaggregation mithilfe von Simulationsmethoden und

¹¹² Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 713.

¹¹³ OEPEN, R.-P.; GLEISNER, W.; HEINE, R.; KLÖZER, H.; WIECZOREK, R.: Risikoorientierte Bauprojekt-Kalkulation. S. 57.

¹¹⁴ Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 719.

muss über alle Unternehmensebenen (Verdichtungsstufen) durchgeführt werden.¹¹⁵

Die nachfolgende Abbildung (Bild 3.7) zeigt zusammenfassend die einzelnen Aggregationsebenen in einem Unternehmen. Auf der Projektebene werden alle vom Bauunternehmen getragenen Einzelrisiken eines Projektes von der singularen Aggregation zusammengefasst. Diese werden dann durch die superponierende Aggregation zum Gesamtrisiko aller Projekte (Risiken der Wertschöpfungskette) verdichtet. Abschließend werden bei der ganzheitlichen Aggregation zusätzlich zu den Risiken der Leistungserstellung die Risiken der operativen Unternehmensführung verdichtet, und so wird das operative Gesamtrisiko des Bauunternehmens dargestellt. Das Gesamtrisiko des Unternehmens erfasst zusätzlich die allgemeinen Unternehmensrisiken, wie Personal- oder Marktrisiken, und bildet die gesamte Risikosituation des Unternehmens.¹¹⁶

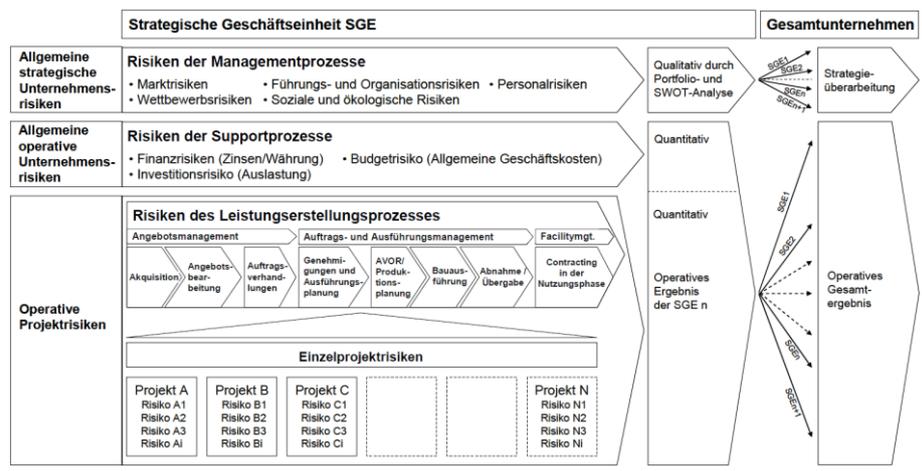


Bild 3.7 Zusammenhang der verschiedenen Aggregationsebenen¹¹⁷

Eine Voraussetzung für die Aggregation des Gesamtrisikos stellt die individuelle Risikobetrachtung der einzelnen Projekte dar. Dem Risikomanagement auf Projektebene kommt eine besondere Bedeutung zu, da die Risiken des Leistungserstellungsprozesses aus dem Kerngeschäft projektorientierter Unternehmen stammen und somit die Hauptrisiken der Bauunternehmen stark prägen. Eine nähere Betrachtung des Risikomanagements von Projekten erfolgt im nachfolgenden Kapitel.

¹¹⁵ Vgl. OEPEN, R.-P.; GLEIßNER, W.; HEINE, R.; KLÖZER, H.; WIECZOREK, R.: Risikoorientierte Bauprojekt-Kalkulation. S. 60ff.

¹¹⁶ Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 720ff.

¹¹⁷ GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 720.

3.3 Risikomanagement auf Projektebene

Im Kapitel 3.3 wurde das Risikomanagementsystem in Bauunternehmen betrachtet. Nachfolgend wird ein Überblick über den Risikomanagementansatz und die Risiken bei Bauprojekten gegeben. Abschließend werden die Risiken im Bereich der Stahlbetonarbeiten behandelt und veranschaulicht.

3.3.1 Risiken bei der Projektrealisierung

Bevor auf die Methoden und Ansätze eingegangen wird, werden die maßgebenden Risikoarten (Bild 3.8) eines Bauprojektes aufgezeigt und kurz erläutert. Die Risikofelder, in denen diese Risikoarten liegen, sind in Bild 3.4 dargestellt.

Rechtliche und vertragliche Risiken	Terminliche Risiken	Finanzielle Risiken	Technische Risiken	Managementrisiken	Umfeldrisiken (natürlich und sozial)
z.B. <ul style="list-style-type: none"> • Rechtliche Änderungen (Gesetze, Steuern, Umweltschutzbeschränkungen usw.) • Vertragskonflikte (Lieferant, Bauherr, Auftragnehmer usw.) • Baubewilligung, Einsprachen und damit verknüpfte Auflagen • Baustellenzugänglichkeit • Vertrags- und Rechtsgrundlagen • Vertragsabweichungen 	z.B. <ul style="list-style-type: none"> • Terminplanung • Verspätete Baubewilligung • Einsprachen • Nicht eingehaltene Zwischen- und Endtermine (Konventionalstrafen, Imageschäden) • Subunternehmerzuverlässigkeit 	z.B. <ul style="list-style-type: none"> • Finanz- und Kostenstrukturrisiko • Konkurs von Subunternehmern • Liquidität • Eigenkapital • Allgemerkostenflexibilität • Garantien und Haftung sowie Folgeschäden • Abnahme- und Zahlungsbedingungen 	z.B. <ul style="list-style-type: none"> • Planungsfehler • Neue technische Methoden • Fehler im Bauablauf • Neue Materialien und Geräte • Leistungsfähigkeit der Geräte • Fehler in der Planumsetzung • Arbeitsunfälle • Geologie/Untergrund • Kontaminierter Baugrund • Hydrologie 	z.B. <ul style="list-style-type: none"> • Managementkompetenz • Ungenügende Ressourcenbereitstellung • Unzweckmäßige Projektorganisation • Mangelhafter Informationsfluss • Mangelnde fachliche Qualifikation der eingesetzten Mitarbeiter 	z.B. <ul style="list-style-type: none"> • Wetter • Höhere Gewalt • Streiks • Umweltrisiken • Verzögerung des Bewilligungsverfahrens • Politisches Umfeld

„Der Begriff ‚Risiko‘ bedeutet in Bauprojekten die Möglichkeit der Abweichung von konkreten Projektanforderungen in den Bereichen Kosten, Termine und Qualität, wobei potenzielle positive Abweichungen ‚Chance‘ und potenzielle negative Abweichungen ‚Gefahr‘ genannt werden.“¹¹⁸

Bild 3.8 Risikoarten des Bauprojektes¹¹⁹

Die **rechtlichen Risiken** stehen in Zusammenhang mit den rechtlichen Rahmen des Leistungserstellungsprozesses bzw. mit den gesetzlichen und normativen Vorschriften, welche einzuhalten sind, insbesondere bei der Vertragsgestaltung. Den **terminlichen Risiken** kommt eine hohe Bedeutung im Bereich der Früherkennung zu. Diese können beispielsweise Abläufe gefährden oder gar infrage stellen. Die **finanziellen Risiken** werden auf Projektebene wie auf Unternehmensebene in den Begriffen Rentabilität und Liquidität differenziert. Zurückzuführen sind solche Risiken beispielsweise auf einen zu niedrigen Cashflow, Forderungsausfälle oder Vergütungsrisiken. Die **technischen Risiken** umfassen eine Vielzahl von Einzelrisiken, die im Zuge der Ausführung eintreten können. Bei den **Managementrisiken** geht es im Besonderen um Risiken, welche in Beziehung mit den Projektmanagementtätigkeiten stehen und beispielsweise durch Kompetenzprobleme der Projektleitung oder Probleme bei der Entscheidungsfindung entstehen können. Die

¹¹⁸ GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 703.

¹¹⁹ GIRMSCHIED, G.; MOTZKO, C.: Kalkulation, Preisbildung und Controlling in der Bauwirtschaft.

letzte Risikoart auf der Projektebene sind die Risiken aus dem natürlichen und sozialen **Umfeld**, zu denen beispielsweise die Umwelt, die Anrainer oder der Bereich der Öffentlichkeit gehören.¹²⁰

Konkretisierung der Risiken

Die Risiken des Projektes können gemäß dem systemorientierten Ansatz nach internen und externen Risikofaktoren differenziert werden. Erstere gehen vom gesamten Bauwerk bzw. vom Bauprozess und den Beteiligten aus und sind von den Projektbeteiligten vollständig oder zumindest teilweise beeinflussbar. Hierzu zählen beispielsweise Bauverfahren, Baumaterial oder die Projektorganisation selbst. Zweitere hingegen sind nur schwer oder gar nicht beeinflussbar, da diese das Bauwerk bzw. den Bauprozess von außen beeinträchtigen (z.B. Geologie, Bewilligungen und Genehmigungen, politische Akzeptanz).¹²¹

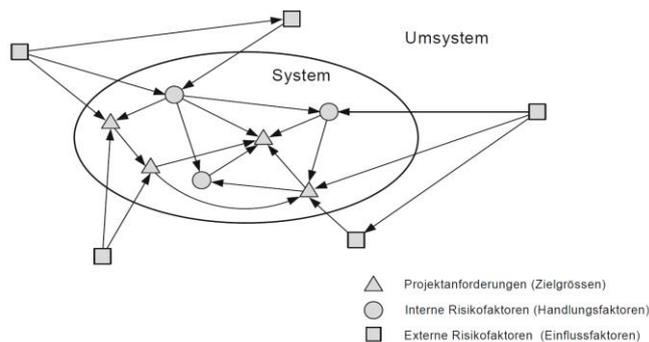


Bild 3.9 Systemorientierte Kategorisierung der Risikofaktoren¹²²

¹²⁰ Vgl. DAYYARI, A.: Beitrag zur projektspezifischen Ausrichtung eines feed-forward- und feed-back-orientierten Risikomanagements für Bauprojekte. S. 112ff.

¹²¹ Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 752.

¹²² GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 752.

3.3.2 Risikomanagement-Prozess

Wie schon erwähnt, stellt die langfristige Sicherung der Unternehmensexistenz durch Vermeidung existenzbedrohender Risiken das Hauptziel des Risikomanagements dar. Aus diesem Grund sollten auf der Projektebene Risiken der Leistungserstellungsprozesse mithilfe des RM identifiziert, klassifiziert, bewertet und behandelt werden. Projekte, die außerhalb des üblichen Risikoprofils liegen, und für welche keine Risikokosten vergütet werden, sollten nicht angenommen werden.

Um ein effektives und effizientes RM auf der Bauprojektebene dauerhaft zu etablieren, bedarf es Wesentlichkeitsgrenzen, indem die Projekte klassifiziert werden. Dadurch werden der benötigte Umfang des RM sowie die Verantwortlichkeiten der Beteiligten eines Projektes bestimmt. In der Literatur wird grundsätzlich die Klassifizierung der Projekte nach Risikogesichtspunkten empfohlen. Die Klassifizierung kann dabei wie das Beispiel in Tabelle 3.1 erfolgen. In Anlehnung an die Einordnung, welche auch als eine risikoorientierte ABC-Analyse potenzieller Projekte gesehen werden kann, erfolgt die Entscheidung, mit welcher Intensität die einzelnen Projekte überwacht werden. Die Spanne der Anwendung reicht von der „Standardanwendung“, mit Schwerpunkt auf den Phasen der Auftragserteilung, bis zu ausführlichen und detaillierten RM-Prozessen über alle Phasen des Projektes hindurch.¹²³

Projekt	Auftragswert	Komplexität	Neuartigkeit der Projekttypen	MA	PL	VA	Projektrisiko
klein	geringe Bedeutung	gering	bekannt	2 bis 8	1/4	Projektleitung	gering
mittel	mittlere Bedeutung	mittel	überwiegend bekannt	8 bis 24	1	Projektteam, -leitung, GF	mittel
groß	existentiell	hoch	relativ bekannt	≥ 25	3	GF	hoch

MA=Mitarbeiter • PL=Projektleiter • VA=Verantwortlicher • GF=Geschäftsführung

Tabelle 3.1 Projektklassifizierung¹²⁴

Die „Standardanwendung“ des systematischen projektbezogenen RM-Prozesses umfasst die risikoorientierte Auswahl der Ausschreibungen sowie die risikoorientierte Bearbeitung und Abgabe des Angebotes. Mit der aktiven Selektion der Bauaufträge wird erzielt, dass der Quotient aus der Anzahl an Angebotenen und der Anzahl der erteilten Zuschläge erhöht wird. Die risikoorientierte Bearbeitung dieser Zuschläge hilft den Projekterfolg zu erhöhen sowie die Projektziele und Gewinne zielorientierter sicherzustellen.¹²⁵

¹²³ Vgl. OEPEN, R.-P.; GLEIßNER, W.; HEINE, R.; KLÖZER, H.; WIECZOREK, R.: Risikoorientierte Bauprojekt-Kalkulation. S. 75ff.

¹²⁴ Vgl. OEPEN, R.-P.; GLEIßNER, W.; HEINE, R.; KLÖZER, H.; WIECZOREK, R.: Risikoorientierte Bauprojekt-Kalkulation. S.76.

¹²⁵ Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 746ff.

Die Eingliederung des Risikomanagement-Prozesses in die Phasen des Projektes ist in der nachfolgenden Abbildung aufgezeigt.

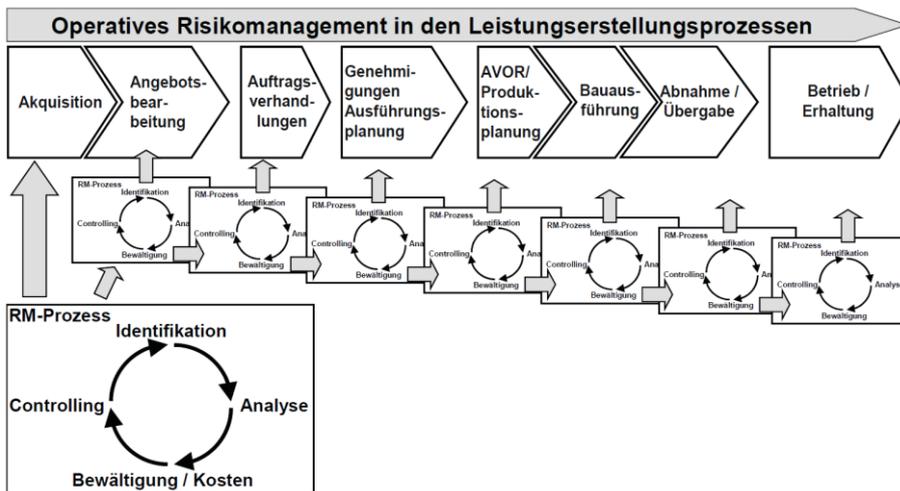


Bild 3.10 Risikomanagement-Prozess in der Projektphase¹²⁶

Bevor mit dem eigentlichen RM-Prozess bzw. mit der Bearbeitung der Angebotsunterlagen begonnen wird, sind von der Geschäftsleitung Go- und No-go-Kriterien für einen eventuellen vorzeitigen Verzicht auf die Angebotsabgabe bzw. dessen Bearbeitung anzugeben. Diese Kriterien können entweder durch einen Höchstbetrag der Tragweite oder durch die Identifikation eines bestimmten Einzelrisikos vorgegeben werden.¹²⁸

Der eigentliche Risikomanagement-Prozess ist in die fünf folgenden Teilprozesse unterteilt:¹²⁹

- Identifikation
- Analyse
- Klassifizierung
- Bewertung
- Bewältigung

Der allgemeine RM-Prozess sowie die angewandten Methoden und Ansätze sind in Kapitel 2.3 behandelt und veranschaulicht worden und werden daher an dieser Stelle nicht mehr näher betrachtet.

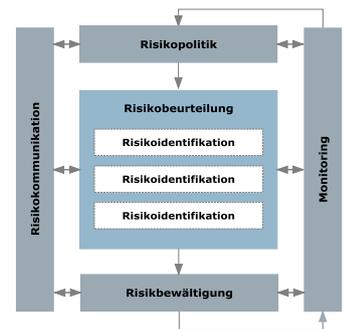


Bild 3.11 RM-Prozess¹²⁷

¹²⁶ GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 737.

¹²⁷ Vgl. Austrian Standards Institute: ÖNORM ISO 31000: Risikomanagement. S. 20.

¹²⁸ Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 749.

¹²⁹ Vgl. Kapitel 2.3 Risikomanagement-Prozess

3.4 Risiken im Bereich der Stahlbetonarbeiten

Abschließend wird zum Thema Risiken und Risikomanagement in der Bauwirtschaft auf die wirtschaftliche Bedeutung der Stahlbetonarbeiten sowie auf die Risiken, welche im Zuge dieser Arbeiten eintreten können, eingegangen.

3.4.1 Die wirtschaftliche Bedeutung der Stahlbetonarbeiten

Den Stahlbetonarbeiten kommt besonders in der Rohbauphase eine hohe Bedeutung zu. Betrachtet man die Einzelkosten der Stahlbetonarbeiten, welche in Österreich im Jahre 2006 rund 3,6 Mrd. € und in Deutschland im Jahre 2001 ca. 17,2 Mrd. € betragen, verdeutlichen diese auch stark die wirtschaftliche Bedeutung der Stahlbetonarbeiten.¹³⁰

Die Mengen des produzierten Transportbetons in Europa sind für das Jahr 2012 in nachstehender Abbildung dargestellt. Laut den Daten des Bundesverbands der deutschen Transportbetonindustrie betrug die Menge an produziertem Transportbeton in Österreich ca. 10,6 Mio. m³ und in Deutschland 46,0 Mio. m³. Nimmt man einen mittleren Betonpreis (inkl. Manipulation) von 90 €/m³ an, bedeutet das, dass allein der Verkaufserlös für den Transportbeton knapp über 0,95 Mrd. € in Österreich und 4,14 Mrd. € in Deutschland betrug.

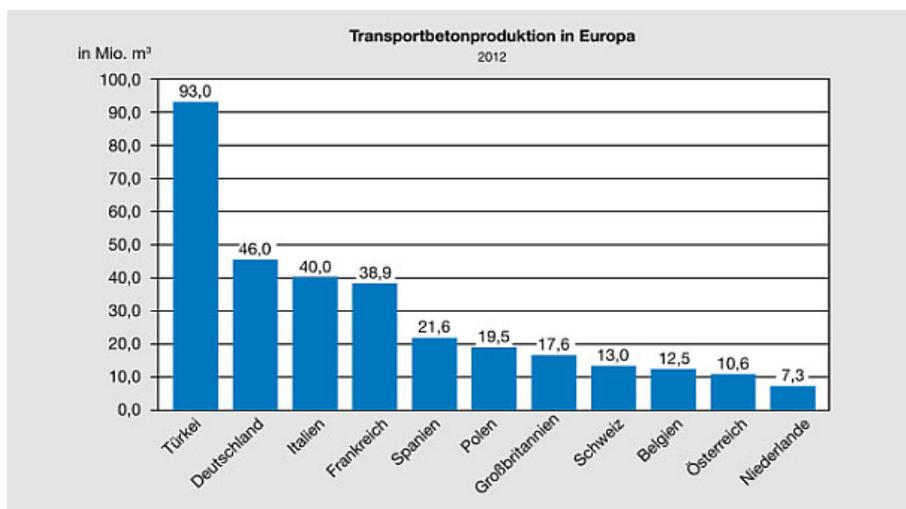


Bild 3.12 Transportbetonproduktion in Europa¹³¹

¹³⁰ Vgl. HOFSTADLER, C.: Schalarbeiten. S.27ff.

¹³¹ Bundesverband der Deutschen Transportbetonindustrie e.V. (BTB): Wirtschaftsdaten - Transportbetonproduktion in Europa, URL: <http://www.transportbeton.org/branche/wirtschaftsdaten/>, Datum des Zugriffs: 13.02.2014

3.4.2 Risiken bei Stahlbetonarbeiten

Die Risiken bei Stahlbetonarbeiten ergeben sich aus dem Leistungserstellungsprozess und bestehen größtenteils aus den oben schon erklärten Projektrisiken. Zusätzlich zu den in Bild 3.8 angeführten Risikoraten und Risiken sind etwa ästhetische Risiken beispielsweise für Sichtbetonoberflächen, welche sich aus Schalungsarbeiten ergeben, zu beachten.

Hofstadler gibt für die Schalungsarbeiten folgende Risikokriterien an:¹³²

- Ästhetische Risiken
- Baubetriebliche Risiken
- Bauwerksbedingte Risiken
- Sicherheitsbezogene Risiken
- Technische Risiken
- Umwelt- und umfeldspezifische Risiken

Diese Risikokriterien können als Risikoarten der Stahlbetonarbeiten, sprich: als Ursachenbereiche sämtlicher Einzelrisiken, gesehen werden. Dementsprechend sind folgende Risikoarten und Einzelrisiken für die Stahlbetonarbeiten denkbar:

Stahlbetonarbeiten							
Risikoarten	Ästhetische Risiken	Baubetriebliche Risiken	Bauwirtschaftliche Risiken	Sicherheits-technische Risiken	Technische Risiken	Umweltrisiken	Umfeldrisiken
Einzelrisiken	Porigkeit	Termine	Materialkosten	Länderspezifische	Lastableitung	Topografische	Behörden
	Arbeitsfugen	Mengen	Mietsätze	Anforderungen	Frischbetondruck	Bedingungen	AG
	Ebenheit	Qualität	Lohnniveau	Windanfälligkeit	Fugendichte	Geografische	Subunternehmer
	Struktur	Tägliche Leistung	Gerätekosten	Sondereile für	Auftrieb	Bedingungen	Anrainer
	Kantenausbildung	Aufwandswerte	Produktivität	Sicherheits-anforderungen	Einbau d. Bewehrung	Geologische	etc.
	Farbgleichheit	AK - Anzahl	Aufwandswerte	etc.	etc.	Bedingungen	
	Ankerbild	Logistik	Terminverzug			Klima	
	Fugenbild etc.	etc.	Krauslastung etc.			etc.	

Tabelle 3.2 Risiken bei Stahlbetonarbeiten¹³³

¹³² HOFSTADLER, C.: Schararbeiten. S.354.

¹³³ In Anlehnung an HOFSTADLER, C.: Schararbeiten. S.350ff.

4 Kostenplanung und -ermittlung bei Bauprojekten

Dieses Kapitel soll neben den betriebswirtschaftlichen Grundlagen und Definitionen des Kostenbegriffs einen Überblick über die Kostenplanung, die Kostenermittlungsverfahren und die in der Literatur vorgesehenen Kostentoleranzen geben. Den Mittelpunkt der Betrachtung bildet die Ermittlung der Kosten für die Stahlbetonarbeiten. Für diese werden die erforderlichen Berechnungsgleichungen getrennt nach Grob- und Detailkalkulation angeführt und erläutert.

4.1 Definition und Differenzierung des Kostenbegriffes

Unter dem Kostenbegriff wird in der Betriebswirtschaft der bewertete Verzehr von wirtschaftlichen Gütern materieller (Wertverzehr) und immaterieller (Werteinsatz) Natur zur Leistungserstellung und -verwertung sowie zur Schaffung und Aufrechterhaltung der dafür notwendigen Teilkapazitäten verstanden.¹³⁴

Die Kosten werden nach ihrer Struktur, Zurechenbarkeit und Beeinflussbarkeit differenziert. Ein Erklärungsmodell der drei gleichzeitig bestehenden Kostenperspektiven ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

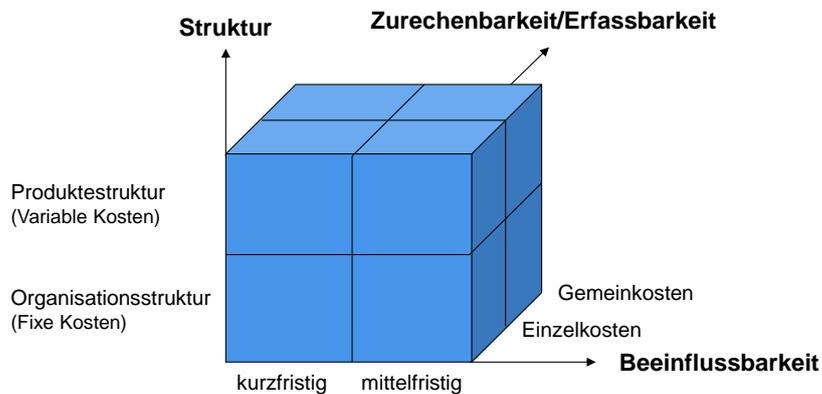


Bild 4.1 Kostenwürfel¹³⁵

¹³⁴ Gabler Wirtschaftslexikon, URL: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/54284/kosten-v7.htm>, Datum des Zugriffs: 16.02.2014.

¹³⁵ Vgl. SCHUH, G.: Innovationsmanagement. S.309.

Struktur der Kosten

Die Struktur beschreibt die Abhängigkeit der Kosten zu der Beschäftigung bzw. zu der Auslastung einer Kapazität. Beschäftigungsunabhängige Kosten werden als Fixkosten und beschäftigungsabhängige Kosten als variable Kosten bezeichnet. Letztere entstehen aufgrund der Leistungserstellung und ändern sich proportional zur Beschäftigung. Mit der zunehmenden Beschäftigung kann es aber auch zu einem überproportionalen (z.B. Energiekosten bei einer überhöhten Intensität der Anlagen) oder einem unterproportionalen Anstieg der Kosten (z.B. Mengenrabatte) kommen. In diesem Zusammenhang wird ebenso von progressiven und degressiven Kosten gesprochen (vgl. Bild 4.2). Fixe Kosten hingegen sind von der Kapazitätsausnützung unabhängig. Diese entstehen durch die Aufrechterhaltung der Leistungsbereitschaft.¹³⁶

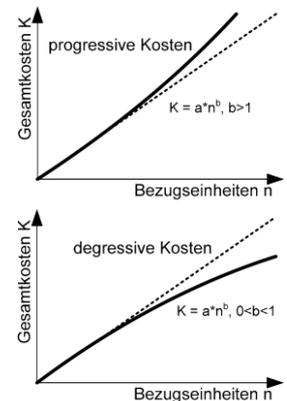


Bild 4.2 progressive und degressive Kostenverläufe

Erfassbarkeit bzw. Zurechenbarkeit der Kosten

Weiters lassen sich die Kosten nach ihrer Zurechenbarkeit bzw. Erfassbarkeit auf Kostenträger zwischen Einzelkosten und Gemeinkosten differenzieren. Sind Kosten einem Kostenträger (z.B. einer Leistungsposition) direkt zurechenbar, werden diese als Einzelkosten¹³⁷ bezeichnet. Kosten, die Kostenträgern nicht direkt zuordenbar sind, weil sie für mehrere Kostenträger (z.B. für eine Reihe von Leistungspositionen) gleichzeitig anfallen, werden Gemeinkosten oder auch indirekte Kosten genannt¹³⁸

Bei der Ermittlung der Baukosten können folgende Einzel- und Gemeinkosten anfallen:¹³⁹

Einzelkosten:

- Kosten für Bau- und Fertigungsstoffe, welche zur Erstellung einer bestimmten Teilleistung verwendet werden.
- Lohn- und Gehaltskosten, welche unmittelbar einer Teilleistung zuordenbar sind.
- Kosten für Nachunternehmer, welche definierte Teilleistungen erbringen.

¹³⁶ Vgl. HECK, D.: LV Skriptum: Bauwirtschaftslehre. S. 13.

¹³⁷ Synonyme: direkte Kosten, spezifische Kosten, identifizierbare Kosten und Kostenträgereinzelkosten.

¹³⁸ Vgl. DAUM, A.; GREIFE, W.; PRZYWARA, R.: BWL für Ingenieure und Ingenieurinnen. S. 79ff.

¹³⁹ Vgl. GIRMSCHIED, G.; MOTZKO, C.: Kalkulation, Preisbildung und Controlling in der Bauwirtschaft. S. 139ff.

Gemeinkosten:

- Baustellengemeinkosten (BGK): indirekte Kosten der Baustelle, die keiner Teilleistung direkt zuordenbar sind, wie z.B. die Bauleitung.
- Geschäftsgemeinkosten (GGK): allgemeine Geschäftskosten, die baustellenübergreifend im Unternehmen entstehen, wie z.B. die Kosten der Geschäftsleitung.

Beeinflussbarkeit der Kosten

Zuletzt werden die Kosten auch in ihre Beeinflussbarkeit bzw. ihre Veränderbarkeit differenziert. Grundsätzlich wird zwischen Kosten, die kurzfristig, langfristig oder gar nicht beeinflussbar sind, unterschieden. In Zusammenhang mit der Beeinflussbarkeit werden auch die Begriffe Kostenremanenz und Kostenresistenz verwendet. Die Kostenresistenz beschreibt den asymmetrischen Kostenverlauf, welcher im Falle des rückläufigen Beschäftigungsgrades nicht der gleichen Kurve folgt, der er zuvor bei der steigenden Beschäftigung gefolgt ist. Die dabei höher ausfallenden Kosten werden als remanente Kosten genannt (vgl. Bild 4.3).¹⁴¹

Neben den beschriebenen Differenzierungen werden im Bauwesen die Kosten auch in zeitabhängige und zeitunabhängige Kosten unterschieden. Zeitgebundene bzw. zeitabhängige Kosten stehen in direktem Zusammenhang mit der Bauzeit. D.h. bei einer Erhöhung der Bauzeit steigen auch die Kosten, während diese bei einer Bauzeitverkürzung sinken (z.B. Kosten eines Kranes). Auf die zeitunabhängigen Kosten hingegen hat die Bauzeitveränderung keinen Einfluss (z.B. Kosten der Baustelleneinrichtung oder -räumung).¹⁴²

Nachdem die Definition sowie die Differenzierungsmöglichkeiten des Kostenbegriffes aufgezeigt wurden, wird nachfolgend auf die Kostenplanung bei Bauprojekten eingegangen. Dabei werden die einzelnen Kostenphasen vorgestellt und erläutert.

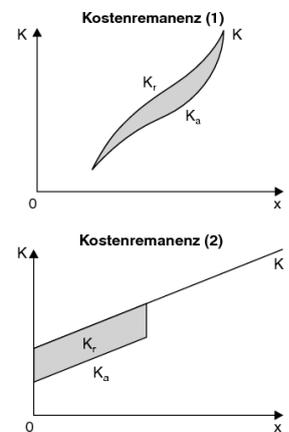


Bild 4.3 Remanenzschleife [Kostenremanenz(1)] – remanenter Kostensprung [Kostenremanenz (2)]¹⁴⁰

¹⁴⁰ Gabler Wirtschaftslexikon, URL: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/7702/kostenremanenz-v6.html>, Datum des Zugriffs: 17.02.2014.

¹⁴¹ Vgl. Gabler Wirtschaftslexikon, URL: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/7702/kostenremanenz-v6.html>, Datum des Zugriffs: 17.02.2014.

¹⁴² Vgl. HECK, D.: LV Skriptum: Bauwirtschaftslehre. S. 16.

4.2 Kostenplanung bei Bauprojekten

Die Kostenplanung umfasst die Gesamtheit aller Maßnahmen der Kostenermittlung, der Kostenkontrolle und der Kostensteuerung. Das Ziel dabei ist es, ein Bauprojekt wirtschaftlich, kostentransparent und kostensicher zu realisieren. Dafür können folgende Grundsätze nachgegangen werden:¹⁴³

- Einhaltung der Kosten durch die Anpassung der Qualitäten und Quantitäten
- Minimierung der Kosten bei definierten Qualitäten und Quantitäten

Die Kostenplanung ist neben der Termin- und Qualitätsplanung von den einzelnen Phasen des Projektes abhängig und erfolgt in unterschiedlichen Detaillierungsgraden. In der ÖNORM B 1801-1:2009 wird dafür ein Planungssystem (vgl. Bild 4.4) vorgeschlagen, welches die Handlungsbereiche Qualität, Kosten und Termine umfasst. Der Handlungsbereich der Kosten ist wiederum in die Ebenen der Kostenplanung und der Finanzierung unterteilt. In dieser Arbeit wird nur auf die Ebene der Kostenplanung eingegangen.

Projektphase		Entwicklungsphase	Vorbereitungsphase	Vorentwurfsphase	Entwurfsphase	Ausführungsphase	Abschlussphase	
Handlungsphase	Qualität	Qualitätsziel	Qualitätsrahmen	Vorentwurfsbeschreibung	Entwurfsbeschreibung	Ausführungsbeschreibung	Qualitätsdokumentation	
		Quantitätsziel	Raumprogramm	Vorentwurfsplanung	Entwurfsplanung	Ausführungsplanung	Planungsdokumentation	
	Kosten	Kostenziel	Kostenrahmen	Kosten-schätzung	Kosten-berechnung	Kosten-anschlag	Kosten-feststellung	
		Finanzierung	Finanzierungsziel	Finanzierungsrahmen	Finanzierungsplan			
	Termine	Termine	Terminziel	Terminrahmen	Grobterminplan	Generellerablaufplan	Ausführungs-terminplan	Termin-feststellung
		Ressourcen	Ressourcenziel	Ressourcenrahmen	Ressourcenplan			
Gliederung	Baugliederung		1. Ebene					
			2. Ebene					
			3. Ebene					
			Elementtyp					
Leistungsgliederung		Leistungsposition						

Bild 4.4 Planungssystem lt. ÖNORM B 1801-1:2009¹⁴⁴

In frühen Projektstadien werden für die ersten Kostenschätzungen (z.B. für die Feststellung des Kostenrahmens) üblicherweise Kennwerte auf Basis der Bruttogrundfläche (€/m² BGF) bzw. des Bruttorauminhaltes (€/m³ BRI) herangezogen. Mit der zunehmenden Projekttiefe wird die Kostenschätzung schrittweise verfeinert. In der Vorentwurfsphase kann beispielsweise für die Kostenschätzung der Hochbauprojekte die ÖNORM B 1801-1 angewandt werden. Wenn die Planung in der Ent-

Kostenrahmen

Kostenschätzung

¹⁴³ Vgl. Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 276-1: Kosten im Bauwesen - Teil 1: Hochbau. S. 4ff.

¹⁴⁴ Vgl. Austrian Standards Institute: B 1801-1 Bauprojekt- und Objektmanagement. S. 5.

wurfsphase die Genauigkeit einer Detail- bzw. Ausschreibungsplanung erreicht hat und ein Leistungsverzeichnis erstellt wurde, können die Kosten auf Basis dieses Verzeichnisses berechnet werden. Die Grundlage dafür stellen die Massenberechnungen sowie die Einheitspreise (EP) der wesentlichen Positionen dar. Die EP können dabei kalkuliert, abgeschätzt oder aus Kostenanalysen ähnlicher Bauprojekte herangezogen werden. Erst ab der Ausführungsphase bzw. nach der Vergabe der Bauleistungen kann von den „tatsächlichen“ Kosten, in denen auch der aktuelle Marktpreis enthalten ist, gesprochen werden. Bis zu diesem Zeitpunkt sind die einzelnen Kostenwerte nur abschätzbar. Von der ersten Vergabe an ist die Übersicht der Gesamtkosten bis zum Ende der Bauphase laufend zu aktualisieren. Diese hat im Besonderen die Leistungsänderungen, die Zusatzleistungen sowie die Nachträge der ausführenden Unternehmen für Erschwernisse und Behinderungen zu berücksichtigen. Anhand dieser Gesamtübersicht können dann am Ende der Bauwerkserstellung die Gesamtprojektkosten festgestellt werden.¹⁴⁵

Kostenberechnung**Kostenaufschlag****Kostenfeststellung**

Es ist ersichtlich, dass je nach Planungstiefe und Projektphase unterschiedliche Genauigkeiten und Stufen der Kostenplanung notwendig sind. Zu beachten ist aber, dass mit der Zunahme der angestrebten Genauigkeit auch der dafür erforderliche Aufwand enorm steigt. Aus diesem Grund kommt es im Zuge der Kostenermittlung eines Projektes meist zu einer schrittweisen Verwendung mehrerer Kalkulationsmethoden bzw. Kalkulationsverfahren.¹⁴⁶ Die üblichen Kostenermittlungsverfahren werden im nachfolgenden Unterkapitel vorgestellt.

Über den einzelnen Kostenermittlungsstufen hinaus stellen die Kostenkontrolle und Kostensteuerung weitere zwei unverzichtbare Inhalte der Kostenplanung dar. Diese dienen der Überwachung der Kostenentwicklung und der Einhaltung der Kostenvorgaben. Dabei sind die Planungs- und Ausführungsmaßnahmen hinsichtlich der resultierenden Kosten kontinuierlich zu bewerten. Werden dabei Abweichungen festgestellt, sind Entscheidungen zu treffen, ob zielgerichtete Maßnahmen der Kostensteuerung zu ergreifen sind, oder ob die Planung unverändert fortgesetzt werden soll.¹⁴⁷

¹⁴⁵ Vgl. STEMPKOWSKI, R.: Risiko- & Kostenprognose-Modell, Anwendung des Risikomanagements in der Kostenplanung. S.1ff.

¹⁴⁶ Vgl. OEPEN, R.-P.; GLEIßNER, W.; HEINE, R.; KLÖZER, H.; WIECZOREK, R.: Risikoorientierte Bauprojekt-Kalkulation. S. 164.

¹⁴⁷ Vgl. Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 276-1: Kosten im Bauwesen - Teil 1: Hochbau. S. 9.

4.2.1 Kostenermittlungsverfahren

Grundsätzlich wird bei der Kostenermittlung zwischen folgenden Verfahren unterschieden:¹⁴⁸

- Nutzungsbezogene Verfahren
- Bauwerksbezogene Verfahren
- Bauelementeverfahren
- Ausführungsorientierte Verfahren

Die nutzungsbezogenen Methoden beziehen sich auf die projektspezifischen Einheiten wie z.B. die Anzahl an Betten eines Hotels, die Anzahl an Tiefgaragenabstellplätzen oder beispielsweise die Zahl der Arbeitsplätze eines Bürohauses. Mit den angenommenen Kosten je Einheit (€/Nutzungseinheit) ermöglicht dieses Verfahren eine schnelle Abschätzung der Gesamtkosten eines Projektes. Jedoch kann die Genauigkeit der Kosten stark schwanken.¹⁴⁹ Solche Verfahren werden daher in sehr frühen Projektstadien (z.B. in der Entwicklungsphase) angewendet.

Nutzungsbezogen

Bauwerksbezogene Verfahren basieren auf dem Ansatz, dass sich die Kosten auf die geometrischen Größen des Gebäudes (Gebäudeflächen, Gebäudevolumen) zurückführen lassen und auf andere ähnliche Projekte übertragbar sind. Da bei dieser Methode der Unikatcharakter bzw. die individuellen Besonderheiten eines Projektes kaum berücksichtigt werden, wird diese Kostenermittlungsvariante eher in frühen Phasen z.B. zur Bestimmung des Kostenrahmens angewandt.¹⁵⁰

Bauwerksbezogen

Bei dem Bauelementeverfahren erfolgt die Kostenermittlung mithilfe der Aufgliederung des Objektes in dessen Grobelemente (z.B. Innenwände) und in weiterer Folge in die Bauelemente (z.B. tragende und nichttragende Innenwände). Für diese werden dann die Kosten einzeln betrachtet und aufsummiert.¹⁵¹

Bauelementeverfahren

Die Kostenermittlung erfolgt bei den ausführungsorientierten Verfahren, indem das Bauwerk z.B. in Leistungsgruppen (LG) oder gar in Unterleistungsgruppen (UGL) untergliedert wird und die Kosten getrennt, beispielsweise für die Beton- und Stahlbetonarbeiten, Mauerarbeiten, Dachdeckerarbeiten usw., bestimmt werden.¹⁵²

Ausführungsorientiert

Neben den genannten Verfahren sind z.B. Tunnelbau weitere Methoden mit unterschiedlichen Gliederungs- und Detaillierungsgraden verbreitet.

¹⁴⁸ Vgl. LECHNER, H.: Kostenplanung, Normen, Regelwerke. S. 23ff.

¹⁴⁹ Vgl. OEPEN, R.-P.; GLEISNER, W.; HEINE, R.; KLÖZER, H.; WIECZOREK, R.: Risikoorientierte Bauprojekt-Kalkulation. S. 148.

¹⁵⁰ Vgl. KOCHENDÖRFER, B.; LIEBCHEN, J.; VIERING, M.: Bau-Projekt-Managementl. S. 151.

¹⁵¹ Vgl. KUMMER, M. K.: Einsatz der Monte-Carlo Simulation zur Berechnung von Baukosten und Bauzeit. S. 18.

¹⁵² Vgl. LECHNER, H.: Kostenplanung, Normen, Regelwerke. S. 24

4.2.2 Kostensicherheit und Kostentoleranzen

Die Kostensicherheit eines Bauprojektes stellt für fast alle Auftraggeber das oberste Projektziel dar. Vor allem kommt den Kostenermittlungen renditenorientierter Bauten eine hohe Bedeutung zu. Diese bilden für die Bauherren eine wesentliche Grundlage für die Renditenbetrachtung und in weiterer Folge für die Investitionsentscheidung. Liegen beispielsweise die späteren Baukosten oberhalb des geplanten Budgets, wirkt sich dieser Umstand negativ auf die geplante Rendite aus, da zusätzliche Finanzierungsmittel bereitzustellen sind. Im umgekehrten Fall kann eine ungenaue Kostenermittlung zu Umständen führen, dass Fremdkapital durch Kapitalgeber bereitgestellt, aber nicht beansprucht wird. Dies wirkt sich wiederum auf die Renditenbetrachtung durch die Zahlung der Bereitstellungszinsen negativ aus.¹⁵³

Nicht gründlich durchgeführte Kostenberechnungen haben in der jüngeren Geschichte zu zahlreichen Zeitungsartikeln und sogar zu einigen Gerichtsurteilen geführt. Die nachfolgende Entscheidung des Brandenburgischen Oberlandesgerichts soll die Bedeutung des Themas verdeutlichen.

„Haben die Parteien eines Architektenvertrages einen verbindlichen Kostenrahmen vereinbart, so kann dessen Überschreitung zu einem Schadensersatzanspruch des Auftraggebers wegen eines Mangels des Architektenwerks führen. Auch wenn ein verbindlicher Kostenrahmen nicht vereinbart ist, gehört die laufende Kostenkontrolle und entsprechende Beratung des Bauherrn zu den Nebenpflichten des Architekten.“¹⁵⁴

Immer wieder werden die Planer und Projektsteuerer gerne für die Überschreitung der ersten Kostenabschätzung verantwortlich gemacht (vgl. Marginaltext). Einer der Gründe dafür liegt darin, dass die ersten Aussagen des Kostenplaners im Gedächtnis des Auftraggebers fixiert bleiben und er diese mit einer Nulltoleranz interpretiert.¹⁵⁷ Aber nicht in allen Fällen haftet der Projektplaner für die Kostenüberschreitungen. Für eine Haftung des Planers muss vielmehr eine „objektive Pflichtverletzung“ vorliegen, welche eine ausdrückliche Vereinbarung der Kostenvorgabe voraussetzt. Eine Pflichtverletzung liegt beispielsweise nicht vor, wenn der Kostenplaner auf Mehrkosten hinweist oder Vorschläge zum Kostenausgleich macht, der Bauherr diese aber nicht wahrnimmt. Als weitere Beispiele können die Lohn- und Materialpreiserhöhungen oder Kosten infolge eines verspäteten Baubeginns gesehen werden.¹⁵⁸ Die Schuld an

Die Studie von Reilly & Thompson führte zu einem Ergebnis, dass es bei 50 % der untersuchten Projekte, zu einer Kosten- und/oder Terminüberschreitung kam. Die Ursache lag, bei zumindest 30 % der Projekte in einem fehlerhaften Management.¹⁵⁵

In Griechenland waren schon in der Geschichte Kostenschätzungen bei öffentlichen Aufträgen verpflichtet. Dabei wurde das Vermögen des Architekten während der Bauarbeiten als Pfand eingenommen. Bei Kostenüberschreitungen bis 25% übernahm der Auftraggeber diese. Kostenüberschreitungen über 25% wurden jedoch durch Vermögen des Architekten gedeckt.¹⁵⁶

¹⁵³ Vgl. KOCHENDÖRFER, B.; LIEBCHEN, J.; VIERING, M.: Bau-Projekt-Managementl. S. 148.

¹⁵⁴ OLG Brandenburg: Urteil vom 09.04.1999 – 4U 128/98.

¹⁵⁵ Vgl. STEMPKOWSKI, R.: Risiko- & Kostenprognose-Modell, Anwendung des Risikomanagements in der Kostenplanung. S. 2.

¹⁵⁶ Vgl. LECHNER, H.: Kostenplanung, Normen, Regelwerke. S. 5.

¹⁵⁷ Vgl. OEPEN, R.-P.; GLEISNER, W.; HEINE, R.; KLÖZER, H.; WIECZOREK, R.: Risikoorientierte Bauprojekt-Kalkulation. S. 167.

¹⁵⁸ Vgl. KOCHENDÖRFER, B.; LIEBCHEN, J.; VIERING, M.: Bau-Projekt-Managementl. S. 148.

den Kostenüberschreitungen trifft nicht immer die Planer alleine. Vor allem bei öffentlichen Projekten wird der Ruf der Politik nach einer „kostengünstigen Darstellung“ deutlich. Dazu kommt auch noch die Forderung nach einer „exakten“ Zahl. Denn Kostenangaben in Bandbreiten¹⁵⁹ werden weder von Gemeinderäten noch von privaten Investoren akzeptiert. Eine Angabe von 100 % verbindlichen Kostenangaben ist jedoch vor allem in den frühen Projektphasen nicht möglich. Dies wiederum führt zu Scheingenauigkeiten und zur Berücksichtigung unnötiger Reserven in Form von überhöhten Massenangaben und/oder überhöhten Kennwerten.¹⁶⁰ In Bezug auf die verbreitete Vorstellung einer „exakten“ Baupreisermittlung gibt Raaber an, dass diese falsch sei. Es handle sich eher um eine Abschätzung künftiger Kosten, die mehr oder weniger zutreffend ist. Als Beweis für die Behauptung wird die weite Streuung von Angebotsergebnissen genannt, wobei fast jeder Bieter fest davon überzeugt ist, einen „richtigen“ Preis abgegeben zu haben. Dabei beinhaltet allein die „einfache“ Ermittlung des Mittellohnpreises eine Menge an Annahmen, welche mit Unsicherheiten behaftet sind. Den Höhepunkt der unsicheren Annahmen bildet die Feststellung der Leistungswerte und somit auch der Aufwandswerte. In Hinblick auf den Unikatcharakter der Bauprojekte können die Leistungs- und Aufwandswerte nur innerhalb gewisser Grenzen angegeben werden.¹⁶¹

Zusammenfassend kann die Kostenberechnung als eine angewandte Prognoserechnung betrachtet werden.¹⁶² Für die Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeit von Kostenprognosen liefern einige Statistikgrundlagen Anhaltspunkte. Diese werden in den nachfolgenden Kapiteln näher betrachtet und aufgezeigt. Die nachstehenden Punkte stellen eine Zusammenfassung möglicher Ursachen für die Kostenabweichungen bei Bauprojekten dar:¹⁶³

- „klassische“ Baukalkulation (Pauschale Wagnis- und Gewinnzuschläge sind zur Deckung heutiger Bauverträge nicht mehr geeignet)
- Fehler bei der Kostenplanung

¹⁵⁹ Vgl. Kapitel 5.3 Bandbreiten

¹⁶⁰ Vgl. STEMPKOWSKI, R.: Risiko- & Kostenprognose-Modell, Anwendung des Risikomanagements in der Kostenplanung. S. 2.

¹⁶¹ Vgl. RAABER, N.; STADLER, G.: Beitrag zu Ausschreibung und Vergabe von Bauleistungen. S. 163.

¹⁶² Vgl. LECHNER, H.: Planer sollen für Kosten haften, obwohl sie nicht die Preise machen, 2012. S. 11.S

¹⁶³ Vgl. DUSATKO, I.; KALUSCHE, W.: Kostensicherheit bei Bauprojekten - Bessere Voraussetzungen durch die DIN 276-1, In: Forum der Forschung, Heft 22, 2009., OEPEN, R.-P.; GLEIBNER, W.; HEINE, R.; KLÖZER, H.; WIECZOREK, R.: Risikoorientierte Bauprojekt-Kalkulation. S. 8ff. und DUSATKO, I.; KALUSCHE, W.: Kostensicherheit bei Bauprojekten - Bessere Voraussetzungen durch die DIN 276-1, In: Forum der Forschung, Heft 22, 2009. S. 141. sowie KOCHENDÖRFER, B.; LIEBCHEN, J.; VIERING, M.: Bau-Projekt-Managementl. S. 148.

- Zeitliche Parallelität von Planung und Ausführung (gestörter Bauablauf führt zu hohen, weder kalkulier- noch refinanzierbaren Improvisationskosten)
- Knappe Angebotsfristen (reduzierte Qualität der Kalkulation)
- Lohn- und Materialpreisänderungen
- Ausschreibungsfehler (unzureichende Leistungsbeschreibungen)
- Planungs- und Leistungsänderungen des Auftraggebers (Gründe für die nachträglichen Änderungen können beispielsweise in den nicht systematisch durchgeführten Bedarfsplanungen gesehen werden. Diese führen dazu, dass in der Ausführungsphase keine verbindlichen Definitionen vom „Bausoll“ vorhanden sind.)
- Bauablaufstörungen (Witterung, Ausfall bzw. Insolvenz von Unternehmen)
- Baugrundrisiken

Hinsichtlich der Genauigkeit von Kostenermittlungen müssen sich die Projektbeteiligten auf die Begrenzungen deutscher Gerichtsurteile stützen, da weder die genannten Normen noch die HOAI konkrete Angaben zu Toleranzen und Genauigkeiten machen.¹⁶⁴ Der unten stehende Kostentrichter stellt die Grenzlinien der Toleranzbereiche, welche eine Reihe von Gerichtsurteilen widerspiegeln, dar. Bei einer Überschreitung der äußeren Grenzlinien (blaue Linien) müssen Kostenplaner mit Haftungskonsequenzen rechnen. Die innen liegenden Grenzlinien (grüne Linien) kennzeichnen den Toleranzbereich, welcher bei einer sorgfältigen bzw. professionellen Kostenplanung zu erreichen ist.¹⁶⁵

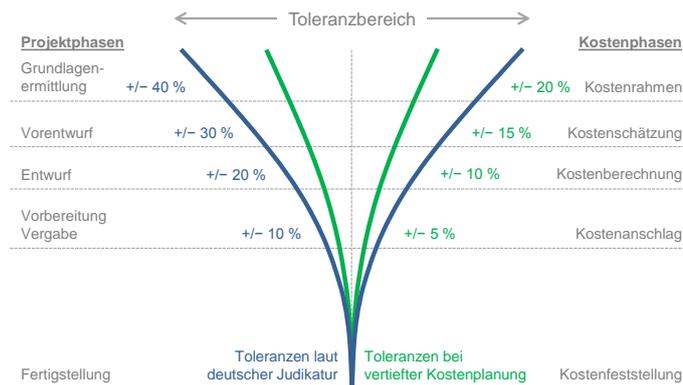


Bild 4.5 Kostentoleranzen [in Anlehnung an Lechner¹⁶⁶]

¹⁶⁴ Vgl. KOCHENDÖRFER, B.; LIEBCHEN, J.; VIERING, M.: Bau-Projekt-Management. S. 149. Und LECHNER, H.: Planer sollen für Kosten haften, obwohl sie nicht die Preise machen, 2012. S. 6ff.

¹⁶⁵ Vgl. LECHNER, H.: Kostenplanung, Normen, Regelwerke. S. 16.

¹⁶⁶ LECHNER, H.: Kostenplanung, Normen, Regelwerke. S.16

4.2.3 Kostenbeeinflussbarkeit

Die Projektkosten ergeben in den frühen Phasen, wie z.B. der Vorstudie oder der Entwicklungsphase, maximal zehn Prozent der Gesamtprojektkosten. Allerdings werden in diesen Phasen 80% der Projektkosten fest fixiert.¹⁶⁷ In den frühen Phasen entstehen auch zahlreiche Risiken, welche sich auf die Projektrealisierung und die Projektkosten beziehen. Diese wirken sich oft auf die späten Projektphasen aus, in denen sie dann die ausführenden Bauunternehmen erreichen.¹⁶⁸

Die Betrachtung des Verlaufes der Kostenbeeinflussbarkeit in Bild 4.6 zeigt, dass mit dem fortschreitenden Projektverlauf die Möglichkeit der Kostenreduzierung abnimmt. Nach Abschluss der Entwicklungs- und Planungsphasen – also in der Projektrealisierungsphase – fällt der Grad der Beeinflussbarkeit relativ klein aus.

In Zusammenhang mit der Kostenbeeinflussbarkeit ist anzumerken, dass die Kosten, welche in der Nutzungsphase des Bauwerkes anfallen, ein Vielfaches der Investitionskosten einnehmen. Um diesen Kostenblock maßgeblich zu beeinflussen, sind in der Planungsphase zukünftige Trends zu erkennen und Umgestaltungen – von Flächen und Nutzung – mit einem geringen Aufwand zu ermöglichen.¹⁶⁹

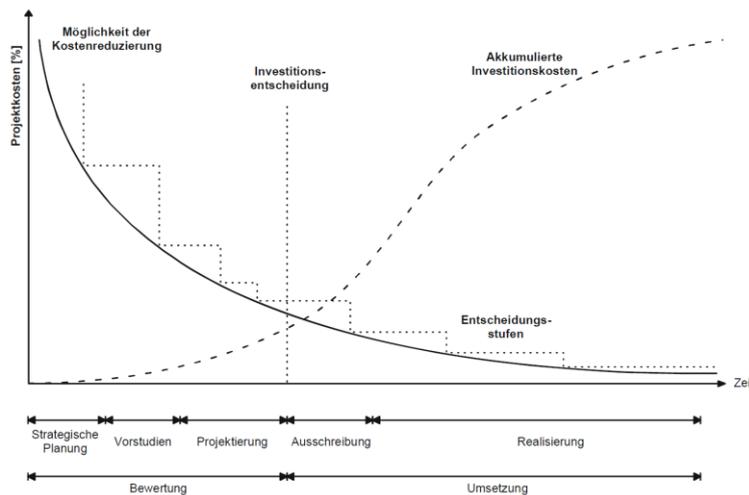


Bild 4.6 Beeinflussbarkeit der Investitionskosten in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Projektphasen¹⁷⁰

¹⁶⁷ Vgl. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 704.

¹⁶⁸ Vgl. OEPEN, R.-P.; GLEIBNER, W.; HEINE, R.; KLÖZER, H.; WIECZOREK, R.: Risikoorientierte Bauprojekt-Kalkulation. S. 9.

¹⁶⁹ Vgl. KOCHENDÖRFER, B.; LIEBCHEN, J.; VIERING, M.: Bau-Projekt-Managementl. S.134.

¹⁷⁰ GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 704.

4.3 Ermittlung von Baukosten für die Stahlbetonarbeiten

In diesem Unterkapitel wird auf Berechnungsgleichungen eingegangen, welche für die Kostenermittlungen der Stahlbetonarbeiten benötigt werden. Diese Gleichungen bilden die Basis für die Modellierungen und Simulationen nachfolgender Kapitel. Dargestellt und erörtert werden die Berechnungsgleichungen der Grob- und Detailkalkulation von Stahlbetonarbeiten. Die verwendeten Abkürzungen der Gleichungsvariablen und die Notationen sind den Arbeiten von Hofstadler¹⁷¹ nachempfunden. Eine Übersicht bzw. ein Abkürzungsverzeichnis ist zusammen mit einer Ablaufübersicht der Detailkalkulation im Anhang A.1.1 angefügt.

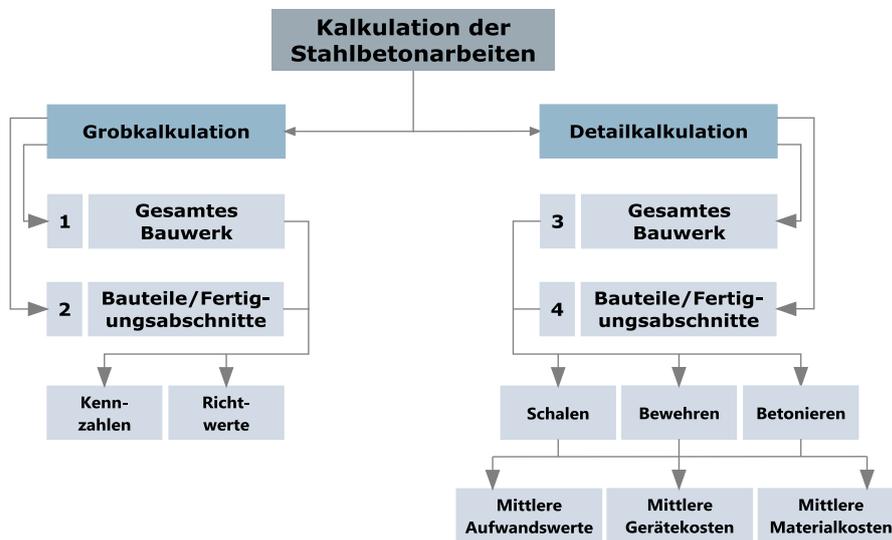


Bild 4.7 Grob- und Detailkalkulation der Stahlbetonarbeiten¹⁷²

Die Kosten der Stahlbetonarbeiten können je nach Planungstiefe und Projektphase oder auch in Abhängigkeit von der kostenmäßigen Bedeutung einzelner Positionen mit einer Grob- oder Detailkalkulation ermittelt werden (siehe Bild 4.7). Bei der Grobkalkulation werden die Baukosten auf Basis der Richtwerte und Kennzahlen von Aufwandswerten und Geräte- und Materialkosten berechnet. Je nach Betrachtungsstufe – erste oder zweite Stufe – wird bei der Grobkalkulation für die Kostenermittlung die Betonmenge des gesamten Bauwerkes der einzelnen Bauabschnitte oder der Bauteile herangezogen. Eine Differenzierung der Betrachtungsweise (Gesamtbauwerk, Fertigungsabschnitte und Bauteile) findet ebenso bei der Detailkalkulation statt. Jedoch werden hier die Aufwandswerte

¹⁷¹ Vgl. HOFSTADLER, C.: Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb. S. 109ff. und HOFSTADLER, C.: Schalarbeiten. S.302ff. sowie HOFSTADLER, C.; FRANZL, G.: Bewehrungsarbeiten im Baubetrieb. S. 208ff.

¹⁷² In Anlehnung an HOFSTADLER, C.; FRANZL, G.: Bewehrungsarbeiten im Baubetrieb. S. 207.

als auch die Geräte- und Materialkosten getrennt für Schalung, Bewehrung und Beton berechnet und in der Kostenermittlung übernommen.¹⁷³ Das bedeutet, dass Baugliederung einerseits ausführungsorientiert in Schalung, Bewehrung und Beton und andererseits wie bei der Grobkalkulation nach Bauteilgruppen (z.B. Wände, Stützen, Decken und dergleichen) erfolgt.

4.3.1 Grobkalkulation der Baukosten für die Stahlbetonarbeiten

In dieser Arbeit werden für die Grobkalkulation nur die Gleichungen – zur Berechnung der Baukosten für die Stahlbetonarbeiten – für die Betrachtungsweise des gesamten Bauwerkes angeführt und erläutert.

Die Ermittlung der Einzelkosten $K_{STB,EK}$ [€] für die Stahlbetonarbeiten des gesamten Bauwerkes erfolgt nach Glg.(4-1).

$$K_{STB,EK} = BT_M \cdot (AW_{STB,MW} \cdot ML_{STB,MW} + k_{STB,MW}) \quad (4-1)$$

Grobkalkulation:
Einzelkosten der
Stahlbetonarbeiten

mit	BT_M	Betonmenge für das gesamte Bauwerk [m ³]
	$AW_{STB,MW}$	Mittlerer Aufwandswert der Stahlbetonarbeiten [Std/m ³]
	$ML_{STB,MW}$	Mittelwert der Mittelohnkosten für die Stahlbetonarbeiten [€/Std]
	$k_{STB,MW}$	Mittelwert der Geräte- und Materialkosten für den Stahlbeton [€/m ³]

Für die Berechnung der Einzelkosten muss die Betonmenge des gesamten Bauwerkes bekannt sein. Weiters müssen der mittlere Aufwandswert, die Mittelohnkosten sowie der Mittelwert der Geräte- und Materialkosten berechnet oder angenommen werden.

Berechnet wird der Mittelwert der Geräte- und Materialkosten nach Glg.(4-2), indem die Summe aus den mittleren Schalungskosten $k_{S,MW}$ [€/m²] multipliziert mit dem dazugehörigen Schalungsgrad $s_{g,bwk}$, den mittleren Bewehrungskosten $k_{BW,MW}$ [€/t] multipliziert mit dem dazugehörigen Bewehrungsgrad $bw_{g,bwk}$ [t/m³] und den mittleren Betonkosten $k_{BT,MW}$ [€/m³] gebildet wird.

$$k_{STB,MW} = k_{S,MW} \cdot s_{g,bwk} + k_{BW,MW} \cdot bw_{g,MW} + k_{BT,MW} \quad (4-2)$$

Grobkalkulation:
Mittlere Geräte- und
Materialkosten

Zu den Gerätekosten der Stahlbetonarbeiten gehören beispielsweise die Kosten der Schalungselemente und zu den Materialkosten die Kosten

¹⁷³ Vgl. HOFSTADLER, C.; FRANZL, G.: Bewehrungsarbeiten im Baubetrieb. S. 207ff.

aller Stoffe und Teile, welche im Zuge der Herstellung nicht öfter als einmal eingesetzt werden. Diese sind beispielsweise die Hüllrohre und Kleinteile sowie der Beton selbst.¹⁷⁴

Die Herstellkosten der Stahlbetonarbeiten $K_{STB,HK}$ [€] ergeben sich nach Gleichung (4-3) durch einen prozentuellen Zuschlag für die Baustellen-gemeinkosten ZU_{BGK} [%] auf die Einzelkosten der Stahlbetonarbeiten $K_{STB,EK}$.

$$K_{STB,HK} = K_{STB,EK} \cdot \left(1 + \frac{ZU_{BGK}}{100}\right) \quad (4-3)$$

Grobkalkulation:
Herstellkosten der
Stahlbetonarbeiten

Bei strikter Trennung zwischen Einzel- und Gemeinkosten beträgt der Zuschlag für die Baustellengemeinkosten etwa 15 bis 30%. Zusätzlich zu diesem Zuschlag sollte für die Stahlbetonarbeiten ein Kostenpuffer $PU_{STB,K}$ [%] für Unvorhergesehenes, Fehler, Ungenauigkeiten usw. einkalkuliert werden. Die Höhe dieses Puffers ist unter anderem von der Komplexität, dem Projektstadium und der Bauzeit abhängig und liegt erfahrungsgemäß zwischen fünf und 15%¹⁷⁵

Die Herstellkosten inklusive des Kostenpuffers $K_{STB,HK,PF}$ [€] ergeben sich nach Glg.(4-4) aus dem prozentuellen Aufschlag des Puffers auf die Herstellkosten $K_{STB,HK}$ der Stahlbetonarbeiten.

$$K_{STB,HK,PF} = K_{STB,HK} \cdot \left(1 + \frac{PU_{STB,K}}{100}\right) \quad (4-4)$$

Grobkalkulation:
Herstellkosten inkl.
Kostenpuffer für die
Stahlbetonarbeiten

4.3.2 Detailkalkulation Baukosten für die Stahlbetonarbeiten

Nachstehend werden für die Detailkalkulation Berechnungsgleichungen der Baukosten bezogen auf die Betrachtungsweise der einzelnen Bauteile angeführt und erklärt. Den Ausgangspunkt der Detailkalkulation bildet ebenfalls die Gleichung (4-1), jedoch wird hier jeder Eingangswert der genannten Gleichung gesondert berechnet.

4.3.2.1 Betonmenge $BT_{M,bwk}$

Die Betonmenge $BT_{M,bwk}$ [m³] ergibt sich durch die Summenbildung der einzelnen Betonmengen für die unterschiedlichen Bauteile.

$$BT_{M,bwk} = \sum BT_{M,FU,i} + \sum BT_{M,ST,i} + \sum BT_{M,WD,i} + \sum BT_{M,D,i} + \sum BT_{M,SO,i} \quad (4-5)$$

Detailkalkulation:
Berechnung der
Betonmenge

¹⁷⁴ Vgl. HOFSTADLER, C.: Schalarbeiten. S. 313ff.

¹⁷⁵ Vgl. HOFSTADLER, C.: Bauzeit und Baukosten für Stahlbetonarbeiten - Berechnungsmethoden und Anwendungen, In: Beton- und Stahlbetonbau, Heft 5, 2009.

Aufsummiert werden in der Glg. (4-5) die Betonmengen der Fundamente $BT_{M,FU,i}$ [m³], der Stützen $BT_{M,ST,i}$ [m³], der Wände $BT_{M,WD,i}$ [m³], der Decken $BT_{M,D,i}$ [m³] und die Betonmengen sonstiger Bauteile $BT_{M,SO,i}$ [m³].

4.3.2.2 Gesamtaufwandswert AW_{STB}

Aufwandswerte beschreiben im Allgemeinen, welcher Arbeitsaufwand an Lohnstunden für eine bestimmte Produktionseinheit [Std/EH] erforderlich ist. Im Stahlbetonbau beschreibt dieser den Aufwand an Lohnstunden bezogen auf den Kubikmeter eingebauten Betons [Std/m³]. Den Aufwandswerten kommt besonders bei der Kalkulation arbeitsintensiver Tätigkeiten eine hohe Bedeutung zu.¹⁷⁷

Die Größenordnung der Aufwandswerte wird von zahlreichen Faktoren beeinflusst. In Bild 4.9 werden beispielhaft die bestimmenden Einflussfaktoren für die Aufwandswerte bei Schalarbeiten dargestellt. Je genauer und tiefer die Betrachtung bei der Aufwandswertermittlung erfolgt, desto geringer fällt beim Soll-Ist-Vergleich die Abweichung vom tatsächlichen Aufwandswert aus. Eine Differenzierung der Aufwandswerte in Abhängigkeit der Betrachtungstiefe ist in Bild 4.8 aufgezeigt.

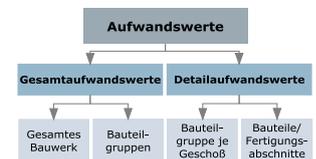


Bild 4.8 Differenzierung der Aufwandswerte¹⁷⁶

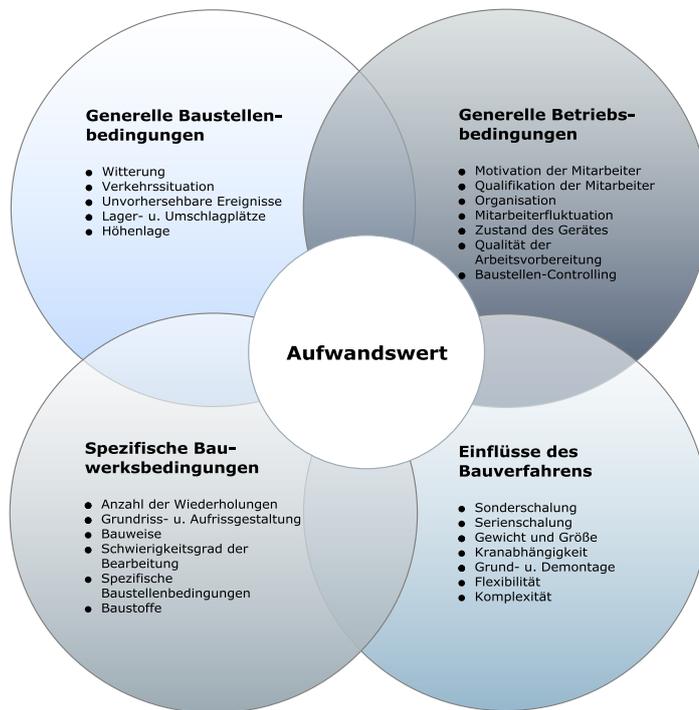


Bild 4.9 Einflussfaktoren auf Aufwandswerte – Beispiel Schalarbeiten¹⁷⁸

¹⁷⁶ In Anlehnung an: HOFSTADLER, C.: Schalarbeiten. S. 301.

¹⁷⁷ In Anlehnung an: HOFSTADLER, C.: Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb. S. 20.

¹⁷⁸ Vgl. HOFSTADLER, C.: Schalarbeiten. S. 301ff.

Für die Ermittlung des Gesamtaufwandwertes kann die Berechnungsgleichung (4-6) herangezogen werden. Berechnet wird der Gesamtaufwandwert für die Stahlbetonarbeiten, indem die Summe des Produktes mittlerer Aufwandswert für die Schalarbeiten $AW_{S,MW}$ [Std/m²] mit dem Schalungsgrad $s_{g,bwk}$ [m²/m³] des Produktes mittleren Aufwandswerts für Bewehrungsarbeiten $AW_{BW,MW}$ [Std/t] mit dem Bewehrungsgrad $bw_{g,bwk}$ [t/m³] und dem mittleren Aufwandswert für die Betonarbeiten $AW_{BT,MW}$ [Std/m³] gebildet wird.

$$AW_{STB} = AW_{S,MW} \cdot s_{g,bwk} + AW_{BW,MW} \cdot bw_{g,bwk} + AW_{BT,MW} \quad (4-6)$$

Detailkalkulation:
Gesamtaufwandswert der
Stahlbetonarbeiten

Die Berechnungsgleichungen der einzelnen Terme der Berechnungsgleichung (4-6) – der Schalungsgrad, der Bewehrungsgrad sowie die mittleren Aufwandswerte für die Schalarbeiten, die Bewehrungsarbeiten und die Betonarbeiten – werden nachfolgend angeführt.

Schalungsgrad $s_{g,bwk}$

Der Schalungsgrad des Bauwerkes [m²/m³] wird durch den Quotienten von der Gesamt-Schalungsfläche $S_{F,bwk}$ [m²] (Dividend) und der Betonmenge $BT_{M,bwk}$ [m³] des Bauwerkes aus Glg. (4-5) (Divisor) beschrieben. Die Berechnungsgleichung lautet somit:

$$s_{g,bwk} = \frac{S_{F,bwk}}{BT_{M,bwk}} \quad (4-7)$$

Detailkalkulation:
Schalungsgrad

Die Gesamt-Schalungsfläche des Bauwerkes $S_{F,bwk}$ [m²] ergibt sich nach Glg. (4-8), indem die einzelnen Schalungsflächen der unterschiedlichen Bauteile – Schalungsflächen der Fundamente $S_{F,FU,i}$ [m²], der Stützen $S_{F,ST,i}$ [m²], der Wände $S_{F,WD,i}$ [m²], der Decken $S_{F,D,i}$ [m²] und der sonstigen Bauteile $S_{F,SO,i}$ [m²] – aufsummiert werden.

$$S_{F,bwk} = \sum S_{F,FU,i} + \sum S_{F,ST,i} + \sum S_{F,WD,i} + \sum S_{F,D,i} + \sum S_{F,SO,i} \quad (4-8)$$

Detailkalkulation:
Berechnung der Gesamt-
Schalungsfläche

Bewehrungsgrad $bw_{g,bwk}$

Der Bewehrungsgrad $bw_{g,bwk}$ [t/m³] des Bauwerkes ergibt sich nach Glg. (4-9) aus der Division der Gesamt-Bewehrungsmenge $BW_{M,bwk}$ [t] und der Betonmenge $BT_{M,bwk}$ [m³] des Bauwerkes aus Glg. (4-5).

$$bw_{g,bwk} = \frac{BW_{M,bwk}}{BT_{M,bwk}} \quad (4-9)$$

Detailkalkulation:
Bewehrungsgrad

Die Gesamt-Bewehrungsmenge $BW_{M,bwk}$ [t] setzt sich aus den einzelnen Bewehrungsmengen der verschiedenen Bauteile – Bewehrungsmenge der Fundamente $BW_{M,FU,i}$ [t], der Stützen $BW_{M,ST,i}$ [t], der Wände $BW_{M,WD,i}$ [t], der Decken $BW_{M,D,i}$ [t] und der sonstigen Bauteile $BW_{M,SO,i}$ [t] – zusammen.

$$BW_{M,bwk} = \sum BW_{M,FU,i} + \sum BW_{M,ST,i} + \sum BW_{M,WD,i} + \sum BW_{M,D,i} + \sum S_{F,SO,i} \quad (4-10)$$

Detailkalkulation:
Berechnung der Gesamt-Bewehrungsmenge

Aufwandswert für Schalarbeiten $AW_{S,MW}$

Der mittlere Aufwandswert für die Schalarbeiten $AW_{S,MW}$ [Std/m²] ergibt sich nach Glg. (4-11), indem die jeweiligen Produkte der Aufwandswerte [Std/m²] mit den Schalungsflächen der einzelnen Bauteile [m²] addiert und durch die Gesamt-Schalungsfläche $S_{F,bwk}$ [m²] aus Glg. (4-8) dividiert werden

$$AW_{S,MW} = \frac{\sum(S_{F,FU,i} \cdot AW_{S,FU,i}) + \sum(S_{F,ST,i} \cdot AW_{S,ST,i})}{S_{F,bwk}} + \frac{\sum(S_{F,WD,i} \cdot AW_{S,WD,i}) + \sum(S_{F,D,i} \cdot AW_{S,D,i})}{S_{F,bwk}} + \frac{\sum(S_{F,SO,i} \cdot AW_{S,SO,i})}{S_{F,bwk}} \quad (4-11)$$

Detailkalkulation:
Berechnung des mittleren Aufwandswertes für die Schalarbeiten

Aufwandswert für Bewehrungsarbeiten $AW_{BW,MW}$

Der mittlere Aufwandswert für die Bewehrungsarbeiten $AW_{BW,MW}$ [Std/t] errechnet sich nach Glg. (4-12). Dabei werden die jeweiligen Produkte der Aufwandswerte [Std/t] mit den Bewehrungsmengen der einzelnen Bauteile [t] addiert und durch die Gesamt-Bewehrungsmenge $BW_{M,bwk}$ [t] aus Glg. (4-10) dividiert.

$$AW_{BW,MW} = \frac{\sum(BW_{M,FU,i} \cdot AW_{BW,FU,i}) + \sum(BW_{M,ST,i} \cdot AW_{BW,ST,i})}{BW_{M,bwk}} + \frac{\sum(BW_{M,WD,i} \cdot AW_{BW,WD,i}) + \sum(BW_{M,D,i} \cdot AW_{BW,D,i})}{BW_{M,bwk}} + \frac{\sum(BW_{M,SO,i} \cdot AW_{BW,SO,i})}{BW_{M,bwk}} \quad (4-12)$$

Detailkalkulation:
Berechnung des mittleren Aufwandswertes für die Bewehrungsarbeiten

Aufandswert für Betonarbeiten $AW_{BT,MW}$

Der mittlere Aufandswert für die Betonarbeiten $AW_{BT,MW}$ [Std/m³] berechnet sich nach Glg.(4-13), indem die jeweiligen Produkte der Aufandswerte [Std/m³] mit den Betonmengen der einzelnen Bauteile [m³] zusammengezählt und durch die Betonmenge des Bauwerkes $BW_{M,bwk}$ [m³] aus Glg. (4-5) dividiert werden.

$$AW_{BT,MW} = \frac{\sum(BT_{M,FU,i} \cdot AW_{BT,FU,i}) + \sum(BT_{M,ST,i} \cdot AW_{BT,ST,i})}{BT_{M,bwk}} + \frac{\sum(BT_{M,WD,i} \cdot AW_{BT,WD,i}) + \sum(BT_{M,D,i} \cdot AW_{BT,D,i})}{BT_{M,bwk}} + \frac{\sum(BT_{M,SO,i} \cdot BT_{M,SO,i})}{BT_{M,bwk}} \quad (4-13)$$

Detailkalkulation:
Berechnung des mittleren Aufandswertes für die Betonarbeiten

4.3.2.3 Mittellohnkosten $ML_{STB,MW}$

Die Mittellohnkosten der Stahlbetonarbeiten $ML_{STB,MW}$ werden aus den einzelnen Mittellohnkosten – Mittellohnkosten der Scharbeiten ML_S , der Bewehrungsarbeiten ML_{BW} und den Betonarbeiten ML_{BT} – bezogen auf die jeweiligen Lohnstunden LS_S , LS_{BW} und LS_{BT} , nach Glg. (4-14) berechnet. Dabei können bei der Detailkalkulation die einzelnen Mittellohnkosten (ML_S , ML_{BW} und ML_{BT}) mithilfe von Formblättern (z.B. K3-Blatt und Hilfsblätter lt. ÖNORM B2061) bestimmt werden. Dies ist vor allem notwendig, wenn unterschiedliche Arbeitspartien (z.B. unterschiedliche Sub-Unternehmer) die Stahlbetonarbeiten durchführen.¹⁷⁹

$$ML_{STB,MW} = \frac{ML_S \cdot LS_S + ML_{BW} \cdot LS_{BW} + ML_{BT} \cdot LS_{BT}}{LS_S + LS_{BW} + LS_{BT}} \quad (4-14)$$

Detailkalkulation:
Berechnung des mittleren Aufandswertes für die Scharbeiten

Mit:

$$\begin{aligned} LS_S &= AW_{S,MW} \cdot S_{F,bwk} \\ LS_{BW} &= AW_{BW,MW} \cdot BW_{M,bwk} \\ LS_{BT} &= AW_{BT,MW} \cdot BT_{M,bwk} \end{aligned}$$

¹⁷⁹ Vgl. KUMMER, M. K.: Einsatz der Monte-Carlo Simulation zur Berechnung von Baukosten und Bauzeit. S. 24.

4.3.2.4 Geräte- und Materialkosten $k_{STB,MW}$

Die Geräte- und Materialkosten der Stahlbetonarbeiten ergeben sich aus den Geräte- und Materialkosten für Schalung, Bewehrung und Beton (siehe Glg. (4-2)). Im Zuge der Detailkalkulation sind die einzelnen Kostensätze in einem verfeinerten Schritt zu ermitteln.

Für die Ermittlung der Geräte- und Materialkosten können beispielsweise die Erfahrungswerte des Anwenders bzw. die Kostensätze bereits ausgeführter Bauprojekte durch den Einsatz einer Kostenmatrix herangezogen werden. Dabei ist auf die Preisfluktuation der Materialkosten zu achten. Bei den Gerätekosten ist zu berücksichtigen, dass die Werte aus den vergangenen Projekten systematisch – mit Angabe der wesentlichen Bauwerks-, Baustellen-, und Betriebsbedingungen – erfasst wurden, damit diese für vergleichbare Projekte ausgewertet werden können.¹⁸⁰

In der nachfolgenden Abbildung (Bild 4.10) ist beispielsweise eine Gerätekostenmatrix für die Schalarbeiten im Hochbau abgebildet. Bei der Ermittlung der mittleren Gerätekosten wird zunächst für jede angeführte Bauteilgruppe eine Bandbreite der Kosten aus vergangenen Projekten angegeben. Nach der Wahl der Minimal- und Maximalwerte werden diese entsprechend den Mengenanteilen der Bauteilgruppe gewichtet aufsummiert. Aus den ermittelten Minimal- und Maximalkosten wird dann der Mittelwert für die Gerätekosten bestimmt.

Bauteil	Menge	Anteil der Menge	Gerätekosten - Schalarbeiten													Gerätekosten - Minimum			Gerätekosten - Maximum					
			[€/m ²]													5	6	7	8	9	10			
1	2	3	4													5	6	7	8	9	10			
	[m ²]	[%]	[€/m ²]													[€/m ²]	[€/m ²]	[%]	[€/m ²]	[€/m ²]	[%]			
			<	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	>						
Einzelfundamente, Streifenfundamente	50	0,55				2,75		3,00										2,75	0,015	0,52	3,00	0,016	0,53	
Fundamentplatten	650	7,11			2,50		2,75											2,50	0,178	6,20	2,75	0,196	6,27	
Stützen	160	1,75					3,00											3,00	0,053	1,83	3,25	0,057	1,82	
Wände	5.550	60,72						3,00										3,00	1,822	63,55	3,25	1,973	63,30	
Decken	2.400	26,26				2,50												2,50	0,656	22,90	2,75	0,722	23,16	
Unterzüge, Überzüge	0	0,00																0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	
Träger, Binder	250	2,74									3,75							3,75	0,103	3,58	4,00	0,109	3,51	
Treppen, Podeste	40	0,44										4,00					5,25	5,25	0,023	0,80	5,75	0,025	0,81	
Sonstige Bauteile	40	0,44											4,00					4,00	0,018	0,61	4,25	0,019	0,60	
Sonstige Bauteile	0	0,00																0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	
Summe	9.140	100,00	Mittlere Gerätekosten													2,87		100	3,12		100			
Mittlerer Schalungsgrad: 3,39 [m ² /m ³]			Ansatz für die mittleren Gerätekosten:													3,05 €/m ²								

Bild 4.10 Schalarbeiten – Beispiel einer Gerätekostenmatrix [Hofstadler¹⁸¹]

¹⁸⁰ Vgl. HOFSTADLER, C.: Schalarbeiten. S. 313.

¹⁸¹ HOFSTADLER, C.: Schalarbeiten. S. 314.

5 Probabilistische Kostenermittlung

Kostenermittlungen, wie sie z.B. in der ÖNORM B 1801-1 oder der DIN 276-1 gefordert und im letzten Kapitel vorgestellt wurden, stellen einen iterativen Prozess dar. Diese werden üblicherweise in Abhängigkeit von der Planungstiefe und der Projektphase in einer deterministischen Weise durchgeführt und als „exakte“ Werte ohne Bandbreiten (Schwankungsbreiten) vorgestellt. Allfällige projektspezifische Risiken der Bauabwicklung werden meist zusammen mit den Ermittlungsungenauigkeiten (Schwankungsbreiten der Kostenkennwerte und der Massenermittlung) mittels prozentualer Aufschläge (Reserven oder Puffer) berücksichtigt. Solche Kostenermittlungen stellen jedoch sehr grobe und für die tatsächlichen Gegebenheiten meist nicht entsprechende Vorgehensweisen dar. Um die Reserven und Kostenunsicherheiten realitätsnäher abgrenzen und erfassen zu können, sind die Kostenberechnungen mittels probabilistischer Methoden durchzuführen.¹⁸²

In diesem Kapitel wird daher auf die Problematiken der „exakten“ Werte (deterministische Werte) und der Prognosen eingegangen. Dabei werden Möglichkeiten für den Umgang mit Unschärfen aufgezeigt und erörtert. Weiters werden die Grundlagen des Simulationsverfahrens sowie die wesentlichen Grundbegriffe der Stochastik vorgestellt.

5.1 Prognosen und Unschärfen

Mit Prognosen versucht man künftige Ereignisse, wie zum Beispiel die Gesamtkosten eines Projektes, so genau wie möglich abzubilden. Dazu werden Daten, Werte, Erfahrungen und Regeln aus der Gegenwart und der Vergangenheit herangezogen. Was aber meistens unbeachtet bleibt, ist, dass die künftigen Handlungen nicht aktiv gestalt- und beeinflussbar sind. Man kann nach Regeln der Gegenwart nicht auf Regeln der Zukunft schließen.¹⁸³ „Eine vollständige Verallgemeinerung und Übertragbarkeit der Ergebnisse eines abgeschlossenen Projektes auf ein zukünftiges Projekt, was zu einer vollständigen Bestimmtheit führen würde, ist nicht ziel führend, sogar falsch.“¹⁸⁴ Folglich kann festgehalten werden, dass Prognosen immer mit Unschärfen belastet sind.

In Bezug auf die Unschärfen bei Prognosen stellt Rescher in seinem Werk „Wissenschaftlicher Fortschritt – Eine Studie über die Ökonomie der Forschung“ Folgendes fest:

¹⁸² Vgl. FRÖCH, G.; TAUTSCHNIG, A.; SANDER, P.: Probabilistische Kostenermittlung im Hochbau. S. 312.

¹⁸³ Vgl. LECHNER, H.: Kostenplanung, Normen, Regelwerke. S. 13.

¹⁸⁴ SANDER, P.: Probabilistische Risiko-Analyse für Bauprojekte. S. 19.

„Im Bereich der Prognose scheint eine Art von Unschärfeprinzip zu wirken. [...] Den Menschen betreffend extensive Voraussagen kann man nur um den Preis sinkender Genauigkeit machen – indem man niedrigere Ansprüche an die Detailgenauigkeit des Quotienten Spezifität/Generalität stellt“¹⁸⁵

Außerdem gibt Rescher den Bereich der voraussagbaren Unsicherheit mit nachfolgender Formel an:

$$e \cdot r \leq c \tag{5-1}$$

Dabei beschreiben die einzelnen Variablen Folgendes:

- e = Niveau der jeweiligen Detailgenauigkeit
- r = Reichweite, Ausmaß oder Volumen einer gemachten Voraussage
- c = Konstante, welche den Bereich der voraussagbaren Unschärfe umschreibt

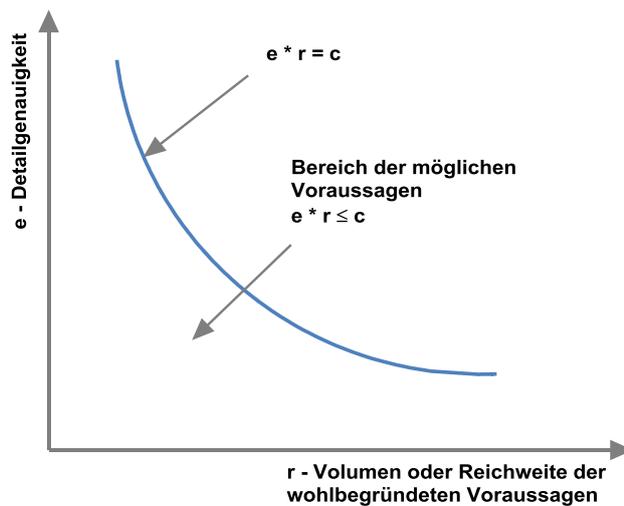


Bild 5.1 Unschärfeprinzip bei Prognosen¹⁸⁶

Betrachtet man den Verlauf der Konstante c, kann festgehalten werden, dass mit der Zunahme der Reichweite (zeitliche Dimension) oder des Volumens einer Voraussage bzw. einer Prognose das Niveau der Genauigkeit bzw. der Detailierungsgrad abnimmt – sprich: Die Prognosen werden unsicherer. Prognosen können mit einer höheren Sicherheit nur dann getroffen werden, wenn ihre Detailgenauigkeit abgemindert wird.¹⁸⁷

¹⁸⁵ RESCHER, N.: Wissenschaftlicher Fortschritt. S.3.

¹⁸⁶ In Anlehnung an: RESCHER, N.: Wissenschaftlicher Fortschritt. S. 3.

¹⁸⁷ Vgl. WERKL, M.: Risiko- und Nutzenverhalten in der Bauwirtschaft. S. 29. und SANDER, P.: Probabilistische Risiko-Analyse für Bauprojekte. S. 21.

Überträgt man diese Erkenntnisse auf die Kostenprognosen, kann davon ausgegangen werden, dass die Sicherheit der Prognosen abnimmt, je exakter (deterministischer) diese beschrieben werden. Durch die Einbeziehung der Unschärfen in Form von Bandbreiten¹⁸⁸ kann mithilfe der Wahrscheinlichkeitstheorie bzw. probabilistischer Methoden in Form stochastischer Szenarioanalysen eine höhere Sicherheit für Kostenprognosen erreicht werden.

Risiken bei der Kostenermittlung

„Risiken sind das Resultat der nicht sicher vorhersehbaren Zukunft und Planwerte damit das Resultat von Prognosen. Damit sind Planungs-, Prognose- und Risikomanagementsysteme zwangsläufig miteinander verknüpft.“¹⁸⁹

Die Unsicherheiten bei der Kostenermittlung stellen Risiken für alle Projektbeteiligten dar, da diese zu einer negativen oder positiven Abweichung zwischen den Plan- und Zielkosten führen können. Bevor aber auf den Umgang mit Unsicherheiten bei der Kostenermittlung eingegangen wird, erfolgt nachstehend eine Abgrenzung zwischen dem Risikobegriff, welcher in den Kapiteln 2 und 3 verwendet wurde, und den Risiken bei der Kostenermittlung.

Risiken durch Kostenabweichungen stellen Risiken dar, für welche keine Eintrittswahrscheinlichkeit zu bestimmen ist, da bei einer Leistungserbringung immer Kosten anfallen. Es stellt sich nur die Frage, auf welchen Wert sich diese belaufen werden bzw. wie groß die Abweichung zum Planwert ausfallen wird. Zusammenfassend beschreibt der Risikobegriff bei der Kostenermittlung eine Bandbreite möglicher Planabweichungen aufgrund der Unsicherheiten hinsichtlich der Zukunftsentwicklungen.¹⁹⁰

Risiken aus Unwägbarkeiten bzw. Einzelrisiken hingegen beschreiben Risiken, bei denen weder die Eintrittswahrscheinlichkeit noch die Auswirkung sicher und voll bestimmbar ist. Beispiele dafür sind die Risiken des Baugrundes, Planungsfehler, höhere Gewalt usw. (siehe Bild 3.8). Es handelt sich also um Risiken, die erst bei einem Eintritt zu monetären Folgen führen können. Solche Risiken sind gesondert – also nicht im Zuge der Kostenermittlung – durch ein separates Risikomanagementsystem (RMS) zu identifizieren, zu bewerten und zu überwachen.^{191 192}

¹⁸⁸ Vgl. Kapitle 5.3 Bandbreiten

¹⁸⁹ GLEIßNER, W.: "Quantitative Verfahren im Risikomanagement: Risikoaggregation, Risikomaße und Performancemaße", In: Der Controlling-Berater, Heft 16, 2011. S. 184.

¹⁹⁰ Vgl. OEPEN, R.-P.; GLEIßNER, W.; HEINE, R.; KLÖZER, H.; WIECZOREK, R.: Risikoorientierte Bauprojekt-Kalkulation. S. 48.

¹⁹¹ Vgl. Kapitel 2.2.2 Risikomanagement-System

¹⁹² Vgl. SANDER, P.: Probabilistische Risiko-Analyse für Bauprojekte. S. 79

In dieser Arbeit werden unwägbar Risiken nicht näher betrachtet. Vielmehr werden in den nachstehenden Kapiteln Untersuchungen, Modellierungen und Simulationen für die Kostenunsicherheiten bei Stahlbetonarbeiten durchgeführt.

5.2 Umgang mit Unschärfen

Der größte Nachteil der deterministischen Ansätze besteht neben der unzureichenden Objektivität bei der Bestimmung der Eingangsparameter darin, dass die Erfassung der Eingangsgrößen in ihrer gesamten Streubreite und in sämtlichen maßgebenden Parameterkombinationen nicht sichergestellt werden kann.¹⁹⁴ Bei der Kostenermittlung für die Stahlbetonarbeiten können beispielsweise die angesetzten Aufwands- und Leistungswerte von Bauprojekt zu Bauprojekt innerhalb einer bestimmten Bandbreite schwanken. Als Ursachen für die Schwankungen können folgende Punkte gesehen werden:¹⁹⁵

- Projektspezifische Randbedingungen (z.B. Stockwerkgeometrie und Fassadenöffnungen)
- Arbeitsorganisation
- Art der Baustellenlogistik (Kran, Plattformeinrichtungen etc.)
- Erfahrungen der Arbeitsmannschaft mit dem Arbeitsprozess und den eingesetzten Baumaschinen und Materialien

Auch die Mengen sind im Voraus nicht exakt bestimmbar. Es kann nicht vorausgesagt werden, welche Mengen tatsächlich nach der Bauausführung abgerechnet werden.¹⁹⁶ Beispielsweise kann der Wert für die Schalungsflächen von 5.000 m² nur mit einer gewissen Unsicherheit angegeben werden. Der tatsächlich realisierte Wert kann diese Angabe sowohl über- als auch unterschreiten und bspw. 5.123,80 m² oder 4.882,60 m² betragen. Die gleiche Problematik trifft auch auf die Annahme der Kostensätze zu, da die Preise von Nachunternehmern und Lieferanten in der Ausführungsphase stark variieren können.¹⁹⁷

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Eingangsdaten der Kostenermittlung hinsichtlich der tatsächlichen Realisierung in der Zukunft unsicher sind und dadurch Risiken vor allem für das ausführen-

Determinismus ist „die Lehre von der kausalen Bestimmtheit allen Geschehens [...] Der D. geht davon aus, dass [...] die Zukunft durch die Gegenwart (und diese durch die Vergangenheit) bestimmt ist.“¹⁹³

¹⁹³ F.A. BROCKHAUS: Brockhaus Enzyklopädie. Band 6, S. 505.

¹⁹⁴ Vgl. BEISLER, M.; KLAPPERICH, H.; JACOB, D.: Modelling of input data uncertainty for the financial evaluation of complex infrastructure projects, In: Bauingenieur 88, Heft 02, 2013. S. 78.

¹⁹⁵ Vgl. GIRMSCHIED, G.; MOTZKO, C.: Kalkulation, Preisbildung und Controlling in der Bauwirtschaft. S. 362.

¹⁹⁶ Vgl. FLEMMING, C.: 4-Stufen-Risikosimulation zur Ermittlung von Mittelabflüssen unter Berücksichtigung des geplanten Baufortschritts, In: Bautechnik 88, Heft 7, 2012. S. 464ff.

¹⁹⁷ Vgl. FLEMMING, C.; NETZKER, M.; SCHÖTTLE, A.: Probabilistische Berücksichtigung von Kosten- und Mengenrisiken in der Angebotskalkulation, In: Bautechnik 88, Heft 2, 2011a. S. 94ff.

de Bauunternehmen bergen, welche mit den gegenwärtigen deterministischen Berechnungsmethoden nicht abgebildet werden können.¹⁹⁸

Anders ist es bei den probabilistischen Verfahren, bei denen die Eingangsgrößen in ihrer statistischen Verteilung bzw. in Form von Bandbreiten verwendet werden. Das Ziel dabei ist es, die Unsicherheiten, welche sich aus dem Informationsmangel in der Planungsphase ergeben, durch alternative Berechnungsmethoden mathematisch zu erfassen und in die Berechnung einzubeziehen.²⁰⁰

Eine Gegenüberstellung der deterministischen und der probabilistischen Betrachtungsweisen ist im nachfolgenden Bild in Abhängigkeit des Projektverlaufes dargestellt.

Der Probabilismus ist die „erkenntnisthet. Auffassung, dass es keine absolut wahren, sondern nur wahrscheinl. Sätze gibt. – In quantenphysikal. Theorien drückt der P. aus, dass gewisse Ereignisse nur mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit vorher-sagbar sind.“¹⁹⁹

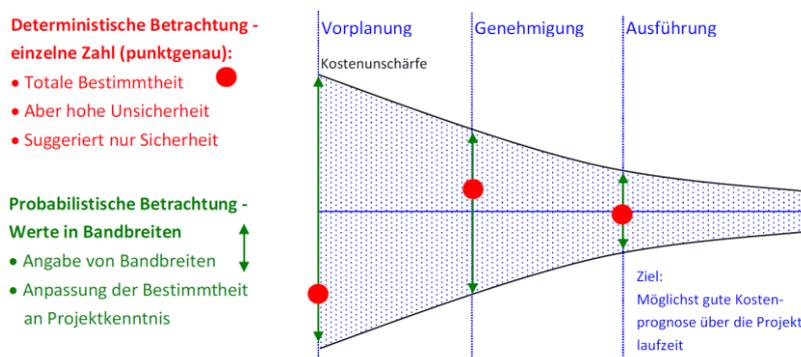


Bild 5.2 Gegenüberstellung der deterministischen und probabilistischen Betrachtungsweisen im Projektverlauf²⁰¹

Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass der Informationsgehalt hinsichtlich der Ungenauigkeit bei den probabilistischen Verfahren über den gesamten Projektverlauf in Form von Bandbreiten erhalten bleibt. Dazu sind die Risiken (Kostenrisiken, Mengenrisiken etc.) mittels Bandbreiten und Gewichtungen innerhalb dieser Bandbreite durch Verteilungsfunktionen zu modellieren. Diese werden in weiterer Folge mittels Simulationsverfahren (Monte-Carlo-Simulation, Latin-Hypercube-Sampling) zu einer Gesamt-Verteilungsfunktion verdichtet. Aus dem Ergebnis können dann konkrete Aussagen über das Risikopotenzial und die Eintrittswahrscheinlichkeit (value at risk) getroffen werden.²⁰²

¹⁹⁸ Vgl. FLEMMING, C.; NETZKER, M.; SCHÖTTLE, A.: Probabilistische Berücksichtigung von Kosten- und Mengenrisiken in der Angebotskalkulation, In: Bautechnik 88, Heft 2, 2011a. S. 95.

¹⁹⁹ F.A. BROCKHAUS: Der große Brockhaus - das Lexikon in einem Band. S. 832.

²⁰⁰ Vgl. BEISLER, M.; KLAPPERICH, H.; JACOB, D.: Modelling of input data uncertainty for the financial evaluation of complex infrastructure projects, In: Bauingenieur 88, Heft 02, 2013. S. 78.

²⁰¹ SANDER, P.: Probabilistische Risiko-Analyse für Bauprojekte. S. 24.

²⁰² TAUTSCHNIG, A.; FRÖCH, G.; SANDER, P.: Erfahrungen mit probabilistischen Kostenermittlungen im Hochbau, In: bauaktuell, Heft 5, 2010. S. 211.

5.3 Bandbreiten

Im Allgemeinen wird unter dem Begriff der Bandbreite ein bestimmter Umfang, eine Spanne oder ein bestimmter Bereich verstanden. Je nach Anwendungsgebiet sind neben der allgemeinen Begriffsauffassung auch angepasste und erweiterte Auffassungen verbreitet. Unter der Begrifflichkeit der Bandbreite wird bspw. in Bezug auf die Datenübertragung ein gewisser Frequenzbereich, in dem die elektrischen Signale mit einer ausreichenden Qualität übertragen werden, verstanden. In der Elektronik und im Nachrichtendienst beschreiben Bandbreiten die Breite eines Frequenzbandes zw. zwei Grenzfrequenzen. Sie charakterisieren somit eine Kenngröße für das Übertragungs- und Durchlassverhalten eines Filters oder Verstärkers. Im Devisengeschäft definieren Bandbreiten einen akzeptablen Schwankungsbereich der Wechselkurse. Liegen bspw. die Kursschwankungen einer Währung gegenüber einer anderen um einen festgelegten Wert (Parität, Leitkurs) innerhalb der Bandbreite, werden diese toleriert. Das bedeutet, solange die Kursbewegungen den festgelegten Höchst- und Niedrigstkurs (oberer und unterer Interventionspunkt) nicht über- oder unterschreiten, werden diese akzeptiert. Bei Erreichung der Interventionspunkte ist die Zentralbank verpflichtet, durch Devisenverkäufe bzw. -käufe den Wechselkurs innerhalb der Bandbreite zu halten.²⁰³

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass Bandbreiten einen Bereich für das künftige Verhalten einer Größe definieren. Dazu sind Grenzzustände, Höchst- und Tiefstwert bzw. Maximal- und Minimalwert vorzugeben. In diesem Zusammenhang wird der Begriff Bandbreite auch in der vorliegenden Arbeit verwendet, wobei der definierte Bereich die negative und positive Abweichung von einem Planwert darstellt. Dabei umfasst Spannweite beide Abweichungen bzw. Bandbreiten (vgl. Bild 5.3).

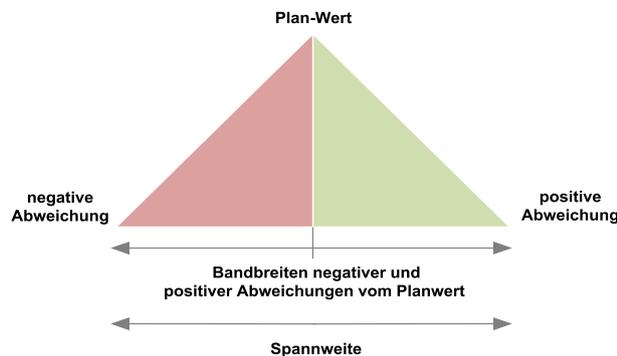


Bild 5.3 Definition – Bandbreite

²⁰³ Vgl. F.A. BROCKHAUS: Brockhaus Enzyklopädie. Band 3, S. 210. und Gabler Wirtschaftslexikon, URL: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/11220/interventionspunkte-v8.html>, Datum des Zugriffs: 26.02.2014

5.3.1 Bandbreiten bei der Kostenermittlung

Wie bereits in den letzten Kapiteln erklärt, bauen die Kostenermittlungen und Kostenprognosen grundsätzlich auf Werte abgeschlossener Projekte auf. Begründet durch den Unikatcharakter der Bauwerke kommt es mit einer hohen Wahrscheinlichkeit zu Abweichungen zwischen den Referenzwerten und dem späteren Realwert. Da es aber sehr wohl Analogien der Projekte gibt, wird der künftige Zielwert innerhalb einer Bandbreite vorhandener Daten aus relativ vergleichbaren Bauprojekten liegen. Die Aufgabe des Anwenders ist es, die Bandbreite aufbauend auf seine Erfahrung möglichst realitätsnah durch die Annahme der Minimal- und Maximalwerte zu prognostizieren. Weiteres muss der Anwender einen Planwert, den seiner Einschätzung nach der Zielwert (wahrscheinlichster bzw. erwarteter Wert) annehmen wird, bestimmen (siehe Bild 5.4). Solche Drei-Punkt-Schätzungen bilden die Basis für die Modellierungen der Risiken in Form von Dreiecks- und PERT-Verteilungen (auch Beta-PERT Verteilung genannt).²⁰⁴



Bild 5.4 Beispiel – Bandbreiten

Die Größe der Bandbreite ist in der Regel von der zeitlichen Dimension des Ereignisses abhängig und wird umso größer, je weiter das Ereignis bzw. das Ergebnis in der Zukunft liegt. Als erklärendes Beispiel kann die Wetterprognose für den nächsten Tag und die nächste Woche genannt werden. Während die Temperaturen des nächsten Tages mit einer hohen Genauigkeit beschrieben werden können, fällt dies bei der Prognose für die kommende Woche mit einer größeren Bandbreite aus, also mit einer geringeren Genauigkeit. Das Verhalten kann ebenso auf die Kostenermittlung und Kostenplanung übertragen werden. Je weiter der Projektabschluss bzw. die Kostenfeststellung in der Zukunft liegt, umso größer wird die Kostenunsicherheit und somit die Bandbreite möglicher Abweichungen (vgl. Bild 4.5 Kostentoleranzen).

5.3.2 PERT-Methode

Die PERT-Methode (Program Evaluation and Review Technique) ist eine ereignisorientierte Netzplantechnik, welche in den 1950er-Jahren für die Terminplanung risikoreicher Projekte entwickelt wurde. Zur Schätzung der mittleren Dauer wird anstatt einer festen Größe die Beta-Verteilung

²⁰⁴ Vgl. SANDER, P.: Probabilistische Risiko-Analyse für Bauprojekte. S. 110ff.

herangezogen, wobei für die Eingabe die Werte der einfachen Drei-Punkt-Schätzung (minimaler, erwarteter und maximaler Wert) ausreichend sind.²⁰⁵ Bei dieser Methode wird davon ausgegangen, dass die Grenzwerte (Minimal- und Maximalwert) nicht eintreten werden. Es erfolgt somit eine Gewichtung der einzelnen Werte, wobei die gesamte Bandbreite einer Eingangsgröße bei der Gewichtung miteinfließt. Die einzelnen Berechnungsgleichungen der PERT-Methode sind nachfolgend angeführt:²⁰⁶

$$PERT_{pess.} = \frac{MIN + 3 \cdot EW + 2 \cdot MAX}{6} \quad (5-2)$$

$$PERT_{mittel} = \frac{MIN + 4 \cdot EW + MAX}{6} \quad (5-3)$$

$$PERT_{opt.} = \frac{2 \cdot MIN + 3 \cdot EW + MAX}{6} \quad (5-4)$$

Das folgende Beispiel soll den Unterschied zwischen der Drei-Punkt-Schätzung und der Schätzung nach der PERT-Methode verdeutlichen. Dabei wird illustrativ eine Spannweite mit einem Mindestwert von 30 €, einem erwarteten Wert von 45 € und einem Maximalwert von 66 € für einen Einheitspreis angenommen. Weiters wird mit diesen Ausgangsgrößen ein optimistischer, ein mittlerer und ein pessimistischer PERT-Wert nach den Gleichungen (5-2) bis (5-4) ermittelt.

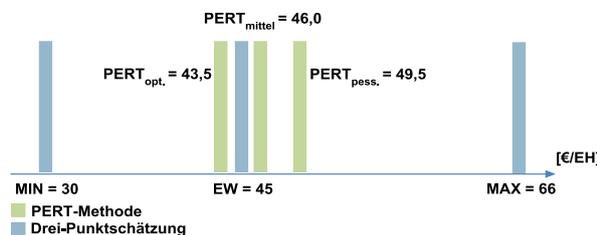


Bild 5.5 Gegenüberstellung – PERT-Methode und Drei-Punktschätzung

Die Ergebnisse des Beispiels sind in Bild 5.5 einander gegenübergestellt. Durch die Gewichtung liegen die PERT-Werte (grüne Balken) näher zum Mittelwert. Dadurch wird die Bandbreite der Ergebnisse deutlich eingeschränkt, was wiederum bedeutet, dass eine Reihe von Szenarien ausgeschlossen bleibt. Ein weiterer Kritikpunkt ist, dass keine Aussage über die Eintrittswahrscheinlichkeit der ermittelten Werte gemacht werden kann. Aus dem Bild 5.6 ist ersichtlich, dass der Bereich zwischen dem pessimistischen und optimistischen PERT-Wert nur 33,2% aller möglichen Ergebnisse der PERT-Verteilung abdeckt. Es bleiben in diesem Beispiel also ca. 66,8% möglicher Szenarien unberücksichtigt.

²⁰⁵ Vgl. BALZERT, H.: Lehrbuch der Software-Technik. S. 524.
Sowie SANDER, P.: Probabilistische Risiko-Analyse für Bauprojekte. S. 116.

²⁰⁶ Vgl. KUMMER, M. K.: Einsatz der Monte-Carlo Simulation zur Berechnung von Baukosten und Bauzeit. S. 99.

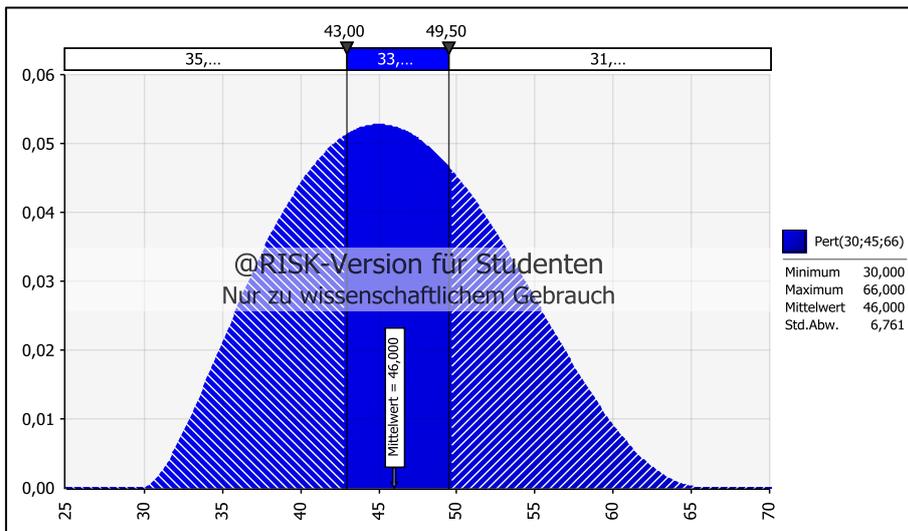


Bild 5.6 PERT-Verteilung (30,45,66)²⁰⁷

Um den gesamten Umfang möglicher Szenarien berücksichtigen zu können, müssen die Risiken in Form von Verteilungen modelliert und simuliert werden. Solche Ergebnisse liefern neben der Gesamtmenge aller möglichen Szenarien auch die Eintrittswahrscheinlichkeiten der einzelnen Ergebnisse.

5.4 Modellierung von Eingangsgrößen

Bei der Modellierung der Risiken geht es darum, für die Eingangsgrößen eine entsprechende Verteilungsfunktion zu definieren. Dadurch erfolgt eine Gewichtung der Werte innerhalb einer bestimmten Bandbreite. Beispielsweise ist in Bild 5.4 (rechts) eine Bandbreite zwischen einem Minimal- und Maximalwert mit einem favorisierten Bereich (erwarteter Wert) abgebildet, aus der nicht ersichtlich ist, mit welcher Wahrscheinlichkeit die einzelnen Werte eintreten können. Es wurde nur bestimmt, dass der Erwartungswert als der wahrscheinlichste Wert betrachtet wird.

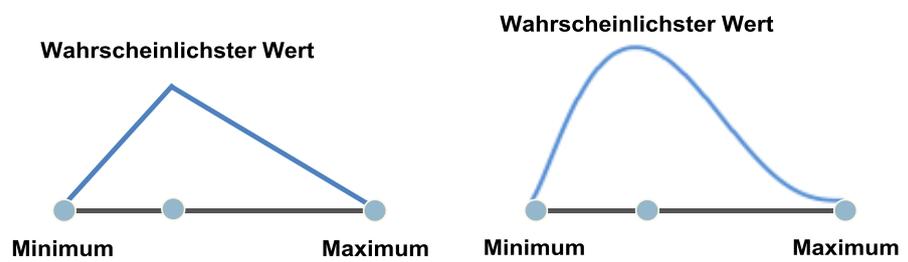


Bild 5.7 Beispiel – Dreiecksverteilung, PERT-Verteilung

²⁰⁷ Verteilungsfunktion wurde mit dem Softwareprogramm @Risk der Corporation erstellt.

Legt man über die Bandbreite eine Verteilungsform, die einem Dreieck entspricht, definiert diese, dass die Eintrittswahrscheinlichkeit der Werte rechts und links vom wahrscheinlichsten Wert bis zu den Grenzwerten (Minimum und Maximum) linear bis auf null abnimmt. Durch die Wahl anderer Verteilungsformen z.B. der PERT-Verteilung kann dem Bereich um den Modalwert (wahrscheinlichster Wert) mehr Wahrscheinlichkeit gelegt werden, was wiederum dazu führt, dass die Eintrittswahrscheinlichkeit der Werte im Grenzbereich abnimmt (vgl. Bild 5.7 und Bild 5.8).²⁰⁸

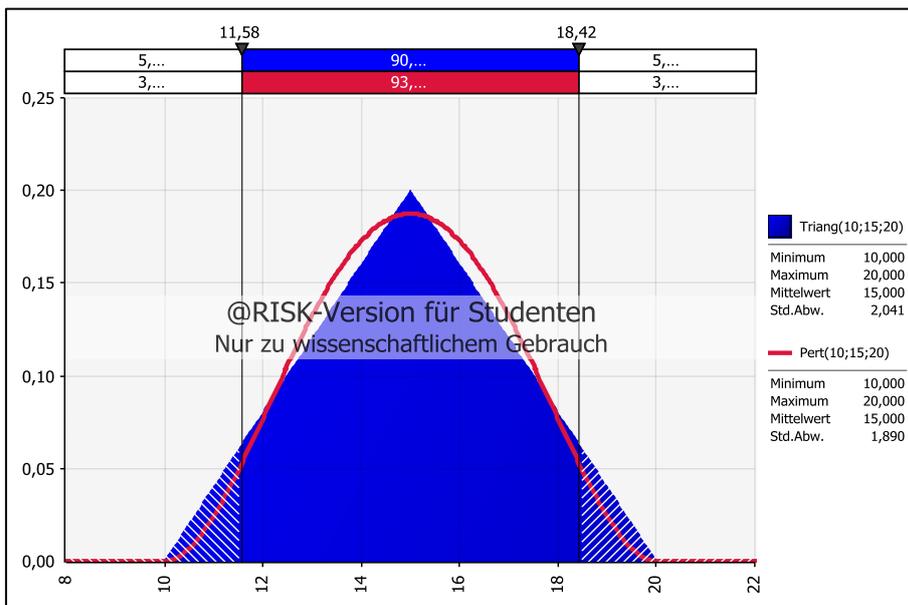


Bild 5.8 Gegenüberstellung – PERT- und Dreiecksverteilung²⁰⁹

Sander stellt in seiner Arbeit fest, dass bei subjektiven Risikoeinschätzungen ohne eine ausreichende Anzahl statistischer Daten eine Unterscheidung zwischen der PERT- und der Dreiecksverteilung in den meisten Fällen nicht sinnvoll erscheint.²¹⁰

Neben der Dreiecks- und PERT-Verteilung können zur Modellierung der Risiken verschiedene Verteilungsdichteformen zur Anwendung kommen. Grundsätzlich ist zwischen den vordefinierten und den individuell angepassten Verteilungsformen zu unterscheiden. Zur Anpassung der individuellen Formen können bspw. Daten aus bereits abgeschlossenen Projekten herangezogen werden.

Im nachstehenden Unterkapitel wird auf die Modellierung der Risiken bzw. der Eingangsgrößen mittels definierter Formen eingegangen.

²⁰⁸ Vgl. SANDER, P.: Probabilistische Risiko-Analyse für Bauprojekte. S. 112ff.

²⁰⁹ Verteilungsfunktionen wurden mit dem Softwareprogramm @Risk der Corporation erstellt.

²¹⁰ Vgl. SANDER, P.: Probabilistische Risiko-Analyse für Bauprojekte. 113.

5.4.1 Modellierung mittels definierter Verteilungsdichten

In Bild 5.9 sind einige definierte Verteilungsformen, welche bspw. vom Programm @Risk zu den standardmäßig wählbaren Funktionen gehören, abgebildet.

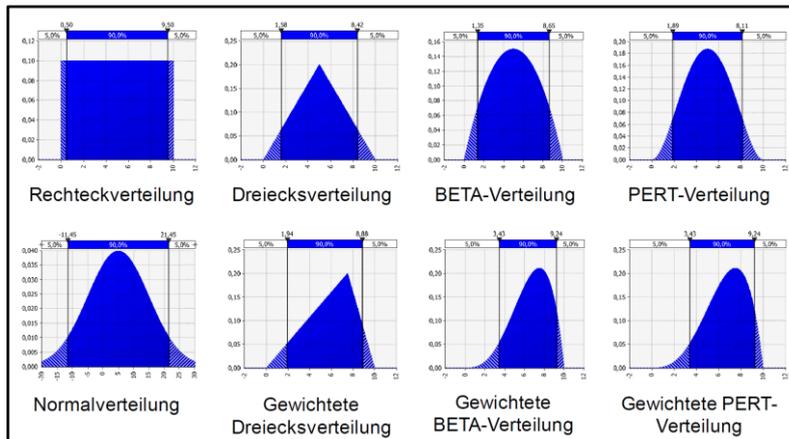


Bild 5.9 Mögliche definierte Verteilungsfunktionen²¹¹

Rechteck- bzw. Gleichverteilung

Die Gleichverteilung spiegelt die „einfache“ Bandbreite, welche nur mit dem Minimal- und Maximalwert definiert ist, wider. Diese Verteilungsformen kommen nur zum Einsatz, wenn nicht gesagt werden kann, wie die Eintrittswahrscheinlichkeit innerhalb einer definierten Bandbreite verteilt ist.

Beta-Verteilung

Die Beta-Verteilung ist eine sehr flexible Verteilungsform, welche durch die zwei Parameter α_1 und α_2 in verschiedenen Formen definiert wird. Die Beta-Verteilung bildet den Ausgangspunkt vieler anderer Verteilungen (z.B. der BetaGeneral-, der PERT- und der BetaSubjective-Verteilung). Ein weiteres Merkmal der Beta-Verteilung ist, dass sie in ihrer Bandbreite, anders als bspw. die Normalverteilung, begrenzt ist. Dies kann als ein positiver Aspekt gesehen werden, da viele Realitätsvorgänge begrenzt sind. Den großen Nachteil aber hat diese Verteilung in der schwierigen und nicht selbst erklärenden Abschätzung der Parameter α_1 und α_2 , sowie in der Tatsache, dass der Modalwert nicht Teil der Eingabe ist.²¹²

²¹¹ KUMMER, M. K.: Einsatz der Monte-Carlo Simulation zur Berechnung von Baukosten und Bauzeit. S. 46.

²¹² Vgl. Palisade Corporation: Benutzerhandbuch für @Risk, URL: http://www.palisade.com/downloads/manuals/DE/RISK5_DE.pdf, Datum des Zugriffs: 27.02.2014 S. 516. sowie SANDER, P.: Probabilistische Risiko-Analyse für Bauprojekte. S. 116.

PERT-Verteilung

Die PERT-Verteilung, oder auch Beta-PERT-Verteilung genannt, stellt eine vereinfachte Form der Beta-Verteilung dar. Für die Modellierung der Eingangsgrößen werden bei dieser Verteilung wie bei der Dreiecksverteilung nur drei Parameter (der Minimal-, der Maximal- und der Modalwert) benötigt. Als Vorteil gegenüber der Dreiecksverteilung kann aufgrund der glatten Kurvenform die geringere Betonung der Verzerrung, welche sich durch eine schiefe Verteilungsform ergibt, genannt werden.²¹³

Normalverteilung

Die Normalverteilung stellt eine wichtige und sehr häufig angewendete Verteilungsform der Statistik dar. Begründen lässt sich dies dadurch, dass sich bei Addition mehrerer Verteilungen die Summe nach dem zentralen Grenzwertsatz einer Normalverteilung annähert.

Zur Bestimmung der Normalverteilung werden zwei Parameter (der Erwartungswert μ und die Standardabweichung σ) benötigt. Die Form der Verteilung weist keine Begrenzungen auf, was als ein Nachteil gesehen werden kann. Ein weiterer Nachteil ist, dass mit der Verteilungsform keine Schiefe dargestellt werden kann. Da Kostenunsicherheiten von den Experten eher mit einer Rechtsschiefe geschätzt werden, ist diese Verteilungsform für Modellierungen von Kostenrisiken eher ungeeignet.²¹⁴

Dreiecksverteilung

Die Dreiecksverteilung gehört zu den leicht verständlichen stetigen Verteilungsformen, die sehr oft für die grundlegenden Risikomodelle herangezogen wird. Der Funktionsverlauf weist eine begrenzte Bandbreite auf und wird mit folgenden drei Größen definiert: Minimalwert, Maximalwert und Modalwert oder auch häufigster Wert. Vorteilhaft bei dieser Verteilungsform ist, dass sich Asymmetrien sehr leicht darstellen lassen. Jedoch werden dadurch die Werte in Richtung der Verzerrung relativ stark betont, was als ein Nachteil gesehen werden kann.²¹⁵

Oft wird die Dreiecksverteilung bei der Wiedergabe von Expertenschätzungen wie z.B. bei der Schätzung von Kosten, die einem hohen Komplexitätsgrad unterliegen, verwendet.²¹⁶ In Bezug auf die Kosten führte Chau eine Untersuchung zur Gültigkeit der Dreiecksverteilung bei der Berechnung der Baukosten mittels der Monte-Carlo-Methode durch. Bei der Untersuchung wurden von sieben erfahrenen Experten zehn unterschiedliche Kostenkomponenten für die Elektroinstallationen in mehreren

²¹³ Vgl. Palisade Corporation: Benutzerhandbuch für @Risk, URL: http://www.palisade.com/downloads/manuals/DE/RISK5_DE.pdf, Datum des Zugriffs: 27.02.2014. S. 607.

²¹⁴ Vgl. SANDER, P.: Probabilistische Risiko-Analyse für Bauprojekte. S. 119.

²¹⁵ Vgl. KREMPL, S.: Korrelationen bei Aufwandswerten für Schal- und Bewehrungsarbeiten. S. 32.

²¹⁶ Vgl. SANDER, P.: Probabilistische Risiko-Analyse für Bauprojekte. S. 114.

Phasen geschätzt. Die Aufgabe der Experten war es, für jede einzelne Kostenkomponente den minimalen, den maximalen und den erwarteten Wert anzugeben, wobei die Werte in den unterschiedlichen Phasen verändert werden konnten. Die Untersuchung führte zum Ergebnis, dass der erwarteter Wert der Kosten näher am Minimal- als am Maximalwert liegt und sich so eine rechtsschiefe Verteilung ergibt. Weiters stellt Chau fest, dass die von den Experten angegebenen Überschreitungswahrscheinlichkeiten weit unter der errechneten Wahrscheinlichkeit der Dreiecksverteilung lagen. Diese Erkenntnisse stützen die Vermutung von Chau, dass die Dreiecksverteilung der Eingangsgrößen eine zu große Verzerrung hin zu den Maximalwerten darstellt.²¹⁷

5.4.2 Überblick der verwendeten Verteilungsformen

An der TU Graz wurde von Hofstadler eine Untersuchung für Verteilungsfunktionen von Aufwandswerten für Deckenschalungsarbeiten durchgeführt. Dabei wurden 19 Experten hinsichtlich der zutreffenden Verteilungsfunktion befragt. Die Untersuchung führte zur Erkenntnis, dass die Charakteristik der Aufwandswerte am besten durch die LogLogistic-Verteilung beschrieben wird.²¹⁸

Schach gibt in seinem Buch an, dass sich für die Modellierung der Kostensätze besonders gut die Gleichverteilung, die Dreiecksverteilung, die Beta- und die PERT-Verteilung eignen. Den Grund dafür sieht Schach in der Tatsache, dass diese Verteilungen schief sein und sich somit an die typischen Kostenverteilungen anpassen können.²¹⁹

Girmscheid/Motzko empfehlen für die Leistungs- und Aufwandswerte als Verteilungsfunktionen die Dreiecks- oder PERT-Verteilung zu verwenden, wobei für die Leistungswerte eine rechtsschiefe und für die Aufwandswerte eine linksschiefe Verteilung zu Anwendung kommen sollte.²²⁰

Kummer empfiehlt in seiner Arbeit, für die Kostensätze, aber auch für die Leistungs- und Aufwandswerte wenn möglich eine Log-Normal- oder LogLogistic-Verteilung zu verwenden. Sollte keine Möglichkeit zur Verwendung dieser Verteilungen gegeben sein, sind diese durch BETA- oder PERT-Verteilungen anzunähern. Für die Modellierung anderer Ein-

²¹⁷ Vgl. CHAU, K. W.: The validity of triangular distribution assumption in Monte Carlo simulation of construction costs: empirical evidence from Hong Kong, In: Construction Management and Economics, Heft 01, 1995. S. 15ff.

²¹⁸ Vgl. HOFSTADLER, C.: Monte-Carlo Simulation im Baubetrieb - Verteilungsfunktion für Aufwandswerte bei Schalarbeiten.

²¹⁹ Vgl. SCHACH, R.; JEHLE, P.; NAUMANN, R.: Transrapid und rad-schiene-hochgeschwindigkeitsbahn. S. 277ff.

²²⁰ Vgl. GIRMSCHIED, G.; MOTZKO, C.: Kalkulation, Preisbildung und Controlling in der Bauwirtschaft. S. 362ff.

gangsgrößen wie Mengen, Kostenzuschläge etc. können jedoch asymmetrische Dreiecksverteilungen herangezogen werden.²²¹

Nachdem die Eingangsgrößen mit den entsprechenden Verteilungsdichtefunktionen modelliert wurden, kann das Simulationsverfahren durchgeführt werden. Im nachfolgenden Unterkapitel wird die Monte-Carlo-Simulation (MSC) zur Auswertung der erstellten Modelle präsentiert.

5.5 Monte-Carlo-Simulation

Mithilfe der Monte-Carlo-Simulation kann das Verhalten komplexer Systeme prognostiziert werden. Dazu wird das modellierte bzw. zu untersuchende System n-mal zufällig, aber nach vordefinierten Regeln durchlaufen.²²²

Die MC-Methode erlaubt es, Vorgänge zu simulieren, deren Ablauf von zufälligen Faktoren beeinflusst wird. Dabei werden die einzelnen Simulationen unabhängig voneinander so oft durchgeführt, bis die Ergebnisse eine gewisse statistische Sicherheit aufweisen.²²³ Als Resultat bekommt man also Dichtefunktionen der betrachteten Zielgrößen (z.B. der Einzelkosten für die Stahlbetonarbeiten), die mit den Methoden der Statistik auswertbar sind. Die Genauigkeit der Ergebnisse wiederum ist von der Anzahl der Simulationsdurchläufe (Iterationen) abhängig. Das bedeutet, dass das Ergebnis keine sichere, sondern nur einer approximierten Lösung der Problemstellung darstellt.²²⁴

Weiters wird die Genauigkeit der Ergebnisse maßgeblich von der Qualität der Eingangsdaten und der Modellbildung sowie der Güte der Pseudozufallszahlen beeinflusst. Pseudozufallszahlen beschreiben Zahlen, welche durch bestimmte Algorithmen generiert werden. Eine der ersten Methoden zur Bestimmung der Pseudozufallszahlen stellt die „Methode der mittleren Ziffern von Quadraten“ (bzw. „Mittquadratmethode“ oder „Mid-Square-Methode“) von Neumann dar.²²⁵ Die computergenerierten Zufallszahlen werden dann in die bestimmte Verteilung transformiert. Eine bekannte Transformationsmethode ist bspw. die Rejection-Methode, welche ebenfalls von Neumann entwickelt wurde.²²⁶ Auf die Transformations- bzw. Probenerhebungsmethoden wird in dieser Arbeit

²²¹ Vgl. KUMMER, M. K.: Einsatz der Monte-Carlo Simulation zur Berechnung von Baukosten und Bauzeit. S. 49.

²²² Vgl. ALFEN, H. W.; DAUBE, D.; FRANK-JUNGBECKER, A.; GLEIBNER, W.; LEIDEL, K.; RIEMANN, A.; WOLFRUM, M.: Lebenszyklusorientiertes Risikomanagement für PPP-Projekte im öffentlichen Hochbau. S. 223.

²²³ Vgl. JACOB, D.; STUHR, C.; WINTER, C.: Kalkulieren Im Ingenieurbau. S. 366.

²²⁴ Vgl. WIGGERT, M.: Risikomanagement von Betreiber- und Konzessionsmodellen. S. 146.

²²⁵ Vgl. KUMMER, M. K.: Einsatz der Monte-Carlo Simulation zur Berechnung von Baukosten und Bauzeit. S. 37.

²²⁶ Vgl. WIGGERT, M.: Risikomanagement von Betreiber- und Konzessionsmodellen. S. 146ff.

nicht eingegangen. An dieser Stelle wird an Arbeit von Kummer²²⁷ sowie an die Arbeit von Sander²²⁸ verwiesen.

Abschließend ist der Ablauf der Monte-Carlo-Simulation in Bild 5.10 dargestellt.

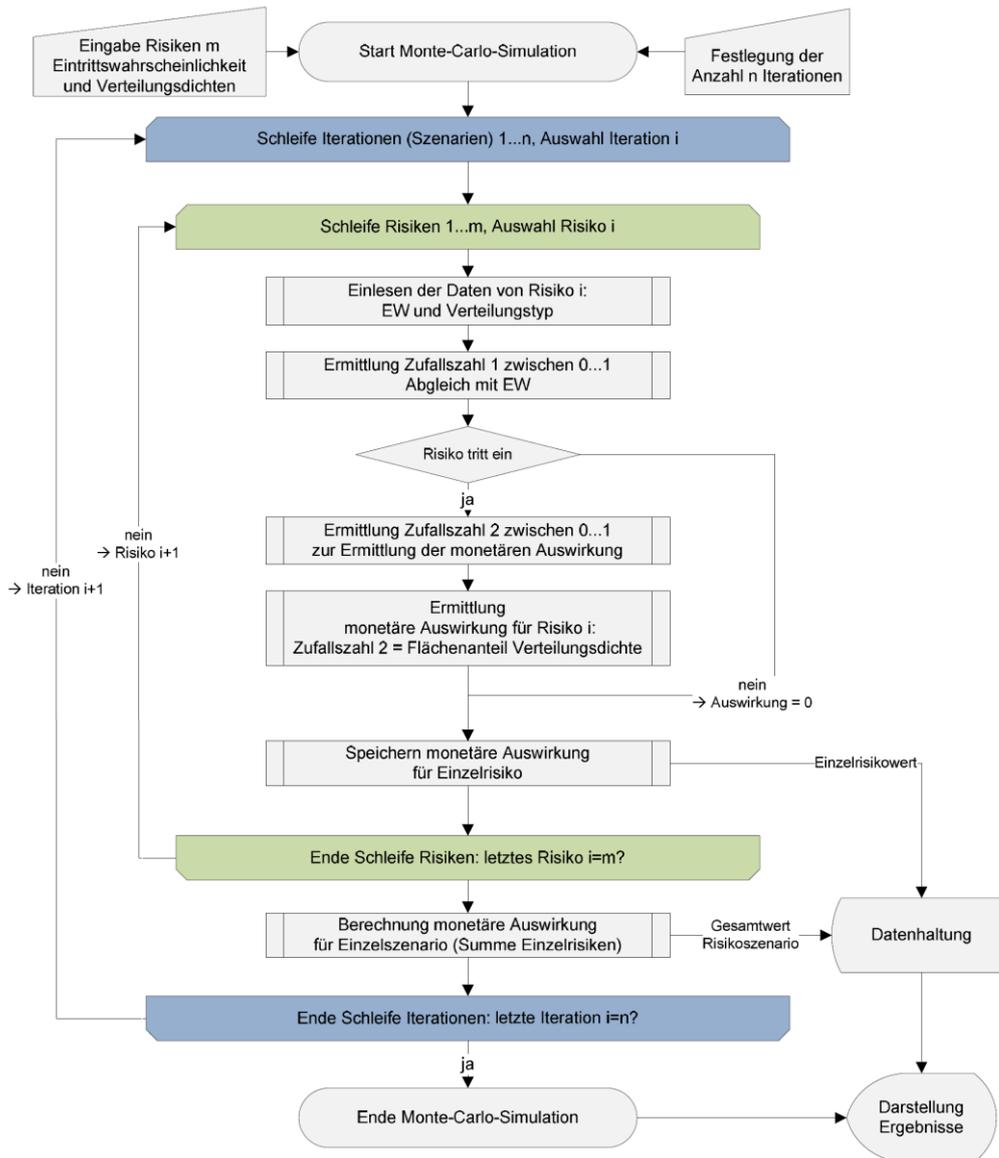


Bild 5.10 Systematischer Ablauf der Monte-Carlo-Simulation²²⁹

²²⁷ Vgl. KUMMER, M. K.: Einsatz der Monte-Carlo Simulation zur Berechnung von Baukosten und Bauzeit. S. 71ff.

²²⁸ Vgl. SANDER, P.: Probabilistische Risiko-Analyse für Bauprojekte. S. 97ff.

²²⁹ SANDER, P.: Probabilistische Risiko-Analyse für Bauprojekte. S. 89.

5.6 Grundbegriffe der Statistik

Nachfolgend werden die wichtigsten Begriffe, die eine Voraussetzung für das Verständnis, die Anwendung und die Interpretation der Ergebnisse stochastischer Berechnungen sind, angeführt und erörtert.

5.6.1 Statistik

Die Statistik bezeichnet „die Gesamtheit von Verfahren und Methoden zur Gewinnung, Erfassung, Aufbereitung, Analyse, Darstellung, Modellierung und Vorhersage von (möglichst) massenhaften, zähl-, mess- und systematisch beobachtbaren Daten über reale Sachverhalte zum Zwecke der Erkenntnisgewinnung und Entscheidungsfindung (meist unter Ungewissheit).“²³⁰

Generell wird zwischen der **deskriptiven** (beschreibenden) und der **induktiven** (schließenden) Statistik unterschieden. Bei der deskriptiven Statistik (lat.: descriptio → Beschreibung) handelt es sich um die Beschreibung empirisch ermittelter Daten (z.B. Messungen oder Beobachtungen). Mit der induktiven Statistik hingegen versucht man unter Einbeziehung der Stochastik (griech.: stochastikos → dem Zufall geschuldet) eine Vorhersage zu treffen. Dabei wird unter Berücksichtigung der Wahrscheinlichkeit eine Schlussfolgerung von Stichproben auf eine Grundgesamtheit gezogen.²³¹

Das wahrscheinlichkeitstheoretische Modell wird für die Berücksichtigung, Bewertung und Simulation der Unsicherheiten bzw. Risiken herangezogen, da eine Grundgesamtheit nicht zur Verfügung steht. Vielmehr werden Annahmen getroffen, dass sich die Abweichungen und Auswirkungen ähnlich wie die dafür modellierten Verteilungsdichten verhalten.²³²

Zur Interpretation der Ergebnisse werden bei der deskriptiven und der induktiven Statistik die gleichen Kenngrößen herangezogen, wobei es bei den Begriffen zu kleinen Abweichungen kommen kann. Nachfolgend werden die wichtigsten Begriffe dargestellt und erörtert. Dabei werden die Begriffe der deskriptiven Statistik für den Fall, dass diese von denen der induktiven Statistik abweichen, kursiv und in Klammern angeführt.

²³⁰ ECKSTEIN, P. P.: Statistik für Wirtschaftswissenschaftler. S. 10.

²³¹ Vgl. ECKSTEIN, P. P.: Statistik für Wirtschaftswissenschaftler. S. 10.

²³² Vgl. SANDER, P.: Probabilistische Risiko-Analyse für Bauprojekte. S. 29.

5.6.2 Wahrscheinlichkeitsdichte und Verteilungsfunktion

Die Wahrscheinlichkeitsfunktion oder Verteilungsdichte (*Histogramm = Säulendiagramm*) beschreibt eine grafische, flächentreue Darstellung der absoluten oder relativen Häufigkeit, aus welcher ersichtlich ist, mit welcher Wahrscheinlichkeit eine Zufallsvariable ein bestimmtes Merkmal annimmt. Dabei werden die Merkmalsausprägungen auf der Abszisse und die Häufigkeiten auf der Ordinate aufgetragen.

Die Verteilungsfunktion (*Summenhäufigkeit*) stellt die kumulierte Häufigkeit bzw. das Integral der Wahrscheinlichkeitsfunktion dar. Diese beschreibt den Zusammenhang der Zufallsvariable und ihrer Wahrscheinlichkeit. Aus der Verteilungsfunktion kann bspw. herausgelesen werden mit welcher Wahrscheinlichkeit eine Zufallsvariable höchstens einen bestimmten Wert annimmt.²³³

5.6.3 Schiefe versus Symmetrie

Eine Verteilung weist eine symmetrische Form dann auf, wenn ihre Funktion $f(x)$ folgende Eigenschaften erfüllt:

$$f(m + x) = f(m - x) \tag{5-5}$$

Dabei beschreibt m den Median der Verteilungsdichte. Dieser fällt bei symmetrischen Verteilungen mit dem Modalwert (*häufigster Wert*) und dem Erwartungswert (*Mittelwert*) zusammen.

Abweichungen von der Symmetrie werden als Schiefe oder Steilheit bezeichnet. Dabei wird zwischen einer positiven und einer negativen Schiefe unterschieden. Die positive Schiefe beschreibt die Verteilung, die rechts einen flachen (rechtsschief) und links einen steilen (linkssteil) Verlauf aufweist. Die negative Schiefe beschreibt den umgekehrten Fall (vgl. Bild 5.11).

Bei der rechtsschiefen Verteilung fallen der Modalwert unter bzw. links und dem Mittelwert über bzw. rechts vom Median aus. Bei der linksschiefen Verteilung fällt dieser Umstand umgekehrt aus (vgl. Bild 5.12).

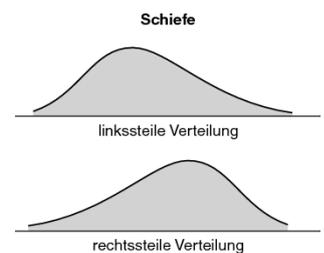


Bild 5.11 Schiefe der Verteilung²³⁴

²³³ Vgl. Statista - Statistik Lexikon, URL: <http://de.statista.com/statistik/lexikon/definition/140/verteilungsfunktion/>, Datum des Zugriffs: 03.03.2014

²³⁴ Gabler Wirtschaftslexikon, URL: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/5273/schiefe-v8.html>, Datum des Zugriffs: 03.03.2014

5.6.4 Lageparameter

Zu den maßgebenden Lageparametern gehören der Median, der Modalwert, der Mittelwert, der Erwartungswert und die einzelnen Quantile.

Median

Der Median (auch Zentralwert oder 50%-Quantil genannt) beschreibt den Wert, der genau in der Mitte einer Verteilung liegt. Dieser teilt die Verteilungsfunktion in zwei gleich große Flächen. Somit liegen 50% der Werte unter und 50% über dem Median.

Modalwert (*Häufigster Wert*)

In der induktiven Statistik beschreibt der Modalwert bzw. der Modus den Wert mit der größten Wahrscheinlichkeit innerhalb einer Verteilungsdichte.²³⁵ In der deskriptiven Statistik beschreibt dieser diejenige Merkmalsausprägung bzw. den Wert mit der größten (absoluten oder relativen) Häufigkeit innerhalb eines Histogramms.²³⁶

Nguyen/Romeike definieren den Modus als den Erfahrungswert bzw. als den Wert, der am häufigsten vorkommt.²³⁷

Mittelwert

Der Mittelwert (oder kurz: Mittel) kann nach diesen Arten bzw. Maßen unterschieden werden:

- Arithmetisches Mittel
- Geometrisches Mittel
- Harmonisches Mittel
- Quadratisches Mittel

Das arithmetische Mittel wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (5-6)$$

²³⁵ SANDER, P.: Probabilistische Risiko-Analyse für Bauprojekte. S. 31.

²³⁶ Vgl. SACHS, M.: Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik. S. 35.

²³⁷ Vgl. NGUYEN, T.; ROMEIKE, F.: Versicherungsbetriebslehre, Grundlagen für Studium und Praxis, In: Versicherungswirtschaftslehre, 2012. S. 7.

Dieser Mittelwert kennzeichnet die zentrale Tendenz bzw. den Durchschnitt einer Verteilungsfunktion, indem die Summe aller Werte durch die Anzahl der Werte dividiert wird.

In der Statistik wird vorrangig das arithmetische Mittel herangezogen, wobei bspw. das geometrische Mittel in der Wirtschaftsstatistik und das harmonische Mittel für die Bestimmung der Indexpzahlen (z.B. Kilometer pro Stunde) verwendet wird.²³⁸

Zur Veranschaulichung der Unterschiedet zwischen dem Median, dem Modalwert und dem Mittelwert sind in Bild 5.12 zwei PERT-Verteilungen mit unterschiedlicher Schiefe dargestellt.

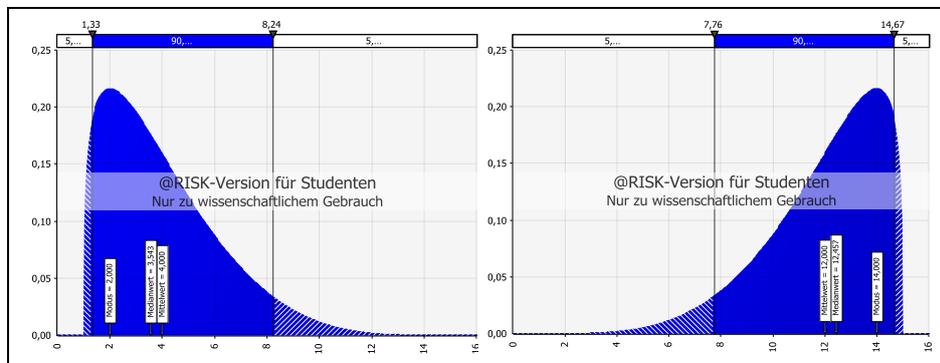


Bild 5.12 Gegenüberstellung – Median, Modalwert und Mittelwert

Erwartungswert

Der Erwartungswert $E(X)$, oder auch μ genannt, beschreibt den Durchschnitt bzw. den erwarteten Mittelwert einer Zufallsvariable bei einer großen Anzahl von Versuchen. Errechnet wird der Erwartungswert, indem die Produkte der möglichen Werte einer Zufallsvariable X mit ihrer Wahrscheinlichkeit aufsummiert werden.

$$E(X) = \sum_{i=1}^n x_i \cdot p(x_i) \tag{5-7}$$

Im nachfolgenden Beispiel soll der Erwartungswert der Augenzahl bei einem Wurf eines homogenen Würfels bestimmt werden.²³⁹ Die möglichen Werte bzw. Zufallszahlen x_i für dieses Beispiel sind 1, 2, 3, 4, 5 und 6. Die Wahrscheinlichkeit $p(x_i)$ beträgt für alle Zufallszahlen $1/6$. Der Er-

²³⁸ Vgl. KUMMER, M. K.: Einsatz der Monte-Carlo Simulation zur Berechnung von Baukosten und Bauzeit. S. 42ff.

²³⁹ Vgl. PAPULA, L.: Mathematik für Ingenieure und Naturwissenschaftler. Band 3 – S. 333.

wartungswert bzw. die mittlere Augenzahl wird nach Glg. (5-7) berechnet und beträgt 3,5.

$$E(X) = \frac{1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6}{6} = 3,5$$

Quantile

Ein Quantil Q_p (oder p -Quantil x_p) definiert einen bestimmten Punkt einer Verteilungsfunktion oder einer Datenmenge. Er beschreibt, wie viele Werte sich über und unter diesem bestimmten Punkt befinden.

Für bestimmte Quantile kommen unterschiedliche Quantilsbestimmungen zur Anwendung. Die in der Statistik am häufigsten vorkommenden Quantile sind in Tabelle 5.1 dargestellt.

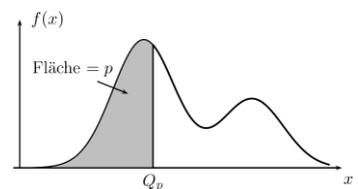


Bild 5.13 Quantilwert einer Verteilung²⁴⁰

p	Bennennung des Quantils x_p der Ordnung p
0,10	10. Perzentil oder 1. Dezil
0,20	20. Perzentil oder 2. Dezil oder 1. Quintil
0,25	25. Perzentil oder 1. bzw. unteres Quartil
0,30	30. Perzentil oder 3. Dezil oder 1. Terzil
0,50	50. Perzentil oder 5. Dezil oder 2. bzw. mittleres Quartil oder Median
0,75	75. Perzentil oder 3. bzw. oberes Quartil
0,99	99. Perzentil

Tabelle 5.1 Übersicht spezieller Quantile²⁴¹

VaR

Neben dem Quantilwert wird bei der Risikobetrachtung und Risikomesung für die Unterschreitungswahrscheinlichkeit das Risikomaß „Value-at-Risk“ (VaR) verwendet. Dieser beschreibt die obere Grenze einer Merkmalsausprägung (z.B. Einzelkosten oder Risikokosten), die mit einer zugeordneten Wahrscheinlichkeit nicht überschritten wird. Im Gegensatz zum beidseitigen Schwankungsrisiko, welches bspw. durch die Varianz oder die Standardabweichung gemessen wird, quantifiziert der VaR das Risiko von Verlusten. Der VaR stellt somit ein einseitiges verlustorientierte Risikomaß dar.²⁴²

Ein VaR bei 85% bedeutet bspw., dass 85% aller Simulationsergebnisse einen gewissen Wert (z.B. einen Betrag in Euro) nicht überschritten haben, sowie dass die tatsächlichen Kosten mit einer 85%-igen Sicherheit diesen Betrag nicht überschreiten werden.

²⁴⁰ HENZE, N.: Stochastik für Einsteiger. S. 275. Gabler Wirtschaftslexikon, URL: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/5273/schiefe-v8.html>, Datum des Zugriffs: 03.03.2014

²⁴¹ Vgl. ECKSTEIN, P. P.: Statistik für Wirtschaftswissenschaftler. S. 101.

²⁴² Vgl. MEINEN, H.: Quantitatives Risikomanagement in der Bauwirtschaft. S. 39ff.

5.6.5 Streuungsparameter

In diesem Unterkapitel wird auf die Streuungsparameter Varianz und Standardabweichung eingegangen. Diese beschreiben das Streuungsmaß der Daten um den Erwartungswert bzw. um das arithmetische Mittel – den Mittelwert.

Varianz

Die Varianz $Var(X)$ oder σ^2 beschreibt die gewichtete quadrierte Abweichung einer Zufallsvariable X um den Erwartungswert μ . Berechnet wird die Varianz für eine diskrete Zufallsgröße nach folgender Berechnungsgleichung:

$$Var(X) = \sigma^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2 \cdot p(x_i) \quad (5-8)$$

Standardabweichung

Da die Varianz eine Quadrateinheit der Abweichung darstellt, kommt in der Praxis statt dieser die Standardabweichung zur Anwendung. Die Standardabweichung s oder σ ist das Maß für die durchschnittliche Abweichung aller Zufallswerte vom Erwartungswert. Berechnet wird die Standardabweichung durch das Wurzelziehen der Varianz.

$$s = \sigma = \sqrt{Var(X)} \quad (5-9)$$

Die Standardabweichung einer Zielgröße, die von mehreren Variablen abhängig ist, kann bspw. durch das Gauß'sche Fortpflanzungsgesetz approximiert werden.

Gauß' sches Fortpflanzungsgesetz

Mithilfe des Gauß'schen Fortpflanzungsgesetzes kann die Standardabweichung von einer Zielgröße y (z.B. die Einzelkosten oder der Gesamtaufwandswert) nach Glg. (5-10) näherungsweise ermittelt werden.

$$s_y = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f(\bar{x}_i)}{\partial x_i} \right)^2 \cdot s_{x_i}^2} \quad (5-10)$$

Die Zielgröße y ist durch eine Funktion $f(x_i)$, welche von mehreren Variablen bzw. Eingangsgrößen (x_i) abhängig ist, definiert. Die Voraussetzung der Anwendung dieser Rechenregel ist, dass die Variablen (x_i) unabhängig voneinander bzw. unkorreliert und deren Mittelwerte sowie Standardabweichungen bekannt sind.

Bei der Anwendung des Fehlerfortpflanzungsgesetzes kam es zu einer Abweichung der mathematischen Annäherung zum Ergebnis der Simulation (mit 50.000 Iterationen) von nur 0,04%. Dabei wurde die Standardabweichung der Einzelkosten einmal mittels Monte-Carlo-Methode ($s = 1.725.065,07 \text{ €}$) und einmal mittels mathematischer Annäherung ($s = 1.724.433,58 \text{ €}$) ermittelt.

Der Versuchsaufbau, die Berechnung und der Vergleich der Ergebnisse sind aus dem Anhang (A.1.2) zu entnehmen.

Trotz der großen Genauigkeit der mathematischen Berechnungsmethode erweist sich deren Anwendung als problematisch, da in erster Linie die Standardabweichungen und wahrscheinlichsten Werte der verteilten Eingangsgrößen nicht leicht abschätzbar sind und die vorhandenen Korrelationen die Berechnung deutlich erschweren.

Sind Abhängigkeiten zwischen den Variablen vorhanden, muss das Gauß'sche Fehlerfortpflanzungsgesetz unter Einbeziehung der Korrelationskoeffizienten erweitert werden. Die Standardabweichung kann dann nach Glg. (5-11) approximiert werden.

$$s_y = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f(\bar{x}_i)}{\partial x_i}\right)^2 * s_{x_i}^2 + 2 \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{k=i+1}^m \left(\frac{\partial f(\bar{x}_i)}{\partial x_i}\right) \left(\frac{\partial f(\bar{x}_i)}{\partial x_k}\right) * s(x_i, x_k)}$$

(5-11)

Kummer²⁴³ sieht den Nutzen des Gauß'schen Fehlerfortpflanzungsgesetzes in der Prüfung der Plausibilität von Ergebnissen stochastischer Simulationen.

Neben den Lage- und Streuungsparametern gibt es auch Maße, welche den Zusammenhang bzw. die Stärke und Richtung des Zusammenhanges zwischen zwei Größen beschreiben. Zu diesen gehören die Kovarianz und die Korrelation bzw. der Korrelationskoeffizient als Zusammenhangsmaß. In dieser Arbeit wird in weiterer Folge nur die Korrelation näher behandelt.

²⁴³ Vgl. KUMMER, M. K.: Unveröffentlichtes Arbeitspapier.

5.7 Korrelationen

Im Allgemeinen wird unter der Korrelation die wechselseitige Beziehung zweier Begriffe verstanden. Im Bereich der Statistik und der Wahrscheinlichkeitstheorie definieren Korrelationen den mehr oder minder intensiven Zusammenhang zweier Zufallsvariablen bzw. zweier veränderlicher Größen. Dabei ist zwischen der Maßkorrelation und der Rangkorrelation zu unterscheiden..²⁴⁴

Für die Bestimmung der Korrelationen zwischen den einzelnen Komponenten der Baukosten empfiehlt Chau²⁴⁵ die Rangkorrelation zu verwenden. Der Grund dafür liegt darin, dass die Rangkorrelation für nicht normalverteilte Merkmale bzw. Größen²⁴⁶ herangezogen wird.²⁴⁷

Die Koppelung von zwei variablen Größen erfolgt mithilfe des Korrelationskoeffizienten „r“. Dieser kann einen Wert zwischen -1 und +1 einnehmen (vgl. Bild 5.14), wobei die Stärke der Korrelation durch die Nähe des Koeffizienten zu den Werten -1 und +1 definiert wird. Ein Korrelationskoeffizient von +1 beschreibt bspw. eine perfekt positive Korrelation zwischen den zwei Variablen. Der Korrelationskoeffizient -1 wiederum definiert die perfekt negative Abhängigkeit. Eine Korrelation mit dem Koeffizienten 0 bedeutet, dass die die zwei Variablen unabhängig voneinander sind bzw. dass keine lineare Korrelation zwischen den beiden Variablen besteht.

Eine positive Korrelation liegt bspw. vor, wenn zu einem hohen Wert der einen Größe tendenziell auch ein hoher Wert der anderen Größe gehört. Negative Korrelation besteht, wenn zu einem hohen Wert einer Größe tendenziell ein niedriger Wert der anderen Größe gehört.²⁴⁸

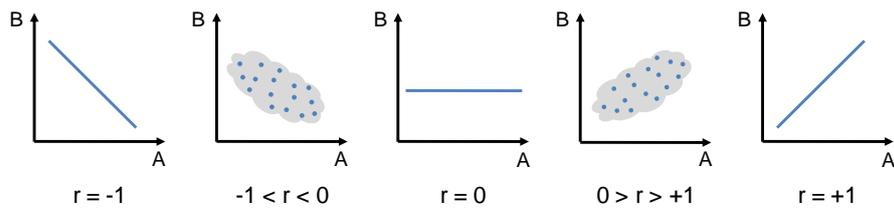


Bild 5.14 Korrelation zweier Variablen (A und B)²⁴⁹

²⁴⁴ Vgl. Gabler Wirtschaftslexikon, URL: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/10563/korrelation-v8.html>, Datum des Zugriffs: 05.03.2014

²⁴⁵ CHAU, K. W.: Monte Carlo simulation of construction costs using subjective data, In: Construction Management and Economics, Heft 13, 1995.

²⁴⁶ Die Baukosten weisen laut Chau zumeist keine Normalverteilung auf.

²⁴⁷ Vgl. ECKSTEIN, P. P.: Statistik für Wirtschaftswissenschaftler. S. 277ff. und KREMPL, S.: Korrelationen bei Aufwandswerten für Schal- und Bewehrungsarbeiten. S. 89.

²⁴⁸ Vgl. Gabler Wirtschaftslexikon, URL: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/10563/korrelation-v8.html>, Datum des Zugriffs: 05.03.2014

²⁴⁹ KUMMER, M. K.: Einsatz der Monte-Carlo Simulation zur Berechnung von Baukosten und Bauzeit. S.50.

Die Bestimmung, Messung und Ermittlung der Korrelationen zwischen den einzelnen Größen gestalten sich insbesondere bei den Bauprojekten mit den jeweils neuen Gegebenheiten als schwierig und ineffizient. Jedoch sind die Analyse und Berücksichtigung der Abhängigkeiten äußerst wichtig, da unbegründete Annahmen der Unabhängigkeiten zu unsinnigen Ergebnissen bzw. zu Fehleinschätzungen führen könnten. Bei der Simulation könnte bspw. ein Szenario erzeugt werden, bei dem die einzubringende Betonmenge steigt, die dazu benötigte Bewehrung jedoch sinkt.²⁵⁰

„Die Modellierung der Abhängigkeit zwischen den Mengensätzen verhindert das Eintreten technologische-inkorrekturer Kombinationen. Die Modellvalidität und Aussagekraft der Simulationsergebnisse erhöhen sich.“²⁵¹

Eine der wenigen Möglichkeiten, die „exakten“ Korrelationskoeffizienten zu ermitteln, stellen die Analyse und Auswertung bereits abgeschlossener Projekte dar.²⁵² Da aber Daten realisierter Projekte nicht immer vorliegen und sich die Ermittlung, wie oben schon erwähnt, als sehr schwierig erweist, äußert Chau den Vorschlag, die Korrelationen in Gruppen bzw. Kategorien einzuteilen (Vgl. Tabelle 5.2). Durch die Modellierung mittels der Mittelwerte soll die Bestimmung der Korrelationskoeffizienten vereinfacht werden.

Kategorie	Intervall	Mittelwert
stark negativ	-1,0 bis -0,7	-0,85
mittel negativ	-0,7 bis -0,4	-0,55
schwach negativ	-0,4 bis -0,1	-0,25
unabhängig	-0,1 bis +0,1	0
schwach positiv	+0,1 bis +0,4	+0,25
mittel positiv	+0,4 bis +0,7	+0,55
stark positiv	+0,7 bis +1,0	+0,85

Tabelle 5.2 Einteilung der Korrelationen nach Chau²⁵³

Unter der Voraussetzung, dass die Experten mit ihren Einschätzungen der Korrelationen nicht zu fern der Realität liegen, soll laut Chau die Anwendung dieser Kategorien zu ähnlichen Ergebnissen wie den „exakten“ Korrelationen aus bereits abgeschlossenen Projekten führen.²⁵⁴

²⁵⁰ Vgl. WIGGERT, M.: Risikomanagement von Betreiber- und Konzessionsmodellen. S. 140ff. Und FLEMMING, C.; NETZKER, M.; SCHÖTTLE, A.: Probabilistische Berücksichtigung von Kosten- und Mengenrisiken in der Angebotskalkulation, In: Bautechnik 88, Heft 2, 2011a. S. 97.

²⁵¹ FLEMMING, C.; NETZKER, M.; SCHÖTTLE, A.: Probabilistische Berücksichtigung von Kosten- und Mengenrisiken in der Angebotskalkulation, In: Bautechnik 88, Heft 2, 2011a. S. 97.

²⁵² Vgl. CHAU, K. W.: Monte Carlo simulation of construction costs using subjective data, In: Construction Management and Economics, Heft 13, 1995. S. 369ff. Und TOURAN, A.; Wisser,Edward,P.: Monte Carlo Technique With Correlated Random Variables, In: Journal of Construction Engineering and Management, 1992. S. 258ff.

²⁵³ Vgl. CHAU, K. W.: Monte Carlo simulation of construction costs using subjective data, In: Construction Management and Economics, Heft 13, 1995. S. 381.

²⁵⁴ Vgl. CHAU, K. W.: Monte Carlo simulation of construction costs using subjective data, In: Construction Management and Economics, Heft 13, 1995. S. 370ff.

Neben dem Vorschlag, die Korrelationen in Gruppen zu kategorisieren, findet sich in der Literatur auch eine konkrete Angabe über Korrelationskoeffizienten. Chapman/Ward sehen für Kostenkomponenten einen Korrelationskoeffizienten von 0,8 und für die Berechnungen der Dauer einen ebensolchen von 0,5 als einen sinnvollen Wert.²⁵⁵

Auswirkungen von Korrelationen

Kummer beschäftigte sich im Zuge seiner Masterarbeit mit den Auswirkungen von Korrelationen auf die Berechnungen mittels der Monte-Carlo-Methode. Dabei stellte Kummer Folgendes fest t.²⁵⁶

- Die Mittelwerte der einzelnen Verteilungsfunktionen weisen in Abhängigkeit der unterschiedlichen Korrelationen bei der Addition und Subtraktion eine geringere Variation auf als die bei der Multiplikation und Division (vgl. Anhang A.1.3).
- Die Art (positiv oder negativ) und Stärke (-1 bis +1) der Korrelation üben bei allen Rechenarten (Addition, Subtraktion, Multiplikation und Division) einen erheblichen Einfluss auf die Streuung und somit auf die Standardabweichung der Simulationsergebnisse aus (vgl. Anhang A.1.3).

Die Erkenntnisse von Kummer sind in nachfolgender Tabelle (Tabelle 5.3) dargestellt.

Rechenoperator		Addition		Subtraktion		Multiplikation		Division	
Korrelation		positiv	negativ	positiv	negativ	positiv	negativ	positiv	negativ
Die Streuung der Ergebnisse wird	größer	●			●	●			●
	kleiner		●	●			●	●	

Tabelle 5.3 Einfluss von Korrelationen auf die Streuung der Ergebnisse getrennt nach Rechenoperatoren²⁵⁷

Auf die Berücksichtigung der Korrelationen im Zuge von Monte-Carlo-Simulationen sowie auf die Abhängigkeiten der Eingangsgrößen der Kostenermittlung bei Stahlbetonarbeiten wird in Kapitel 6.3 näher eingegangen. Nachfolgend wird das, für die Simulationen verwendete Softwareprogramm kurz vorgestellt.

²⁵⁵ Vgl. CHAPMAN, C. B.; WARD, S.: Project risk management. S. 211.

²⁵⁶ Vgl. KUMMER, M. K.: Einsatz der Monte-Carlo Simulation zur Berechnung von Baukosten und Bauzeit. S. 58.

²⁵⁷ In starker Anlehnung an: KUMMER, M. K.: Einsatz der Monte-Carlo Simulation zur Berechnung von Baukosten und Bauzeit. S. 58.

5.8 @ Risk

Für den Bereich der probabilistischen Risikoanalyse haben sich im Bauwesen bisher keine expliziten Softwareprodukte durchsetzen können. Vielmehr kommen branchenübergreifende Programme (wie z.B. @Risk, Crystal Ball oder ModelRisk) zur Anwendung.

Das im Zuge dieser Arbeit verwendete Softwareprogramm @Risk stammt von der Firma Palisade. Es stellt einen Teil der „Decision Suit“ dar und dient zur Risikoanalyse. @Risk nützt als technische Basis, das Programm Excel von Micro Soft und fungiert als ein Excel Add-in. Somit erfolgen die Eingabe und Berechnung in der Umgebung des Excel-Arbeitsblattes, was wiederum die Anwendung erleichtert.

Der Softwarehersteller gibt beispielhaft folgende Einsatzgebiete für @Risk an:²⁵⁸

- Versicherung
 - Verlustrücklagenschätzung
 - Prämienfestsetzung
- Erdöl-, Erdgas- und Energiesektor
 - Erdölvorkommensschätzung
 - Investitionsprojektschätzung
 - Preisgestaltung
- Fertigung
 - Neuproduktanalyse
 - Produktlebenszyklusanalyse
- Luft- und Raumfahrt und Transport
 - Kostenschätzung
 - Verkehrsstraßenplanung und -optimierung
 - Lieferkettenverteilung

Neben den Angeführten Industriebereichen, kann das Softwareprogramm im Bereich der Medizin, Finanzen, Wertpapiere, Regierung, und Verteidigung sowie zur Qualitätsanalyse verwendet werden.²⁵⁹

In dieser Arbeit wird das Softwareprogramm für die Modellierung und Simulation sowie für die Auswertung von Unsicherheiten der Kostenermittlung bei Stahlbetonarbeiten verwendet.

²⁵⁸ Vgl. Palisade Corporation, URL: <http://www.palisade.com/risk/de/>, Datum des Zugriffs: 04.03.2014

²⁵⁹ Vgl. Palisade Corporation, URL: <http://www.palisade.com/risk/de/>, Datum des Zugriffs: 04.03.2014

6 Berechnungsbeispiele

In diesem Kapitel soll anhand mehrerer Berechnungen der Einfluss von Bandbreiten der Eingangsgrößen und von Korrelationen zwischen diesen Parametern auf die Kosten der Stahlbetonarbeiten näher betrachtet und die Ergebnisse sollen miteinander verglichen werden.

Als Referenzprojekt wird das Musiktheater in Linz herangezogen. Der Beginn der Bauarbeiten erfolgte im März 2009, eröffnet wurde das Kulturgebäude im April 2013.

Das Objekt besteht aus fünf Ober- und zwei Untergeschoßen, wobei der Bühnenturm noch drei zusätzliche Ebenen umfasst. Das Gebäude misst entlang der Nordseite 150 m, entlang der Ostseite 25 m, entlang der Westseite 65 m und entlang der Südseite beträgt die Länge rund 215 m. Dies ergibt eine be- und überbaute Fläche von 10.700 m² des 13.100 m² großen Bauplatzes. Insgesamt wurde ein Raumvolumen von 290.000 m³ bei einer Bruttogeschoßfläche von 53.000 m² und einer Nettogeschoßfläche von 44.000 m² umbaut.²⁶⁰

Für die Rohbauarbeiten und den konstruktiven Stahlbau wurde die Firma Strabag SE mit einem Auftragsvolumen von 23 Mio. € beauftragt.²⁶¹



Bild 6.1 Musiktheater Linz²⁶²

²⁶⁰ Vgl. DANBAUER, D.: Musiktheater Linz, URL: <http://www.diebauzeitung.at/musiktheater-linz-112192.html>, Datum des Zugriffs: 10.11.2013

²⁶¹ Vgl. Strabag SE: Musiktheater Linz, Klangkörper für das 21. Jahrhundert, In: Strabag inform, Heft 21, 2011. S. 34

²⁶² Terry Pawson: <http://www.terrypawson.com/b-projects/linz.html>, Datum des Zugriffs: 05.03.2014

Die Berechnungen der Kosten beziehen sich in dieser Arbeit ausschließlich auf die Stahlbetonarbeiten des Projektes.

In nachstehender Tabelle sind die Mengen der Ortbetonbauteile getrennt in Schalungsfläche, Bewehrungs- und Betonmenge sowie deren anteiligen Prozentsätze dargestellt. Die angegebenen Mengen sind als erwartete Werte zu betrachten.

Bauteile	Schalungsfläche			Bewehrungsmenge			Betonmenge		
	[-]	[m ²]	[%]	[-]	[t]	[%]	[-]	[m ³]	[%]
[1] Bodenplatte	SF_BP,j	1150,00	0,90	BW_M_BP,j	1500,00	30,41	BT_M_BP,j	9600,00	25,08
[2] Stützen	SF_ST,j	3700,00	2,91	BW_M_ST,j	120,00	2,43	BT_M_ST,j	400,00	1,05
[3] Wände	SF_WD,j	81000,00	63,65	BW_M_WD,j	1500,00	30,41	BT_M_WD,j	15500,00	40,50
[4] Decken	SF_D,j	30000,00	23,58	BW_M_D,j	1450,00	29,40	BT_M_D,j	10400,00	27,17
[5] Balken, Träger	SF_B,j	6400,00	5,03	BW_M_B,j	162,00	3,28	BT_M_B,j	1380,00	3,61
[6] Treppen	SF_TR,j	500,00	0,39	BW_M_TR,j	20,00	0,41	BT_M_TR,j	90,00	0,24
[7] Brüstungen	SF_BR,j	2800,00	2,20	BW_M_BR,j	80,00	1,62	BT_M_BR,j	505,00	1,32
[8] Sonstige	SF_SO,j	1700,00	1,34	BW_M_SO,j	100,00	2,03	BT_M_SO,j	400,00	1,05
[9] Summe	SF_bwk	127.250,0	100,00	BW_M_bwk	4.932,0	100,00	BT_M_bwk	38.275,0	100,00

Tabelle 6.1 Mengenermittlung – Musiktheater²⁶³

Abweichungen der ausgeschriebenen Mengen von den tatsächlich hergestellten Mengen sind bei Bauprojekten häufig der Fall. Die Vordersätze können entweder überschritten oder unterschritten werden; je nach Vertragslage kann dabei ein Vertragspartner benachteiligt werden.

Versuchsreihe	Versuchsnummer	Kapitel	Bandbreite				Varierte Eingangsparameter				Beschreibung	
			+/- 10 %	+/- 20 %	+/- 30 %	+/- 40 %	+/- 50 %	Mengen	Aufwandswerte	Geräte- und Materialkosten		Alle Parameter
0		6.1										Deterministische Berechnung der Einzelkosten
1		6.2.1	Bandbreite der Eingangsdaten bezogen auf den Erwartungswert									
	1/10/M	6.2.1.1	•				•					Änderung der Mengen
	1/10/AW	6.2.1.2	•					•				Änderung der Aufwandswerte
	1/10/K	6.2.1.3	•						•			Änderung der Geräte- und Materialkosten
	1/10/AP	6.2.1.4	•							•		Änderung aller Eingangsgrößen
2		6.2.2	Einfluss der Position des Modalwertes innerhalb einer Spannweite									
	2/20/M	6.2.2.1	•				•					Änderung der Mengen, Bandbreiten: +/- 20 %
	2/20/AW	6.2.2.2	•					•				Änderung der Aufwandswerte, Bandbreiten: +/- 20 %
	2/20/K	6.2.2.3	•						•			Änderung der Geräte- und Materialkosten, Bandbreiten: +/- 20 %
	2/20/AP	6.2.2.4	•							•		Änderung aller Eingangsgrößen, Bandbreiten: +/- 20 %
3		6.2.3	Gegenüberstellung der Grob- und Detailkalkulation - Ermittlungsgenauigkeit									
	3/1	6.2.3.1	•						•			Gleiche Bandbreiten für die Grob- und die Detailkalkulation
	3/2	6.2.3.2	•				•					Unterschiedliche Bandbreiten: Grobkalk.: +/- 20 %, Detailkalk.: +/- 50 %
		6.2.4	Gegenüberstellung der Ermittlungsmöglichkeiten des Gesamtaufwandswertes									
4	4/1	6.2.4	•							•		Gegenüberstellung der Ermittlungsmöglichkeiten des Gesamtaufwandswertes
		6.3	Einfluss der Korrelationen									
	5/1	6.3.3	•							•		Einfluss der Korrelationen auf den Gesamtaufwandswert
5/2	6.3.4	•							•		Einfluss der Korrelationen auf die Einzelkosten	

Tabelle 6.2 Überblick der Versuche

²⁶³ Vgl. HOFSTADLER, C.; FRANZL, G.: Bewehrungsarbeiten im Baubetrieb. S.229

6.1 Deterministische Kostenberechnung

Im ersten Berechnungsschritt werden die Kosten des Projektes nach dem deterministischen Verfahren ermittelt. Das bedeutet, dass den einzelnen Eingangsdaten (Mengen, Kosten und Aufwandswerten) jeweils nur ein Wert zugewiesen wird. Das Ergebnis besteht somit aus einem konkreten Wert. Es werden keine möglichen Abweichungen bzw. Schwankungen der Eingangsdaten vom Soll-Wert berücksichtigt. Vom errechneten Wert kann nicht gesagt werden, mit welcher Wahrscheinlichkeit dieser eintreten wird, da er nur ein mögliches Szenario beschreibt.

Sander sieht diese Forderung nach einem exakten Wert als einen direkten Widerspruch zum Wunsch nach einer möglichst zutreffenden Prognose,²⁶⁴ jedoch stellen solche deterministischen Kostenermittlungen und Risikobewertungen den derzeitigen Stand der Technik im Bauwesen dar.²⁶⁵

Die in diesem Kapitel errechneten Werte bilden eine Vergleichsbasis für die Untersuchungen in den folgenden Kapiteln.

6.1.1 Mengen

Für die deterministische Kostenermittlung werden die Mengen für die Stahlbetonarbeiten aus der Tabelle 6.1 herangezogen. Die Summen betragen somit:

- Schalungsfläche ($S_{F,bwk}$): 127.250 m²
- Betonmenge ($BT_{M,bwk}$): 38.275 m³
- Bewehrungsmenge ($BW_{M,bwk}$): 4.932 t

Daraus lassen sich nach Glg. (4-7) und Glg. (4-9) der Schalungs- und der Bewehrungsgrad für das gesamte Bauwerk berechnen.

- Schalungsgrad ($s_{g,bwk}$): 3,32 m²/m³
- Bewehrungsgrad ($bw_{g,bwk}$): 128,86 kg/m³

²⁶⁴ Vgl. SANDER, P.: Probabilistische Risiko-Analyse für Bauprojekte. S.18ff

²⁶⁵ Vgl. KUMMER, M. K.: Einsatz der Monte-Carlo Simulation zur Berechnung von Baukosten und Bauzeit. S.80

6.1.2 Aufwandswerte

Für die einzelnen Bauteilgruppen wurden die Aufwandswerte für das Schalen, Bewehren und Betonieren aus Literaturangaben²⁶⁶ übernommen und in nachfolgender Tabelle zusammengefasst.

Bauteile	AW _{s,i}		AW _{BW,i}		AW _{Bt,i}	
	[-]	[Std/m ²]	[-]	[Std/t]	[-]	[Std/m ³]
	[A]	[B]	[C]	[D]	[E]	[F]
[1] Bodenplatte	AW _{s,BP,j}	0,90	AW _{BW,BP,j}	7,00	AW _{Bt,BP,j}	0,45
[2] Stützen	AW _{s,ST,j}	0,85	AW _{BW,ST,j}	10,50	AW _{Bt,ST,j}	2,30
[3] Wände	AW _{s,WD,j}	1,40	AW _{BW,WD,j}	12,50	AW _{Bt,WD,j}	0,75
[4] Decken	AW _{s,D,j}	0,90	AW _{BW,D,j}	9,00	AW _{Bt,D,j}	0,50
[5] Balken, Träger	AW _{s,B,j}	0,90	AW _{BW,B,j}	11,00	AW _{Bt,B,j}	0,55
[6] Treppen	AW _{s,TR,j}	3,20	AW _{BW,TR,j}	17,00	AW _{Bt,TR,j}	1,00
[7] Brüstungen	AW _{s,BR,j}	1,50	AW _{BW,BR,j}	12,00	AW _{Bt,BR,j}	0,90
[8] Sonstige	AW _{s,SO,j}	1,15	AW _{BW,SO,j}	11,50	AW _{Bt,SO,j}	0,65
[9] Mittlere - AW	AW _{s,MW}	1,24 [Std/m ²]	AW _{BW,MW}	9,69 [Std/t]	AW _{Bt,MW}	0,62 [Std/m ³]

Tabelle 6.3 Aufwandswerte für das Schalen, Bewehren und Betonieren

Die mittleren Aufwandswerte für das Schalen, Bewehren und Betonieren (Tabelle 6.3 Zeile [9]) lassen sich aus den Aufwandswerten und den jeweiligen Mengen der Bauteilgruppen nach den Glg. (4-11), (4-12) und (4-13) berechnen.

Aus diesen mittleren Aufwandswerten sowie dem Schalungs- und Bewehrungsgrad ergibt sich nach Glg. (4-6) der Gesamtaufwandswert für die Stahlbetonarbeiten.

- Gesamtaufwandswert (AW_{STB,bwk}): 6,00 Std/m³

6.1.3 Geräte- und Materialkosten

Die Kostensätze für die Geräte- und Materialkosten wurden getrennt nach Schalung, Bewehrung und Beton für jede Bauteilgruppe aus den Angaben in der Literatur²⁶⁷ gewählt. Die erhobenen Ansätze sind aus Tabelle 6.4 und Tabelle 6.5 zu entnehmen.

Bauteile	ks _j		kbw _j		kbt _j	
	[-]	[€/m ²]	[-]	[€/t]	[-]	[€/m ³]
	[A]	[B]	[C]	[D]	[E]	[F]
[1] Bodenplatte	ks _{B,P,j}	3,25	kbw _{B,P,j}	14,00	kbt _{B,P,j}	22,00
[2] Stützen	ks _{ST,j}	8,00	kbw _{ST,j}	11,50	kbt _{ST,j}	35,00
[3] Wände	ks _{WD,j}	12,00	kbw _{WD,j}	12,50	kbt _{WD,j}	24,00
[4] Decken	ks _{D,j}	14,00	kbw _{D,j}	15,00	kbt _{D,j}	23,00
[5] Balken, Träger	ks _{B,j}	6,00	kbw _{B,j}	14,50	kbt _{B,j}	32,00
[6] Treppen	ks _{TR,j}	5,50	kbw _{TR,j}	18,00	kbt _{TR,j}	34,00
[7] Brüstungen	ks _{BR,j}	6,00	kbw _{BR,j}	17,00	kbt _{BR,j}	28,00
[8] Sonstige	ks _{SO,j}	5,00	kbw _{SO,j}	17,00	kbt _{SO,j}	26,00

Tabelle 6.4 Gerätekosten für Schalung, Bewehrung und Beton

²⁶⁶ Vgl. HOFSTADLER, C.; FRANZL, G.: Bewehrungsarbeiten im Baubetrieb. S.232ff

²⁶⁷ Vgl. KUMMER, M. K.: Einsatz der Monte-Carlo Simulation zur Berechnung von Baukosten und Bauzeit. S.83

Bauteile	$k_{s,j}$		$k_{w,j}$		$k_{b,j}$	
	[-]	[€/m ²]	[-]	[€/t]	[-]	[€/m ³]
	[A]	[B]	[C]	[D]	[E]	[F]
[1] Bodenplatte	KS.BP,j	0,90	KW.BP,j	537,00	KbT.BP,j	103,00
[2] Stützen	KS.ST,j	1,10	KW.ST,j	545,00	KbT.ST,j	122,00
[3] Wände	KS.WD,j	1,20	KW.WD,j	532,00	KbT.WD,j	108,00
[4] Decken	KS.D,j	1,00	KW.D,j	540,00	KbT.D,j	113,00
[5] Balken, Träger	KS.B,j	1,60	KW.B,j	550,00	KbT.B,j	113,00
[6] Treppen	KS.TR,j	2,10	KW.TR,j	540,00	KbT.TR,j	126,00
[7] Brüstungen	KS.BR,j	1,40	KW.BR,j	540,00	KbT.BR,j	108,00
[8] Sonstige	KS.SO,j	2,00	KW.SO,j	540,00	KbT.SO,j	108,00

Tabelle 6.5 Materialkosten für Schalung, Bewehrung und Beton

Aus den Angaben zu den Geräte- und Materialkosten folgen durch Gewichtung mit den jeweiligen Mengen die mittleren Kosten getrennt nach Schalung, Bewehrung und Beton.

- Geräte- und Materialkosten Schalung ($k_{S,MW}$): 12,91 €/m²
- Geräte- und Materialkosten Bewehrung ($k_{BW,MW}$): 551,02 €/t
- Geräte- und Materialkosten Beton ($k_{BT,MW}$): 132,20 €/m³

Auf den Kubikmeter Beton bezogen folgen daraus unter Einbeziehung des Schalungs- und Bewehrungsgrades die mittleren Geräte- und Materialkosten.

- Geräte- und Materialkosten ($k_{STB,MW}$): 246,12 €/m³

6.1.4 Einzel- und Herstellkosten

Um die Einzelkosten der Stahlbetonarbeiten bestimmen zu können, sind neben den bereits errechneten Werten zusätzlich die Lohnkosten, der für die Erbringung der Leistung vorgesehenen Arbeitskräfte zu ermitteln. Für solche Berechnungen empfiehlt die ÖNORM B 2061:1999, Kalkulationsformblätter zu verwenden. In dieser Arbeit werden die Mittellohnkosten mit 34,00 €/Std angesetzt.

Die Einzelkosten für die Stahlbetonarbeiten werden nach Glg. (4-1) berechnet.

- Einzelkosten ($K_{STB,EK}$): 17.223.858,50 €

Durch Aufrechnung des Zuschlages für die Baustellengemeinkosten, welcher in dieser Arbeit mit 20 % angesetzt wird, ergeben sich nach Glg. (4-3) die Herstellkosten.

- Herstellkosten ($K_{STB,HK}$): 20.668.630,20 €

Zu den Herstellkosten wird ein Kostenpuffer für Unvorhergesehenes, Fehler und Ungenauigkeiten etc. in der Höhe von 10 % nach Glg. (4-4) eingerechnet.

- Herstellkosten inkl. Puffer ($K_{STB,HK,PF}$): 22.735.493,22 €

6.1.5 Zusammenfassung – Deterministische Kostenberechnung

Die nach dem deterministischen Ansatz berechneten Einzelkosten für die Stahlbetonarbeiten stellen nur einen von vielen möglichen Fällen dar. Die Eintrittswahrscheinlichkeit dieses Wertes beträgt annähernd Null und ist somit sehr unrealistisch.²⁶⁸ In derartigen Berechnungen werden mögliche Abweichungen der angenommenen Mengen, Aufwandswerte und Kostensätze nicht berücksichtigt. Eine Einbeziehung dieser Schwankungen in Form von Bandbreiten (Mindest-, Maximal- und erwarteter Wert) würde den Informationsgehalt des Ergebnisses erhöhen, jedoch kann keine Aussage über die Eintrittswahrscheinlichkeit eines gewissen Wertes getroffen werden. Um diese Informationen abzubilden, müssen für die Eingangsdaten Verteilungsfunktionen definiert werden und die Kalkulation muss mittels probabilistischer Verfahren (z.B. mit der Monte-Carlo-Methode) simuliert werden. Für eine Gegenüberstellung der verschiedenen Berechnungsmodi sei auf die Masterarbeit von Kummer²⁶⁹ verwiesen.

²⁶⁸ Vgl. SANDER, P.: Probabilistische Risiko-Analyse für Bauprojekte.S.18

²⁶⁹ KUMMER, M. K.: Einsatz der Monte-Carlo Simulation zur Berechnung von Baukosten und Bauzeit.

6.2 Einfluss der Bandbreiten

In diesem Kapitel werden Simulationen mittels der Monte-Carlo-Methode, zur Untersuchung des Einflusses von Bandbreiten der Eingangsdaten am Beispiel des probabilistischen Modells zur Berechnung der Einzelkosten für die Stahlbetonarbeiten durchgeführt und dargestellt. Um eine allgemeine Aussage über die Ergebnisse zu erhalten, wird die Form der Verteilungen über alle Versuche hinweg gleich belassen. In den bisherigen Anwendungen dieser Methode im Bauwesen wurden sehr häufig Dreiecksverteilungen angewandt. *„Experimentelle Versuche mit verschiedenen Verteilungsfunktionen haben nur geringe Abweichungen in den Ergebnissen gezeigt, was den Entschluss, die Dreiecksverteilung zu verwenden, verstärkt hat.“*²⁷⁰

Alle Simulationen werden jeweils mit 50.000 Iterationen und der Latin Hypercube Probenerhebungsmethode durchgeführt. Die Berechnungen werden mit dem Softwareprogramm @Risk der Firma Palisade, mit der auch die Abbildungen in den folgenden Kapiteln erstellt werden, durchgeführt.

6.2.1 Bandbreite der Eingangsdaten bezogen auf den Erwartungswert

Bei der ersten Untersuchung wird von fixen Erwartungswerten (Tabelle 6.1 bis Tabelle 6.5), welche aus der deterministischen Berechnung übernommen werden, ausgegangen. Die minimalen und maximalen Werte werden je nach gewählter Bandbreite verändert. Für diese Untersuchung werden Bandbreiten von $\pm 10\%$ bis $\pm 50\%$ in 10%-Schritten angewendet. D.h. die Spannweite addiert sich in 20%-Schritten.

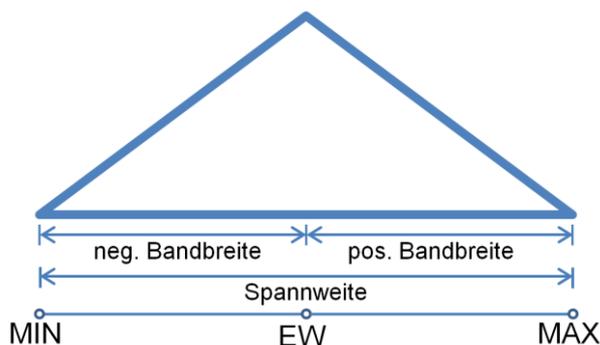


Bild 6.2 Dreiecksverteilung

²⁷⁰ FEIK, R.: Elektronisch gestütztes Risikomanagement im Bauwesen. S.135

Für jeden 10%-Schritt werden vier unterschiedliche Untersuchungen durchgeführt. In der ersten wird der Einfluss der Variation der Mengen, dann der Aufwandswerte, dann der Kostensätze und schlussendlich der Einfluss wenn allen Parametern gleichzeitig eine Dreiecksverteilung zugewiesen wird, untersucht. Eine Übersicht der Versuche ist in nachfolgender Tabelle dargestellt. Dabei kennzeichnet die erste Ziffer die Versuchsreihe, die zweite Nummer beschreibt die Bandbreite der Eingangsdaten (z.B. 10 für +/- 10 %) und der bzw. die abschließenden Buchstaben geben an, welche Eingangsdaten variiert werden (z.B. K für Geräte- und Materialkosten oder AP für alle Parameter).

Versuchsnummer	Varierte Eingangsparameter			
	Mengen	Aufwandswerte	Geräte- und Materialkosten	Alle Parameter
	auf der Ebene der Bauteilgruppen			
1/10/M	•			
1/10/AW		•		
1/10/K			•	
1/10/AP				•

Tabelle 6.6 Übersicht der Versuche – der ersten Versuchsreihe

Als Ergebnisse werden die Histogramme des Gesamtaufwandswertes sowie der Einzelkosten abgebildet. Weiteres wird die Auswirkung der Variation der Eingangsparameter in Form einer Bandbreite vom Erwartungswert (deterministisch errechneter Wert) berechnet und angeführt. Schlussendlich werden zusammenfassende Diagramme mit den Verläufen der maßgebenden Kurven (Erwartungswert-, Minimal-, Maximal-, 5%- und 95%-Kurve sowie die Kurven des Mittelwertes – der Standardabweichung und des Mittelwertes + der Standardabweichung) dargestellt. Es sind im Vorhinein annähernd lineare Verläufe zu erwarten, da es sich bei den Berechnungsgleichungen der Kosten und des Gesamtaufwandswertes²⁷¹ um mathematisch lineare Gleichungen handelt. Zudem werden die Bandbreiten der Eingangswerte in gleichen Schritten verändert.

6.2.1.1 Änderung der Mengen

Bei der ersten Berechnung (Vers. Nr.: 1/10/M) werden für die Mengen Dreiecksverteilungen mit einer Bandbreite von +/- 10 % vom Erwartungswert definiert. Für die restlichen Eingangsdaten werden die Werte aus der deterministischen Berechnung übernommen. Die ermittelten Verteilungsfunktionen des Gesamtaufwandswertes und der Einzelkosten sind in den nachstehenden Abbildungen abgebildet.

²⁷¹ Siehe Gleichung (4-1) bis (4-13).

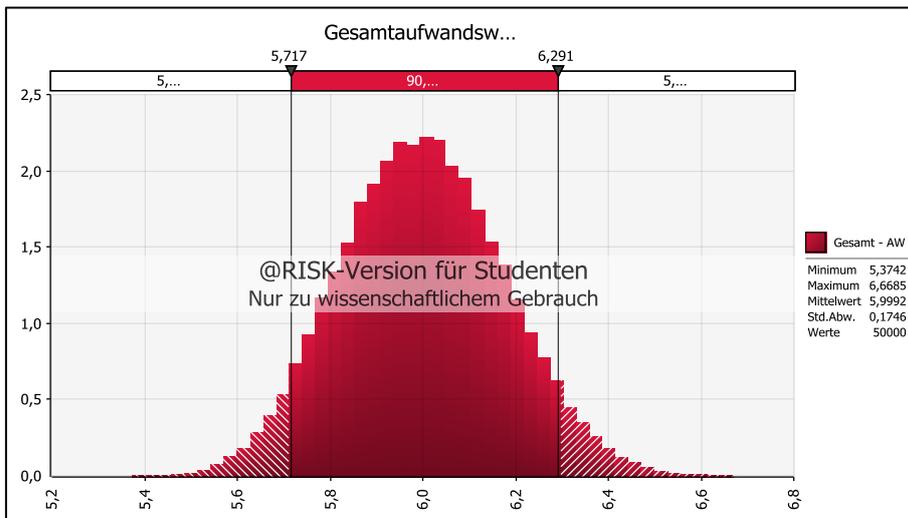


Bild 6.3 Gesamtaufwandswert [Std/m³] – Versuch-Nr.: 1/10/M

In Bild 6.3 ist die Verteilung des Gesamtaufwandswertes dargestellt, wobei auf der Abszisse der Aufwandswert in Lohnstunden pro Kubikmeter Beton und auf der Ordinate die Häufigkeiten aufgetragen sind. Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass mit einer 90%igen Wahrscheinlichkeit der Aufwandswert zwischen 5,72 Std/m³ und 6,29 Std/m³ liegt, was wiederum bedeutet, dass eine Variation der Mengen in einer Bandbreite von $\pm 10\%$ vom erwarteten Wert zu einer Abweichung des Gesamtaufwandswertes um ca. $\pm 4,8\%$ vom erwarteten Aufwandswert (6,00 Std/m³) führt. Diese Spannweite von 9,6 % umfasst 90 % der Ergebnisse der Simulation. Werden alle 100 % betrachtet, beträgt sich die Bandbreite auf ca. $\pm 10,8\%$ und die Spannweite auf 21,6 %. Berechnet werden die Bandbreiten, indem die Differenz der 5%- und 95%-Quantilwerte bzw. des Mindest- und Maximalwertes gebildet und der prozentuelle Anteil zum erwarteten Wert berechnet wird. Zudem ist festzuhalten, dass das Ergebnis, bei welchem die minimalen und maximalen Werte betrachtet werden, eine geringe Aussagekraft hat, da die Minimal- und Maximalwerte von Simulation zu Simulation abweichenden Ergebnisse liefern.

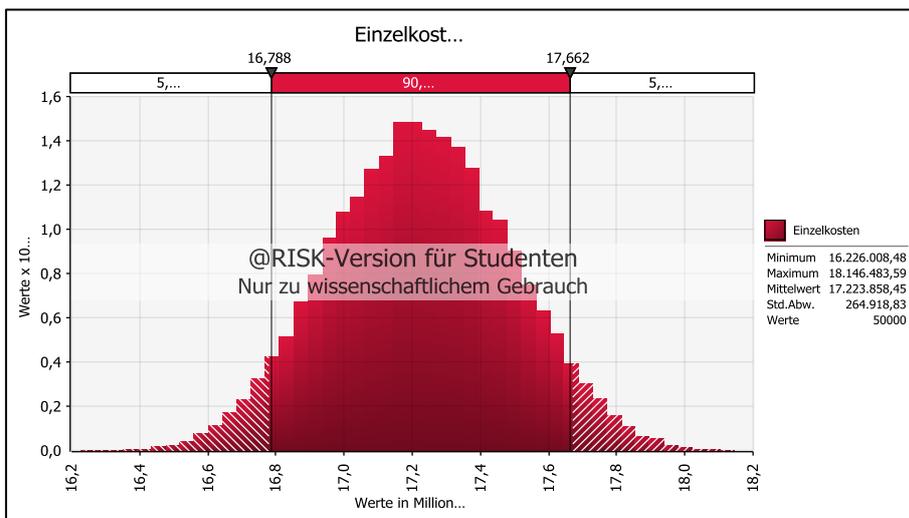


Bild 6.4 Einzelkosten [€] – Versuch-Nr.: 1/10/M

In Bild 6.4 ist die Wahrscheinlichkeitsfunktion der Einzelkosten dargestellt, wobei auf der Abszisse die Kosten in Millionen € und auf der Ordinate die Häufigkeiten angeführt sind. Bei den Einzelkosten kommt es bei 90 % der Ergebnisse zu einer Abweichung von $\pm 2,5\%$ von den deterministisch errechneten Kosten (=17.223.858,50 €). Werden alle 100 % der Ergebnisse berücksichtigt, beträgt die Bandbreite $\pm 5,6\%$.

6.2.1.2 Änderung der Aufwandswerte

Im zweiten Schritt der Untersuchung (Vers. Nr.: 1/10/AW) werden den Aufwandswerten symmetrische Dreiecksverteilungen mit einer Bandbreite von $\pm 10\%$ vom Erwartungswert zugewiesen. Die anderen Werte werden aus der deterministischen Berechnung übernommen.

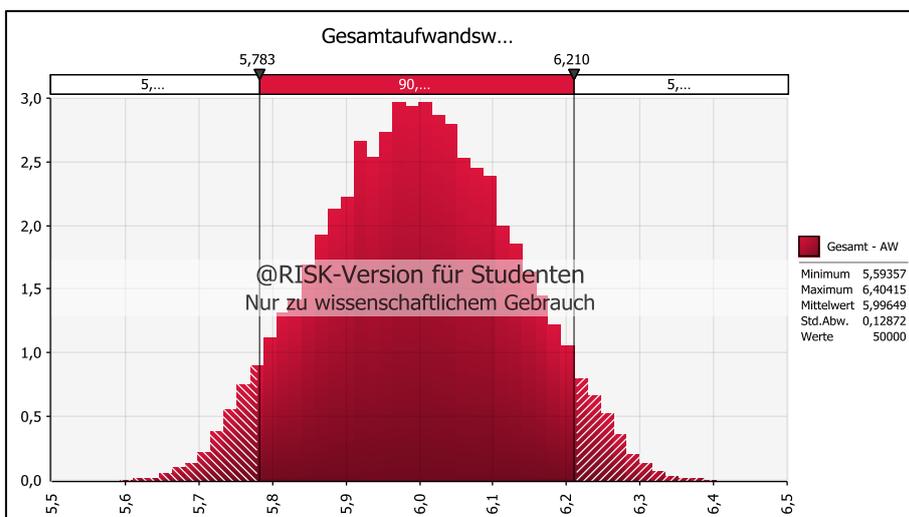


Bild 6.5 Gesamtaufwandswert [Std/m³] – Versuch-Nr.: 1/10/AW

Aus der Verteilungsfunktion des Gesamtaufwandswertes in Bild 6.5 ist ersichtlich, dass die Variation der Aufwandswerte in einer Bandbreite von $\pm 10\%$ zu einer Abweichung des Gesamtaufwandswertes von ca. $\pm 3,6\%$ führt (90 % der Ergebnisse). Bei der Betrachtung aller Ergebnisse vergrößert sich dieser Wert auf $\pm 6,8\%$.

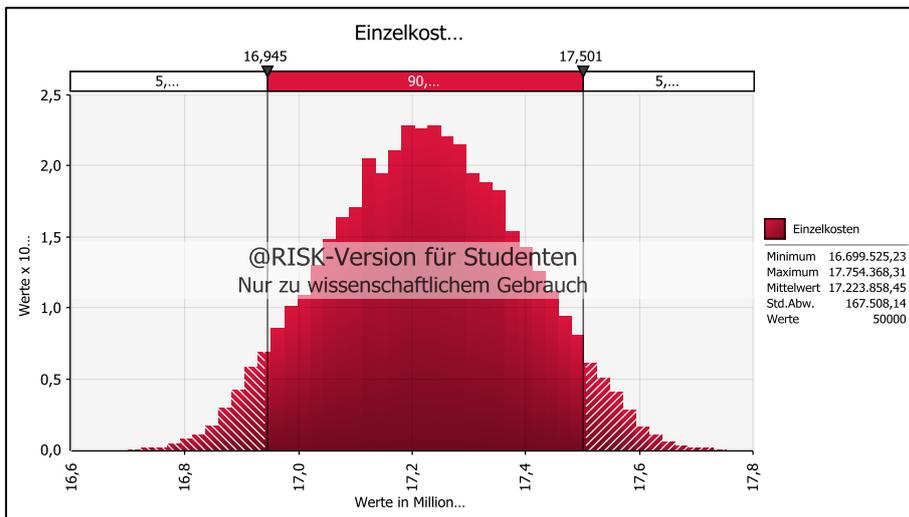


Bild 6.6 Einzelkosten [€] – Versuch-Nr.: 1/10/AW

Die Bandbreite der Einzelkosten in Bild 6.6 beträgt für 90 % der Ergebnisse ca. $\pm 1,6\%$, und für 100 % ca. $\pm 3,1\%$ der erwarteten Einzelkosten (=17.223.858,50 €).

6.2.1.3 Änderung der Geräte- und Materialkosten

Bei diesem Versuch werden die Kostensätze der Geräte- und Materialkosten als Dreiecksverteilungen definiert. Die Mengen und Aufwandswerte werden aus der deterministischen Berechnung übernommen.

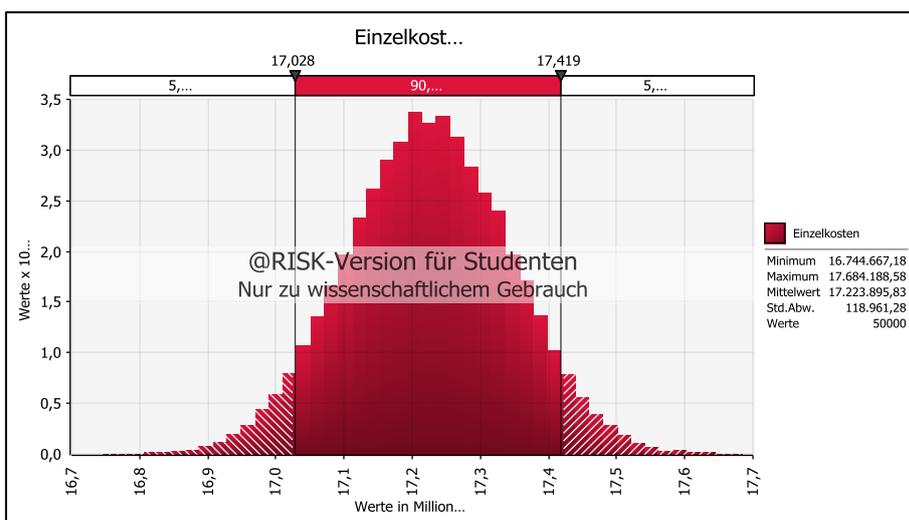


Bild 6.7 Einzelkosten [€] – Versuch-Nr.: 1/10/K

Die Variation der Kostensätze hat keinen Einfluss auf den Gesamtaufwandswert, da die Mengen und die angenommenen Aufwandswerte für die einzelnen Bauteilgruppen gleich bleiben wie in der deterministischen Berechnung. Bei den Einzelkosten in Bild 6.7 beträgt die Bandbreite für 90 % der Ergebnisse ca. $\pm 1,1\%$ und für 100 % der Ergebnisse ca. $\pm 2,7\%$ in Bezug zum deterministisch ermittelten Wert.

6.2.1.4 Änderung aller Eingangsgrößen

Im letzten Untersuchungsschritt (Vers. Nr.: 1/10/AP) werden für alle Eingangsgrößen Dreiecksverteilungen mit einer Bandbreite von $\pm 10\%$ vom Erwartungswert definiert. Die Auswirkung auf den Gesamtaufwandswert ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

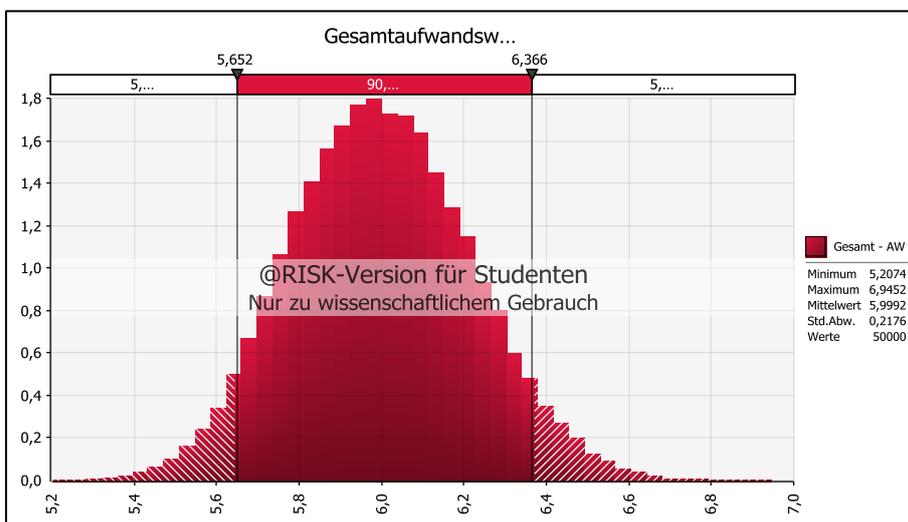


Bild 6.8 Gesamtaufwandswert [Std/m³] – Versuch-Nr.: 1/10/AP

Aus der Verteilungsfunktion des Gesamtaufwandswertes in Bild 6.8 ist ersichtlich, dass die Variation der Eingangsparameter in einer Bandbreite von $\pm 10\%$ zu einer Abweichung des Gesamtaufwandswertes von ca. $\pm 6,0\%$ führt (90 % der Ergebnisse). Werden alle Ergebnisse der Simulation betrachtet, vergrößert sich dieser Wert auf $\pm 14,5\%$.

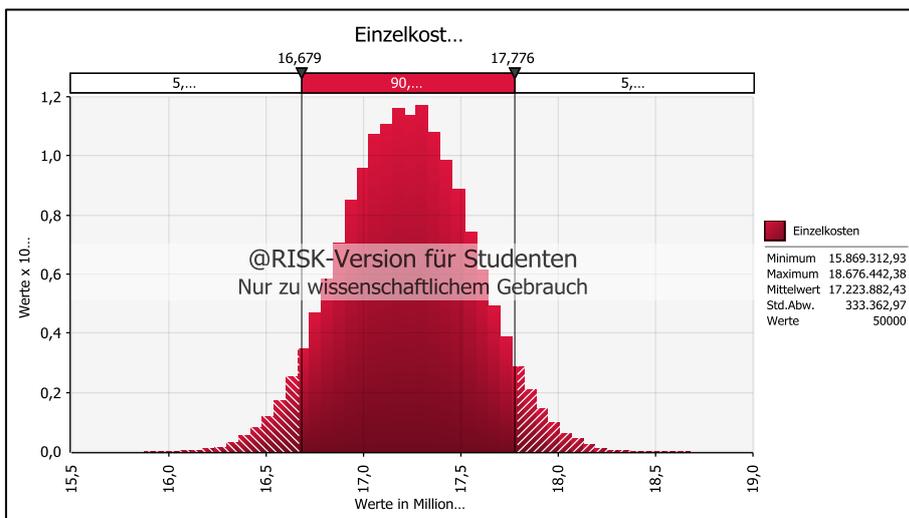


Bild 6.9 Einzelkosten [€] – Versuch-Nr.: 1/10/AP

Die Variation aller Eingangsdaten führt bei den Einzelkosten in Bild 6.9 zu einer Bandbreite von $\pm 3,2\%$ (90 % der Ergebnisse). Bei 100 % der Ergebnisse beträgt dieser Wert $\pm 8,2\%$.

6.2.1.5 Überblick der Ergebnisse

Die oben angeführten Ergebnisse sowie die Ergebnisse der Untersuchungen mit anderen Bandbreiten werden in Tabelle 6.7 gegenübergestellt. Eine genauere Übersicht der Versuchsanordnung, der Verteilungsfunktionen und Ergebnisse ist, für die Versuche Nr.: 1/20/x den im Anhang A.1.4 angefügt. Die Versuche sind entsprechend der Systematik in Tabelle 6.6 nummeriert. Im konkreten Beispiel kennzeichnet die Erste Ziffer die Versuchsreihe, die zweite Nummer die Bandbreite der Eingangsdaten (z.B. 20 für $\pm 20\%$) und der bzw. die Buchstaben geben an, welche Eingangsdaten variiert wurden²⁷².

Anmerkung: Alle Ergebnisse sind symmetrisch Verteilt, da erstens symmetrische Dreiecksverteilungen für die Modellierung herangezogen wurden. Zweitens handelt es sich bei den Berechnungsgleichungen der Kosten und des Gesamtaufwandwertes²⁷³ um mathematisch lineare Gleichungen.

²⁷² Vgl. Tabelle 6.6

²⁷³ Siehe Gleichung (4-1) bis (4-13).

Nr.	Bandbreiten-Variante Eingangsdaten	Gesamt-Aufwandswert										
		EW	Minimum	5 % Quantil	95 % Quantil	Maximum	Std. Abw.	Bandbreite (+/-) (90 % der Ergebnisse)	Spannweite (90 % der Ergebnisse)	Bandbreite (+/-) (100 % der Ergebnisse)	Spannweite (100 % der Ergebnisse)	
[]	[]	[Std./m ²]	[Std./m ²]	[Std./m ²]	[Std./m ²]	[Std./m ²]	[Std./m ²]	[%]	[%]	[%]	[%]	
1/10/M	Mengen	6,00	5,37	5,72	6,29	6,67	0,17	4,79 %	9,57 %	10,79 %	21,58 %	
1/10/AW	Aufwandswerte	6,00	5,59	5,78	6,21	6,40	-	3,56 %	7,12 %	6,76 %	13,52 %	
1/10/K	Kostensätze	6,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1/10/AP	Alle	6,00	5,21	5,65	6,37	6,95	0,22	5,96 %	11,92 %	14,49 %	28,98 %	
1/20/M	Mengen	6,00	4,82	5,44	6,61	7,57	0,35	9,69 %	19,38 %	22,93 %	45,86 %	
1/20/AW	Aufwandswerte	6,00	5,20	5,57	6,42	6,78	0,26	7,09 %	14,17 %	13,21 %	26,41 %	
1/20/K	Kostensätze	6,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1/20/AP	Alle	6,00	4,59	5,32	6,75	8,08	0,44	11,95 %	23,90 %	29,08 %	58,15 %	
1/30/M	Mengen	6,00	4,29	5,19	6,93	8,40	0,53	14,54 %	29,08 %	34,30 %	68,59 %	
1/30/AW	Aufwandswerte	6,00	4,80	5,36	6,63	7,26	0,38	10,65 %	21,30 %	20,51 %	41,01 %	
1/30/K	Kostensätze	6,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1/30/AP	Alle	6,00	3,98	5,01	7,16	9,74	0,66	17,94 %	35,89 %	48,05 %	96,10 %	
1/40/M	Mengen	6,00	3,94	4,95	7,29	9,69	0,71	19,58 %	39,15 %	47,90 %	95,81 %	
1/40/AW	Aufwandswerte	6,00	4,48	5,15	6,84	7,55	0,51	14,15 %	28,30 %	25,60 %	51,21 %	
1/40/K	Kostensätze	6,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1/40/AP	Alle	6,00	3,29	4,71	7,62	10,89	0,89	24,23 %	48,45 %	63,40 %	126,80 %	
1/50/M	Mengen	6,00	3,46	4,70	7,69	10,92	0,91	24,95 %	49,90 %	62,18 %	124,35 %	
1/50/AW	Aufwandswerte	6,00	4,11	4,93	7,07	7,89	0,64	17,82 %	35,64 %	31,51 %	63,01 %	
1/50/K	Kostensätze	6,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1/50/AP	Alle	6,00	2,90	4,42	8,09	12,61	1,13	30,64 %	61,28 %	80,95 %	161,90 %	
Einzelkosten												
17.223.858.50	Mengen	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]	[%]	[%]	[%]	[%]	
17.223.858.50	Aufwandswerte	16.226.008,48	16.787.904,03	17.662.429,42	18.146.483,59	264.918,83	2,54 %	5,08 %	5,58 %	11,15 %		
17.223.858.50	Kostensätze	16.699.525,23	16.945.416,77	17.501.273,33	17.754.368,31	167.508,14	1,61 %	3,23 %	3,06 %	6,12 %		
17.223.858.50	Alle	16.744.667,18	17.027.568,18	17.418.780,80	17.684.188,58	118.961,28	1,14 %	2,27 %	2,73 %	5,45 %		
17.223.858.50	Alle	15.869.312,93	16.679.315,37	17.776.203,78	18.676.442,38	333.362,97	3,18 %	6,37 %	8,15 %	16,30 %		
17.223.858.50	Mengen	15.333.785,99	16.349.571,38	18.094.852,41	19.194.370,93	527.943,85	5,07 %	10,13 %	11,21 %	22,41 %		
17.223.858.50	Aufwandswerte	16.185.734,38	16.671.988,03	17.778.105,34	18.246.822,67	334.613,55	3,21 %	6,42 %	5,98 %	11,97 %		
17.223.858.50	Kostensätze	16.305.370,05	16.829.970,38	17.616.090,93	18.183.603,10	238.725,65	2,28 %	4,56 %	5,45 %	10,90 %		
17.223.858.50	Alle	14.704.691,99	16.143.937,34	18.343.248,08	19.910.565,61	668.414,75	6,38 %	12,77 %	15,11 %	30,22 %		
17.223.858.50	Mengen	14.472.146,44	15.920.658,12	18.519.083,81	19.360.353,47	790.305,06	7,54 %	15,09 %	15,93 %	31,86 %		
17.223.858.50	Aufwandswerte	15.671.144,21	16.391.453,67	18.053.683,74	18.871.596,10	500.200,60	4,83 %	9,65 %	9,29 %	18,58 %		
17.223.858.50	Kostensätze	15.910.234,33	16.633.720,14	17.811.480,77	18.585.476,69	357.934,30	3,42 %	6,84 %	7,77 %	15,53 %		
17.223.858.50	Alle	13.512.980,68	15.613.952,89	18.923.880,05	21.943.856,46	1.005.827,68	9,61 %	19,22 %	23,31 %	46,63 %		
17.223.858.50	Mengen	13.424.199,16	15.478.669,89	18.959.328,20	21.173.126,11	1.055.291,78	10,10 %	20,21 %	22,49 %	44,99 %		
17.223.858.50	Aufwandswerte	15.247.360,34	16.117.680,02	18.326.000,37	19.243.393,79	667.731,64	6,41 %	12,82 %	11,60 %	23,20 %		
17.223.858.50	Kostensätze	15.165.881,45	16.440.430,18	18.001.037,78	19.100.658,17	474.523,03	4,53 %	9,06 %	11,42 %	22,84 %		
17.223.858.50	Alle	12.152.832,90	15.075.569,93	19.505.920,75	22.709.180,97	1.345.935,25	12,86 %	25,72 %	30,64 %	61,29 %		
17.223.858.50	Mengen	12.074.947,23	15.074.373,98	19.397.695,31	22.341.468,14	1.315.286,39	12,55 %	25,10 %	29,80 %	59,61 %		
17.223.858.50	Aufwandswerte	14.767.804,63	15.835.864,46	18.617.381,13	19.684.824,41	835.772,84	8,07 %	16,15 %	14,27 %	28,55 %		
17.223.858.50	Kostensätze	14.743.712,73	16.248.806,30	18.205.766,24	19.414.228,57	593.949,90	5,68 %	11,36 %	13,56 %	27,12 %		
17.223.858.50	Alle	11.386.866,30	14.556.233,88	20.131.458,10	24.935.922,80	1.688.690,60	16,18 %	32,37 %	39,33 %	78,66 %		

Tabelle 6.7 Übersicht der Ergebnisse – Versuchsreihe 1



6.2.1.6 Analyse der Ergebnisse

Im Folgenden werden mit den Ergebnissen aus Tabelle 6.7 die wesentlichen Kurvenverläufe der Einzelkosten und des Gesamtaufwandwertes abgebildet. Dargestellt werden die Verläufe des erwarteten Wertes (deterministisch berechneter Wert), der Mindest- und Maximalwerte, der 5%- und 95%-Quantile sowie die Verläufe des Mittelwertes, von dem die Standardabweichung einmal abgezogen (Kurve mit der Bezeichnung „MW – Std.Abw.“) und einmal hinzugezählt (Kurve mit der Bezeichnung „MW + Std.Abw.“) wurde.

6.2.1.7 Einzelkosten

Die Kurvenverläufe der Einzelkosten in Abhängigkeit von der Veränderung der Bandbreite und der variierten Eingangsparameter sind in den nachstehenden Diagrammen dargestellt.

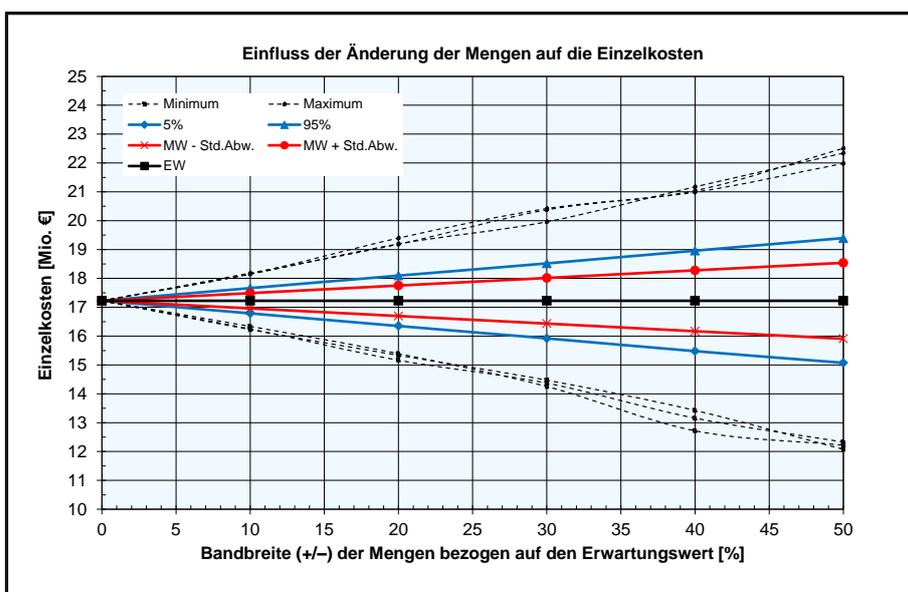


Bild 6.10 Verlauf der Einzelkosten in Abhängigkeit von Bandbreiten der Mengenänderung – Versuch-Nr.: 1/x/M

In Bild 6.10 sind die Kurvenverläufe der Einzelkosten in Abhängigkeit von den Bandbreiten der Mengenänderung aufgezeigt. Es ist ersichtlich, dass alle Verläufe – bis auf die der Minimal- und Maximalwerte – annähernd linear verlaufen. Der nichtlineare Verlauf dieser Kurven ist dadurch begründet, dass die Tiefst- und Höchstwerte von Simulation zu Simulation, abweichende Werte einnehmen können. Aus diesem Grund wurden für die Minimal- und Maximalwerte Kurven aus drei unterschiedlichen Simulationen in den Diagrammen abgebildet. Bspw. ist aus dem Histogramm in Bild 6.4, für die Bandbreite von $\pm 10,0\%$ zu entnehmen, dass nur eine geringe Anzahl der Simulationsergebnisse den Tiefst- bzw. Höchstwert (= Randwerte) erreicht.

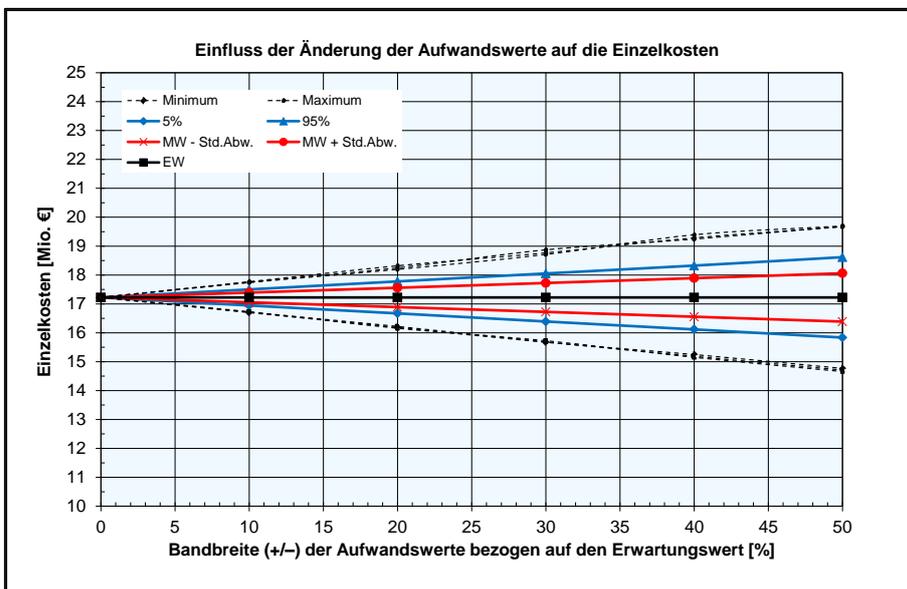


Bild 6.11 Verlauf der Einzelkosten in Abhängigkeit von der Änderung der Aufwandswerte – Versuch-Nr.: 1/x/AW

Bild 6.11 zeigt die Verläufe der Einzelkosten in Abhängigkeit von der Bandbreite der Aufwandswerte. Es ist ersichtlich, dass die Abstände der Kurven geringer sind als in Bild 6.10. Dies ist dadurch begründet, dass die Änderung der Aufwandswerte einen geringeren Einfluss auf die Einzelkosten, als die der Mengen hat. Die Einflussstärken der einzelnen Eingangsparameter werden in Bild 6.15 gegenübergestellt..

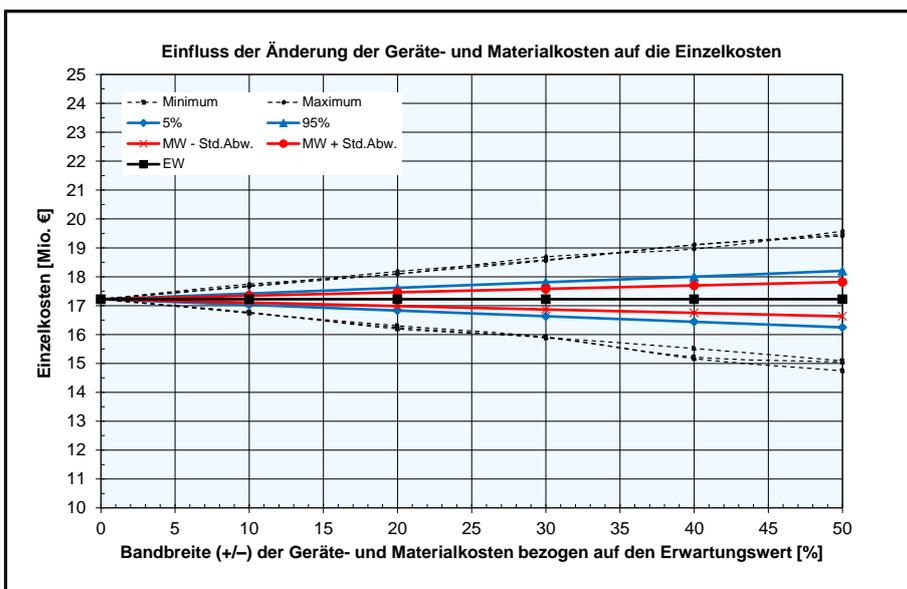


Bild 6.12 Verlauf der Einzelkosten in Abhängigkeit von der Änderung der Geräte- und Materialkosten – Versuch-Nr.: 1/x/K

In Bild 6.12 sind die Kurven der Einzelkosten bezogen auf der Bandbreitenänderung der Geräte- und Materialkosten abgebildet.

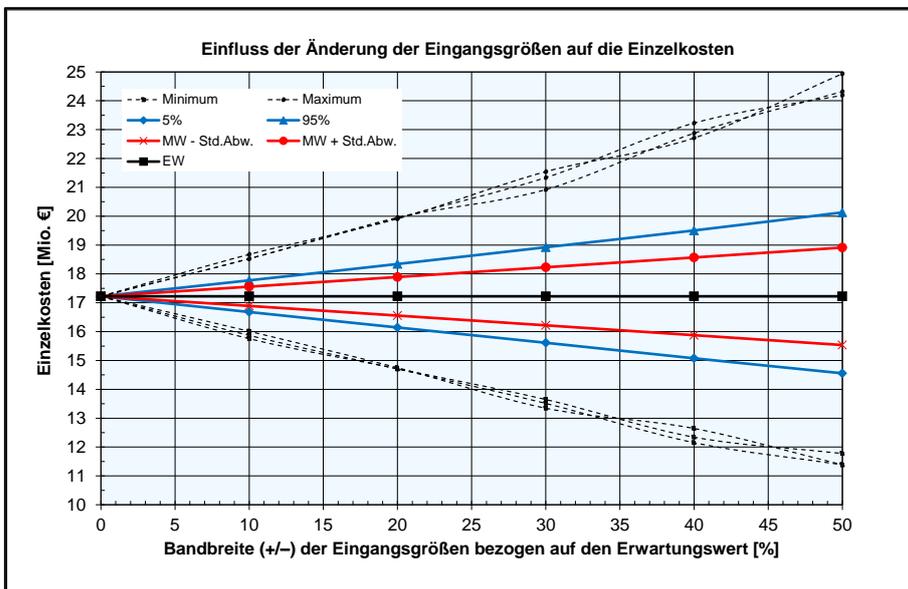


Bild 6.13 Verlauf der Einzelkosten in Abhängigkeit von der Änderung aller Eingangsgrößen – Versuch-Nr.: 1/x/AP

In obiger Abbildung (Bild 6.13) sind auf der Abszisse die Bandbreiten (+/-) aller Eingangsgrößen bezogen auf den Erwartungswert in Prozent und auf der Ordinate die Einzelkosten in Millionen € aufgetragen. Da bei dieser Untersuchung für alle Eingangsgrößen Dreiecksverteilungen definiert wurden, fällt der Abstand der Kurven bzw. der Einfluss auf die Einzelkosten am größten aus.

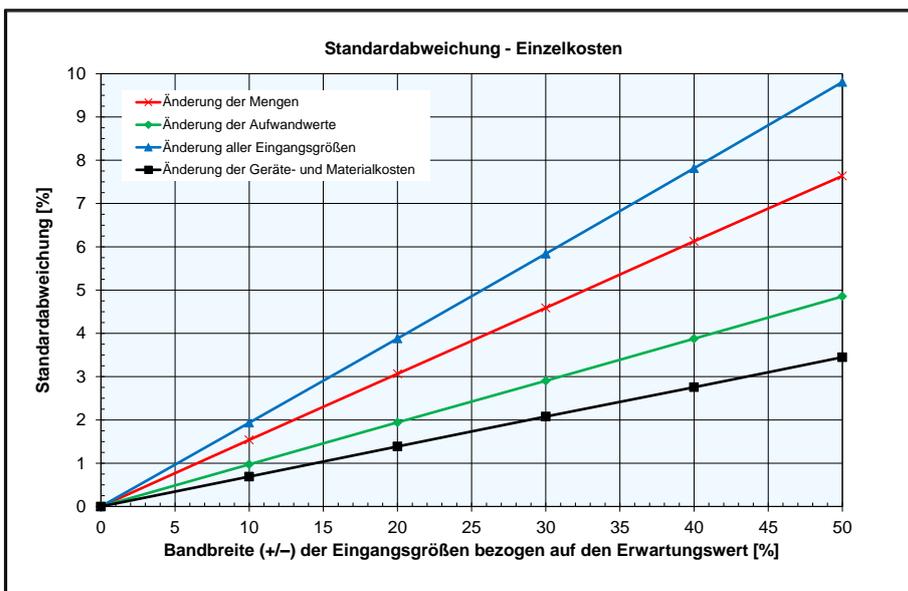


Bild 6.14 Standardabweichung – Einzelkosten – Versuch-Nr.: 1/x/x

Im Diagramm in Bild 6.14 sind die Verläufe der Standardabweichungen bezogen auf die Bandbreiten und die variierten Eingangsgrößen aufgetragen. Die Standardabweichungen steigen mit der Größe der Bandbreite linear an. Dabei haben die Mengenänderungen gefolgt von der Änderung der Aufwandswerte den größten Einfluss auf das Ergebnis der Einzelkosten. Den geringsten Einfluss üben die Änderungen der Geräte- und Materialkosten aus. Der prozentuelle Einfluss der einzelnen Eingangsgrößen auf die Einzelkosten bei den Simulationen wird in Bild 6.15 aufgezeigt. Berechnet werden die Werte (nicht die der Änderung aller Eingangsgrößen), indem der prozentuelle Anteil der einzelnen Standardabweichungen zur Summe der Standardabweichungen berechnet wird. Es werden nur die Standardabweichungen aus den Änderungen der einzelnen Eingangsgrößen, nicht aus der Änderung aller Eingangsgrößen zur Berechnung herangezogen.

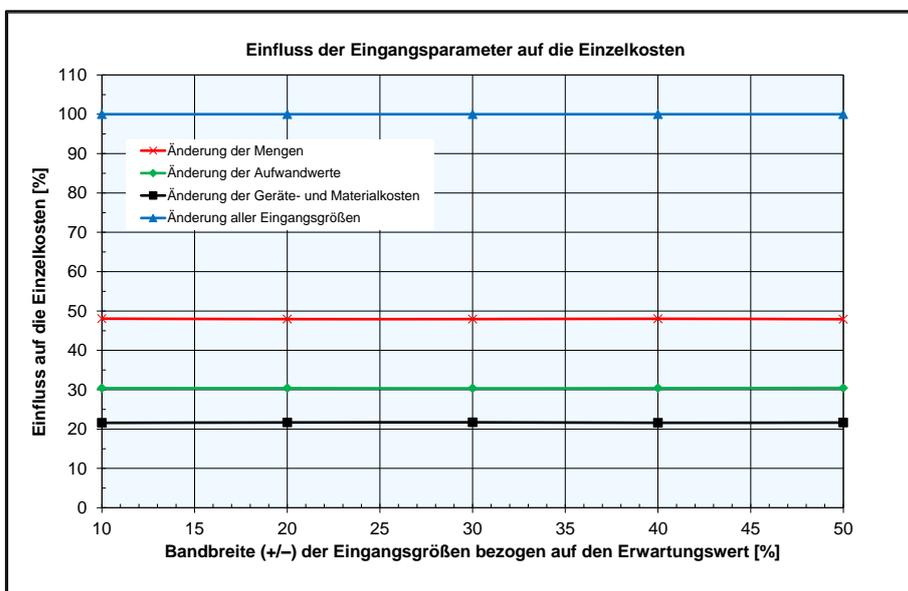


Bild 6.15 Einfluss der Eingangsparameter auf die Einzelkosten – Versuch-Nr.: 1/x/x

Es ist ersichtlich, dass die Einflussstärken der einzelnen Parameter über alle Bandbreiten hinweg gleich bleiben. Die Mengenänderungen beeinflussen das Ergebnis der Einzelkosten mit ungefähr 48 %, die Änderung der Aufwandswerte mit ca. 30 % und die Änderung der Geräte- und Materialkostensätze mit ungefähr 22 %.

6.2.1.8 Gesamtaufwandswert

In den nachfolgenden Diagrammen sind die Verläufe des Gesamtaufwandswertes in Abhängigkeit von der Veränderung der Bandbreite und der variierten Eingangsparameter abgebildet.

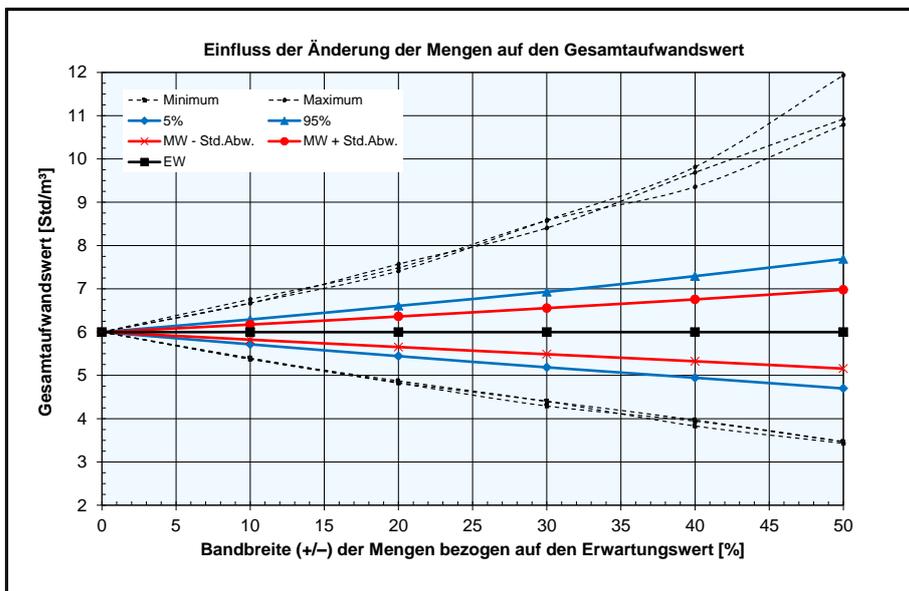


Bild 6.16 Verlauf des Gesamtaufwandswertes in Abhängigkeit von Bandbreiten der Mengenänderung – Versuch-Nr.: 1/x/M

Bild 6.16 zeigt die Verläufe des Gesamtaufwandswertes in Abhängigkeit von der Bandbreite der Mengenänderung.

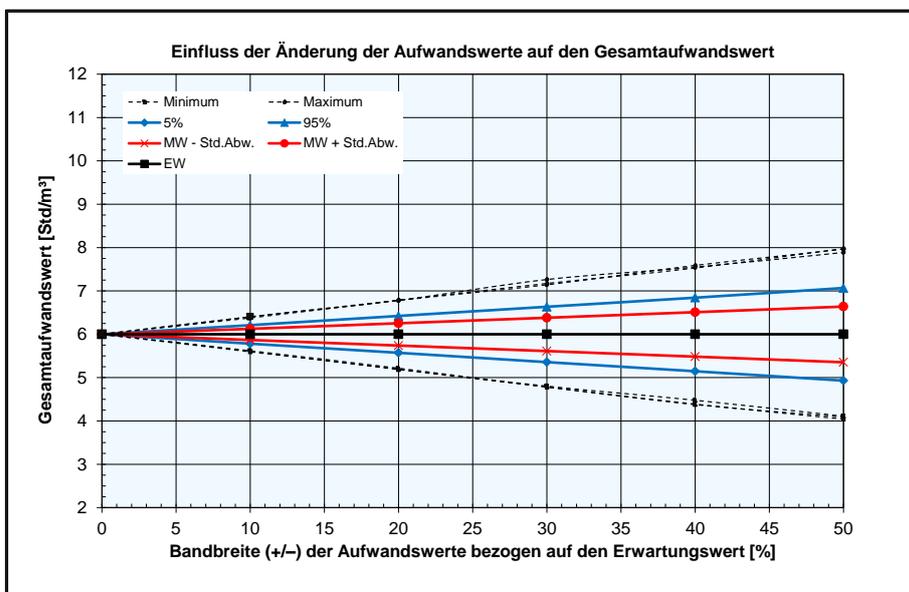


Bild 6.17 Verlauf des Gesamtaufwandswertes in Abhängigkeit von der Änderung der Aufwandswerte – Versuch-Nr.: 1/x/AW

In Bild 6.17 sind die Verläufe des Gesamtaufwandwertes in Abhängigkeit von der Bandbreite der Änderung der Aufwandswerte der einzelnen Bauteilgruppen abgebildet.

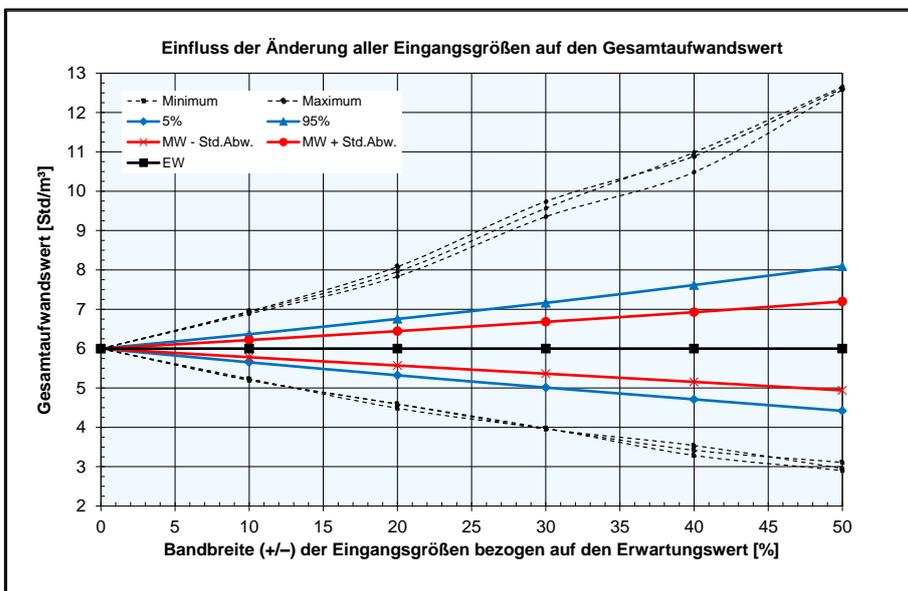


Bild 6.18 Verlauf des Gesamtaufwandwertes in Abhängigkeit von der Änderung aller Eingangsgrößen – Versuch-Nr.: 1/x/AP

Die Verläufe des Gesamtaufwandwertes in Abhängigkeit von der Bandbreite der Änderung aller Eingangswerte sind in Bild 6.18 dargestellt.

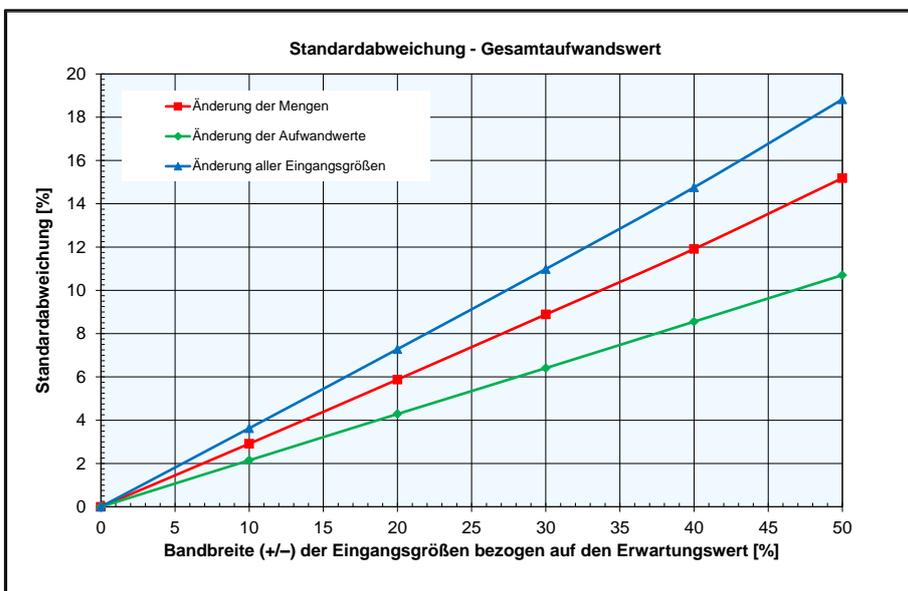


Bild 6.19 Standardabweichung – Gesamtaufwandwert – Versuch-Nr.: 1/x/x

Die Standardabweichungen der einzelnen Versuche bzw. der Änderungen der einzelnen Eingangsgrößen sind im Diagramm in Bild 6.19 aufgetragen. Wie in Bild 6.14 folgen die Standardabweichungen einem linearen Verlauf. Diese Linearität der Standardabweichung ist

auch mathematisch durch das Gauß'sche Fortpflanzungsgesetz beschreibbar.²⁷⁴

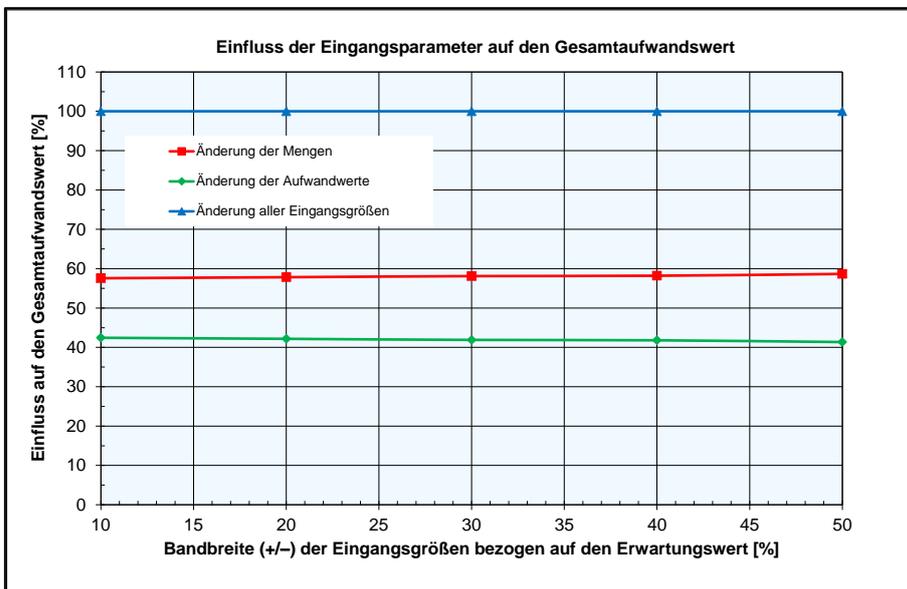


Bild 6.20 Einfluss der Eingangsparameter auf den Gesamtaufwandwert – Versuch-Nr.: 1/x/x

Die Einflussstärken der einzelnen Eingangsgrößen auf den Gesamtaufwandwert sind dem Diagramm in Bild 6.20 zu entnehmen. Die Mengenänderungen beeinflussen die Ergebnisse der Simulationen zu ca. 58 % und die Änderungen der Aufwandswerte zu ca. 42 %. Die Variation der Geräte- und Materialkosten haben keinen Einfluss auf den Gesamtaufwandwert.

²⁷⁴ Siehe Kapitel 5.6.5 - Gauß' sches Fortpflanzungsgesetz

6.2.2 Einfluss der Wahl des Modalwertes

Oft ist es der Fall, dass in der Literatur oder anderen Informationsquellen Angaben zu Aufwandswerten, Kostensätzen und anderen Eingangsvariablen in einfachen Bandbreiten (Tiefst- und Höchstwert) vorliegen. Der Anwender ist in solchen Fällen bei der Wahl des Modalwertes, von seinem Kenntnisstand und der subjektiven Empfindung abhängig.

In diesem Unterkapitel soll untersucht werden, welchen Einfluss die Wahl der Position des Modalwertes innerhalb einer Bandbreite, auf die Einzelkosten hat. Dabei werden die Ober- und Untergrenzen einmal aus dem Versuch mit $\pm 20\%$, und einmal aus dem Versuch mit $\pm 40\%$ vom ehemaligen EW²⁷⁵ übernommen. Der Modalwert wird mit jeder weiteren Simulation um 10% vom Minimalwert zum Maximalwert verschoben.

Da in diesem Kapitel der wahrscheinlichste Wert nicht dem Mittelwert bzw. dem Erwartungswert (ausgenommen Modus bei der Position 0,5) entspricht, wird anstatt des bisher verwendeten Erwartungswerts („EW“) der Begriff Modus bzw. Modalwert, welcher den Wert mit der größten Wahrscheinlichkeit beschreibt, verwendet.²⁷⁶

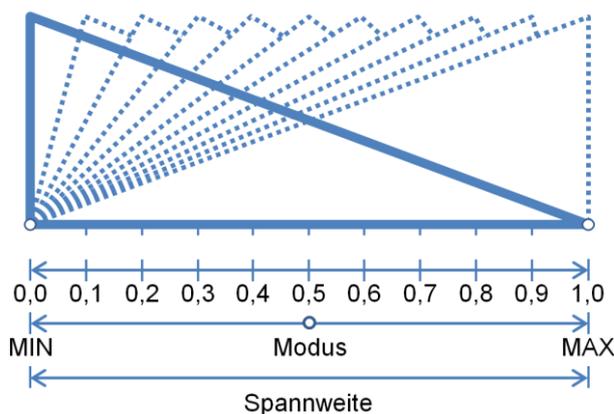


Bild 6.21 Dreiecksverteilung - schiefe Verteilungsformen

In den folgenden Abbildungen werden, in Abhängigkeit des gewählten Modalwertes des deterministisch berechneten Wertes, die Verläufe der Minimal-, Maxima-, 5%- und 95%-Kurve sowie die Kurven des Mittelwertes dargestellt. Weiteres werden die Kurven des Mittelwertes, von dem die Standardabweichung abgezogen wird und des Mittelwertes, dem die Standardabweichung hinzugezählt wird, ebenfalls in Abhängigkeit des Modalwertes dargestellt.

²⁷⁵ Vgl. Tabelle 6.7

²⁷⁶ Vgl. Kapitel 5.6.4 Lageparameter

6.2.2.1 Mengenänderung

Die Abbildungen in Bild 6.22 und Bild 6.23 zeigen die oben genannten Verläufe in Abhängigkeit der Änderung des Modalwertes der variierten Mengen. Dabei sind auf der Abszisse die jeweiligen Positionen des Modalwertes und auf der Ordinate die errechneten Werte der Simulationen in Millionen € aufgetragen.

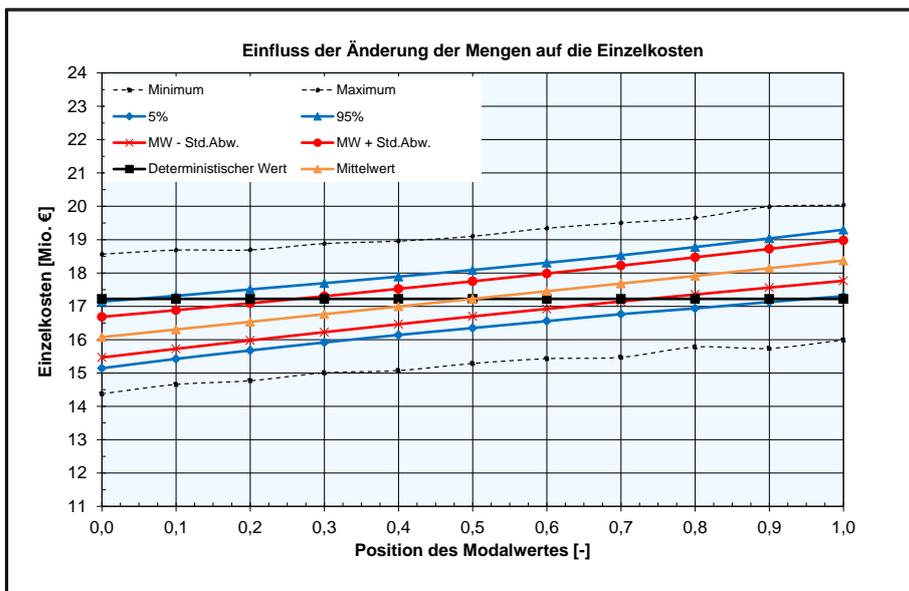


Bild 6.22 Verlauf der Einzelkosten in Abhängigkeit von der Position des Modus – Mengenänderung – Versuch-Nr.: 2/20/M

Bei dem Diagramm in Bild 6.22 beträgt die Bandbreite +/- 20 % bezogen auf den Modalwert bei der Position 0,5. In Bild 6.23 macht dieser +/- 40 % aus.

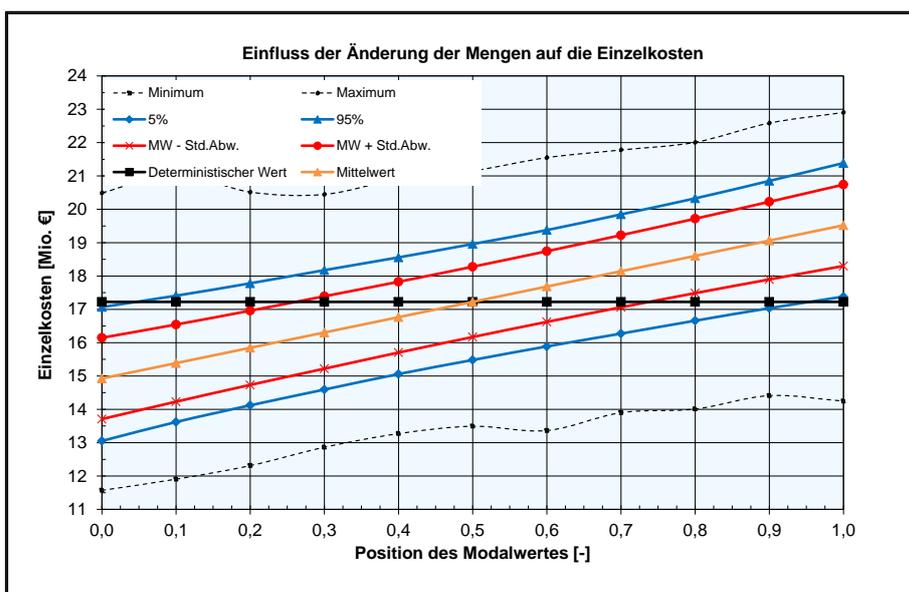


Bild 6.23 Verlauf der Einzelkosten in Abhängigkeit von der Position des Modus – Mengenänderung – Versuch-Nr.: 2/40/M

6.2.2.2 Änderung der Aufwandswerte

Die Auswirkungen der Änderung des Modalwertes der Aufwandswerte auf die Einzelkosten sind in den Verläufen in Bild 6.24 und Bild 6.25 aufgezeigt. Es werden wieder Diagramme für zwei unterschiedliche Bandbreiten (+/- 20 % und +/- 40 %) dargestellt.

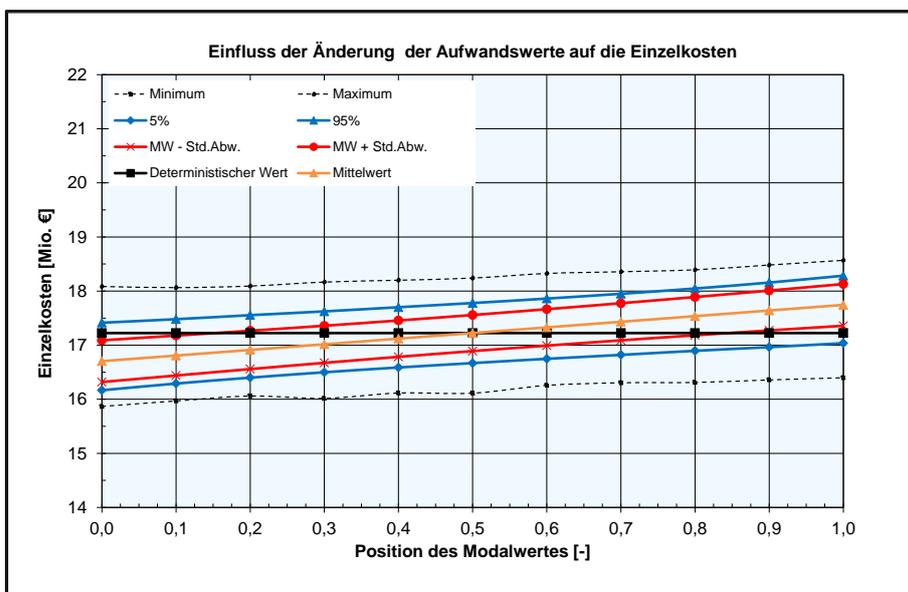


Bild 6.24 Verlauf der Einzelkosten in Abhängigkeit von der Position des Modus – Änderung der Aufwandswerte – Versuch-Nr.: 2/20/AW

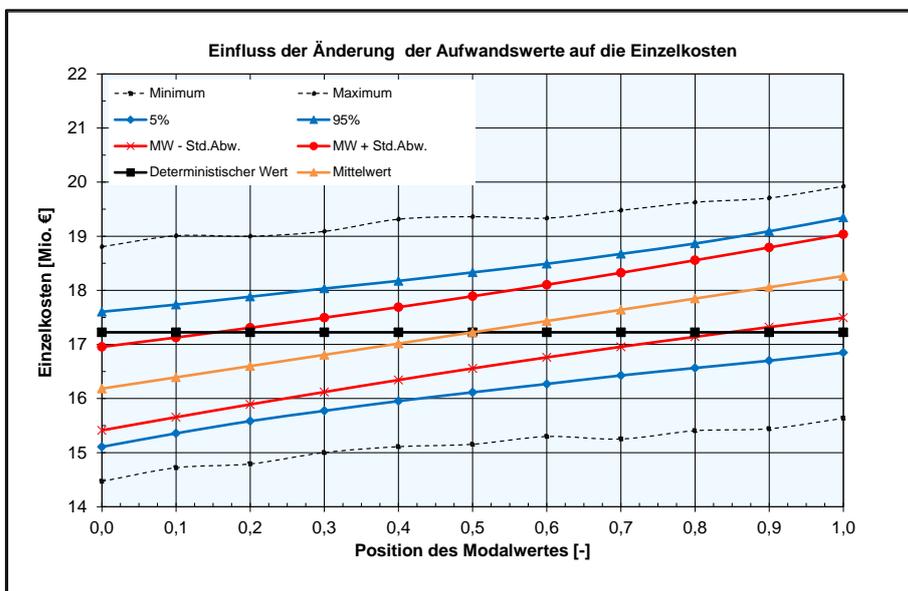


Bild 6.25 Verlauf der Einzelkosten in Abhängigkeit von der Position des Modus – Änderung der Aufwandswerte – Versuch-Nr.: 2/40/AW

6.2.2.3 Änderung der Geräte- und Materialkosten

Die Diagramme in Bild 6.26 und Bild 6.27 zeigen die Verläufe in Abhängigkeit des variierten Modalwertes der Geräte- und Materialkosten.

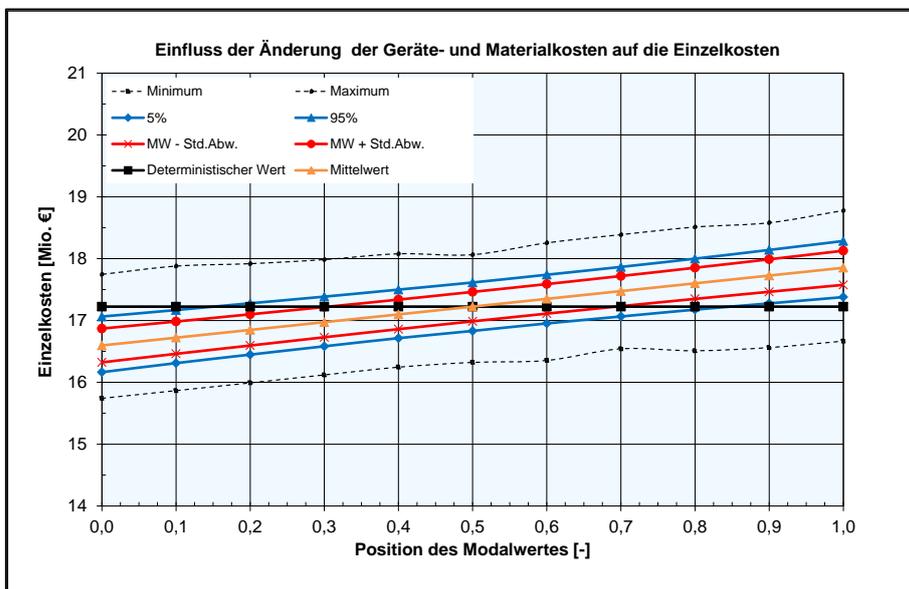


Bild 6.26 Verlauf der Einzelkosten in Abhängigkeit von der Position des Modus – Änderung der Geräte- und Materialkosten – Versuch-Nr.: 2/20/K

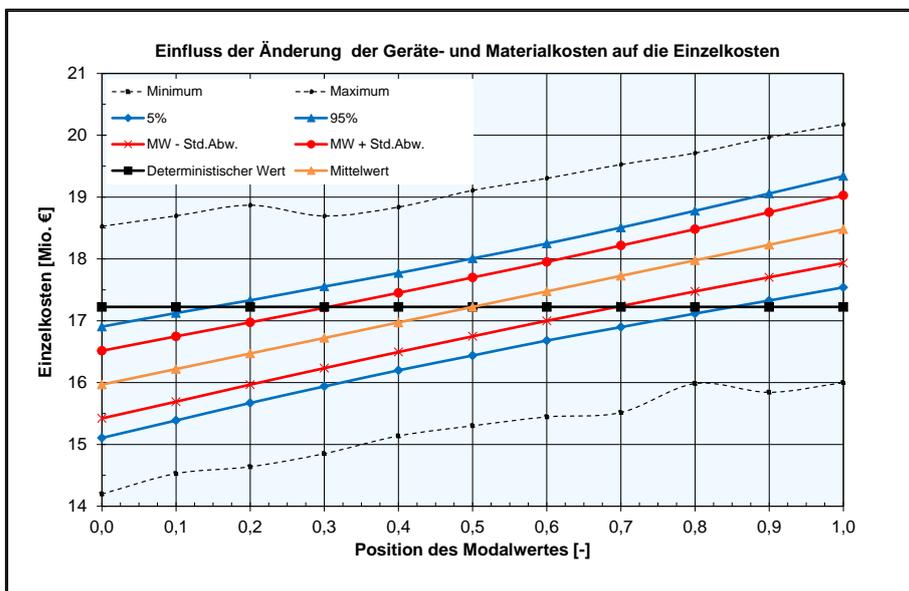


Bild 6.27 Verlauf der Einzelkosten in Abhängigkeit von der Position des Modus – Änderung der Geräte- und Materialkosten – Versuch-Nr.: 2/40/K

6.2.2.4 Änderung aller Eingangsgrößen

Der Einfluss der Variation des wahrscheinlichsten Wertes im Fall, dass allen Eingangsgrößen Verteilungsformen zugewiesen werden, ist für die zwei unterschiedlichen Bandbreiten in Bild 6.28 (Bandbreite von +/- 20 % vom Modus bei der Position 0,5) und in Bild 6.29 (Bandbreite von +/- 40 % bezogen auf den Modalwert bei der Position 0,5) dargestellt.

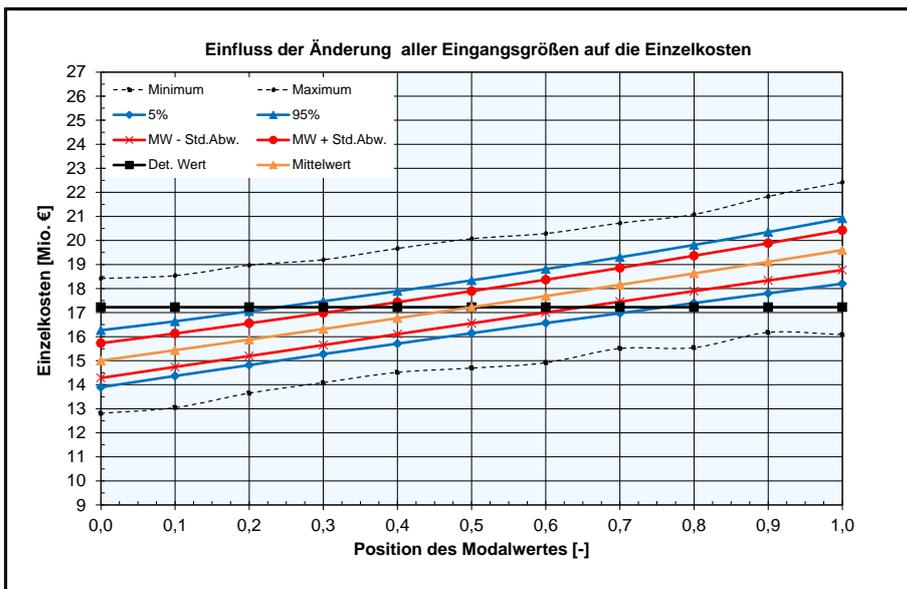


Bild 6.28 Verlauf der Einzelkosten in Abhängigkeit von der Position des Modus – Änderung aller Eingangsgrößen – Versuch-Nr.: 2/20/AP

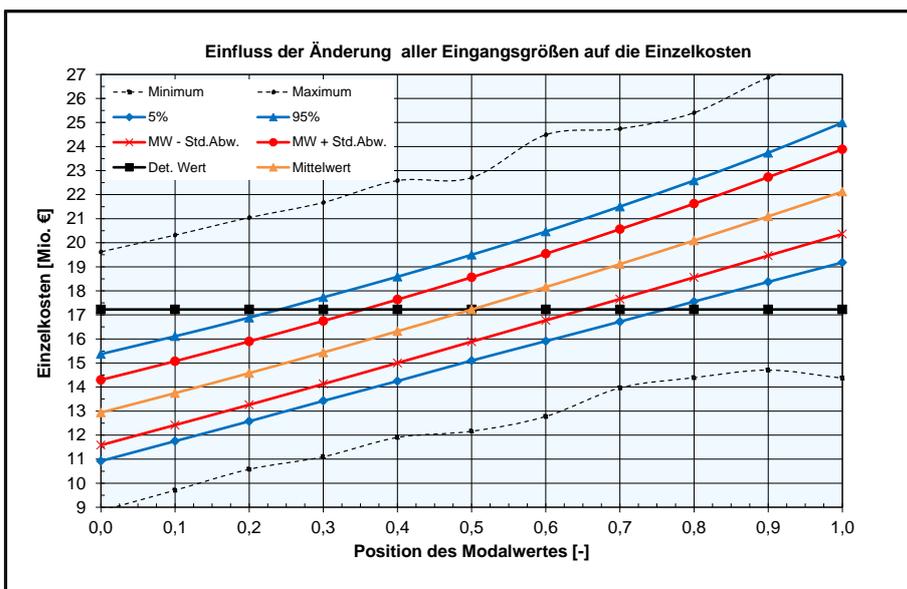


Bild 6.29 Verlauf der Einzelkosten in Abhängigkeit von der Position des Modus – Änderung aller Eingangsgrößen – Versuch-Nr.: 2/40/AP

6.2.2.5 Zusammenfassung – Versuchsreihe 2

Aus den obigen Diagrammen (Bild 6.22 bis Bild 6.29) kann entnommen werden, dass der Mittelwert der Einzelkosten einem linearen und die 5%- und 95%-Quantilwerte, begründet durch die Simulation, nur einem annähernd linearen Verlauf folgen. Der Grund für den nichtlinearen Verlauf des Mittelwertes, von dem einmal die Standardabweichung abgezogen und diese einmal hinzugezählt wird, liegt an dem nichtlinearen Verlauf der Standardabweichung. Liegt der gewählte Modalwert genau in der Mitte (Modus bei 0,5) der angegebenen Bandbreite, entspricht der Mittelwert der Simulation dem errechneten Wert aus der deterministischen Berechnung der Einzelkosten.

Weiteres ist ersichtlich, dass die Differenz zwischen dem 95%-Quantilwert und dem Mittelwert mit der Zunahme der Position des Erwartungswertes abnimmt und jene zwischen dem 5%-Quantil und dem Mittelwert wiederum zunimmt. Der Grund dafür liegt darin, dass sich das Verhältnis zwischen dem 5%-Quantil bzw. dem 95%-Quantil und dem Mittelwert proportional zum Verhältnis zwischen dem Minimalwert bzw. dem Maximalwert und dem gewählten Modalwert verhält. Das bedeutet, je näher der angesetzte wahrscheinlichste Wert beim Minimalwert liegt, desto näher fällt der Mittelwert aus der Simulation zum 5%-Quantil aus und umgekehrt.

6.2.2.6 Standardabweichung

Die Verläufe der Standardabweichungen aus den beiden Versuchen (Versuch Nr.: 2/20/x und 2/40/x) sind in den zwei nachstehenden Abbildungen (Bild 6.30 und Bild 6.31) dargestellt.

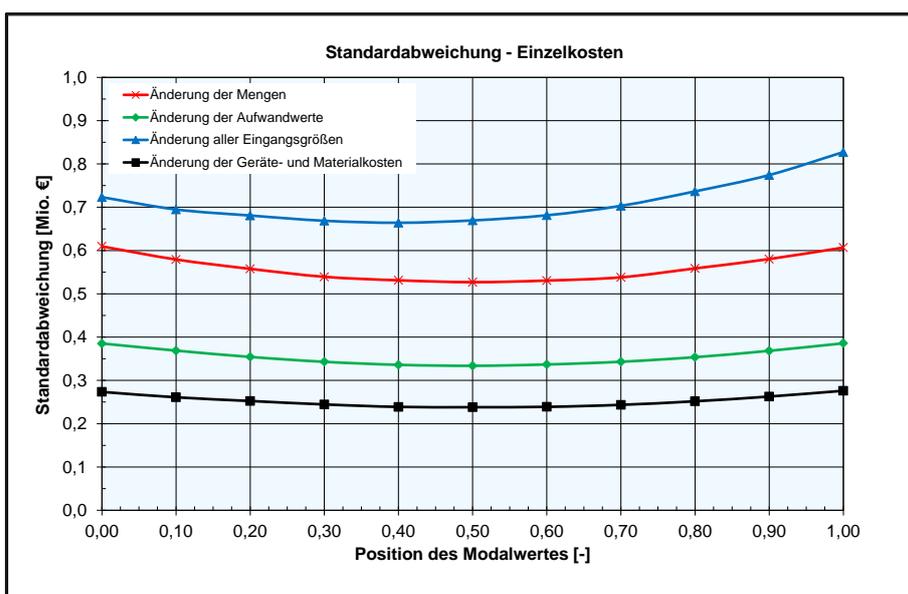


Bild 6.30 Verlauf der Standardabweichung – Einzelkosten in Abhängigkeit von der Position des Modus – Versuch-Nr.: 2/20/x

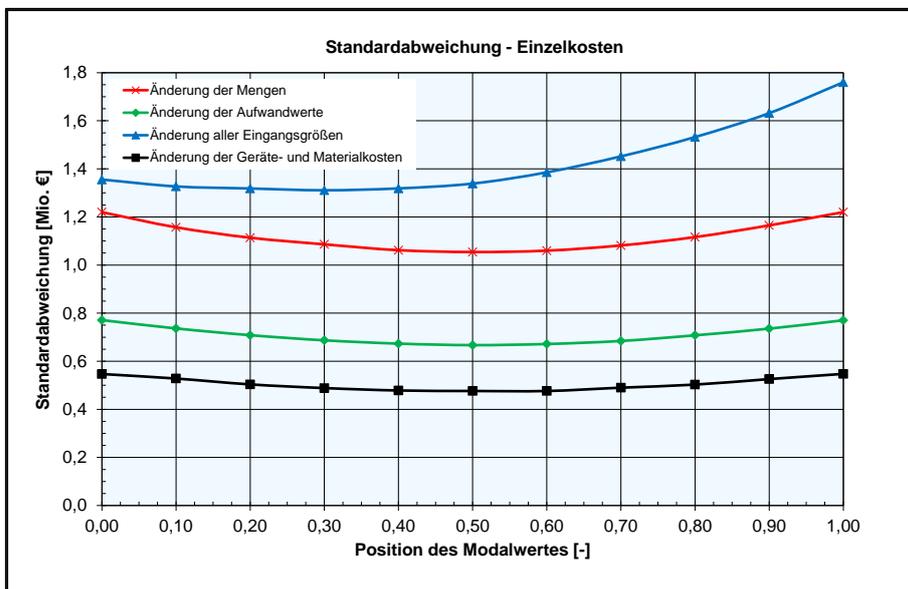


Bild 6.31 Verlauf der Standardabweichung – Einzelkosten in Abhängigkeit von der Position des Modus – Versuch-Nr.: 2/40/x

Aus den Diagrammen in Bild 6.30 und Bild 6.31 ist erkennbar, dass die Standardabweichung der Einzelkosten bei allen drei Fällen der Variation der einzelnen Eingangsgrößen zur 0,5-Achse (0,5 Position des gewählten Modalwertes) symmetrisch verläuft. Den Mindestwert erreicht die Standardabweichung jeweils bei der Position 0,5. Werden allen Eingangsparametern Verteilungen zugewiesen, verlagert sich das Minimum der Standardabweichung mit der Zunahme der Spannweite zwischen dem Mindest- und Maximalwert in Richtung der Position 0,0 des gewählten Erwartungswertes. Das Minimum erreicht die Standardabweichung in Bild 6.30 bei der Position 0,4 und in Bild 6.31 bei 0,3.

6.2.3 Gegenüberstellung der Grob- und Detailkalkulation

Im nachfolgenden Kapitel werden die Einzelkosten der Stahlbetonarbeiten einmal mit der Grobkalkulation (vgl. Kapitel 4.3.1) und einmal mit der Detailkalkulation (vgl. Kapitel 4.3.2) berechnet und die Ergebnisse gegenübergestellt. Es werden zwei unterschiedliche Versuche (Versuch Nr. 3/1 und 3/2) durchgeführt.

6.2.3.1 Gleiche Bandbreiten

Im ersten Versuch (Nr.: 3/1) werden bei beiden Kalkulationsbetrachtungen für die Eingangsgrößen (Tabelle 6.1 bis Tabelle 6.5) Dreiecksverteilungen mit einer Bandbreite von $\pm 20\%$ vom Erwartungswert definiert. Die Ergebnisse beider Detaillierungsgrade werden in den nachfolgenden Abbildungen gegenübergestellt.

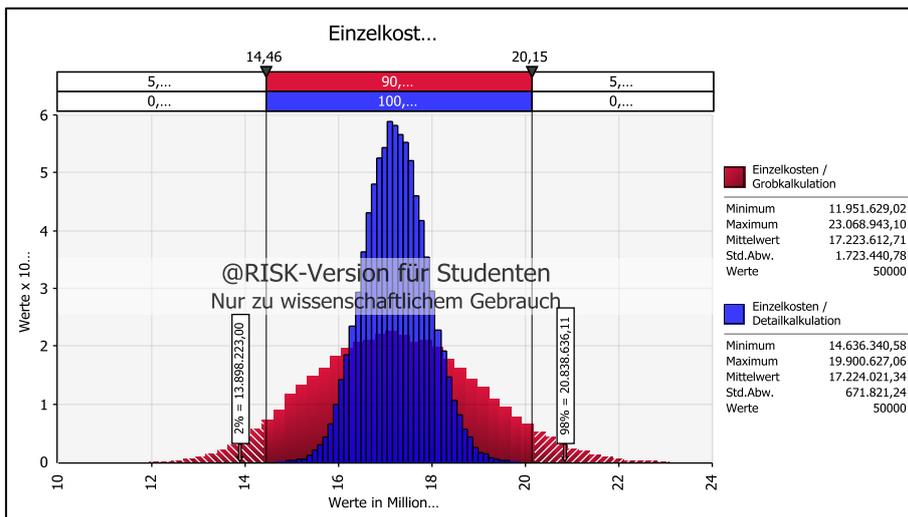


Bild 6.32 Gegenüberstellung – Grob- und Detailkalkulation – gleiche Bandbreiten ($\pm 20\%$) – Histogramm 1 – Versuch-Nr.: 3/1

In Bild 6.32 und Bild 6.33 sind die Verteilungen der Einzelkosten für beide Kalkulationen dargestellt, wobei auf der Abszisse die Kosten in Millionen € und auf der Ordinate die Häufigkeiten aufgetragen sind. Aus den Abbildungen ist ersichtlich, dass die Werte der Grobkalkulation (rote Verteilung) mit einer größeren Streuung als die der Detailkalkulation (blaue Verteilung) ausfallen. Bei der Grobkalkulation liegen die Einzelkosten mit einer 90%igen Wahrscheinlichkeit zwischen 14,46 Mio. € und 20,15 Mio. €. Bei der Detailkalkulation liegen diese mit der gleichen Wahrscheinlichkeit zwischen 16,14 Mio. € und 18,35 Mio. €. Des Weiteren ist in Bild 6.33 ersichtlich, dass nur 46,3 % der Werte der Grobkalkulation 90 % der Ergebnisse der Detailkalkulation abdecken.

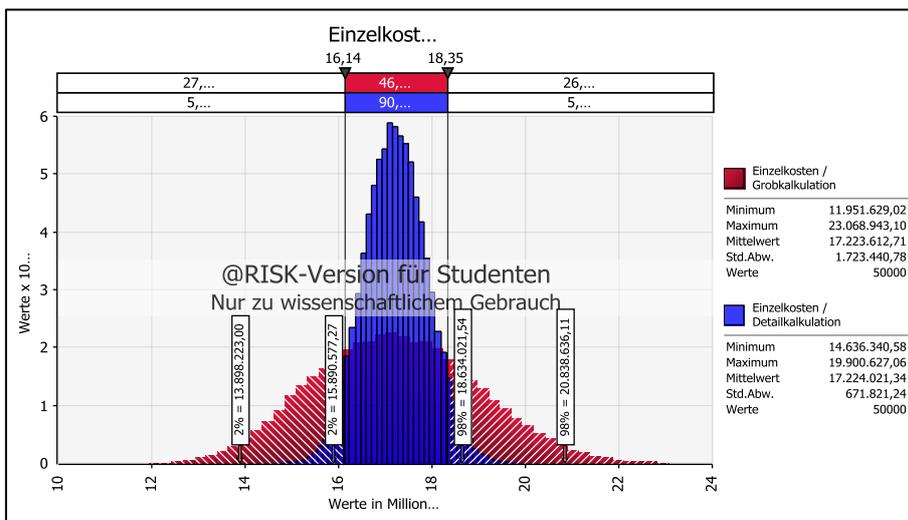


Bild 6.33 Gegenüberstellung – Grob- und Detailkalkulation – gleiche Bandbreiten (+/- 20%) – Histogramm 2 – Versuch-Nr.: 3/1

In der nachstehenden Tabelle (Tabelle 6.8) werden die einzelnen Bandbreiten bezogen auf den Erwartungswert der einzelnen Größen für die Detail- und Grobkalkulation gegenübergestellt. Die Werte werden aus den Simulationen übernommen.

Eingangsgrößen	Detailkalkulation												Grobkalkulation			
	Bandbreite (+/-) bezogen auf den Erwartungswert															
	Schalung				Bewehrung				Beton				Beton			
	Eingangsgröße [-]	MIN [%]	MAX [%]	5% 95%	Eingangsgröße [-]	MIN [%]	MAX [%]	5% 95%	Eingangsgröße [-]	MIN [%]	MAX [%]	5% 95%	Eingangsgröße [-]	MIN [%]	MAX [%]	5% 95%
Mengen	Bodenplatte	Sf.BP.J				BW.BP.J				BT.BP.J						
	Stützen	Sf.ST.J				BW.ST.J				BT.ST.J						
	Wände	Sf.WD.J				BW.WD.J				BT.WD.J						
	Decken	Sf.DJ				BW.DJ				BT.DJ						
	Balken, Träger	Sf.BJ	20,0%	13,7%		BW.BJ	20,0%	13,7%		BT.BJ	20,0%	13,7%				
	Treppen	Sf.TR.J				BW.TR.J				BT.TR.J						
	Brüstungen	Sf.BR.J				BW.BR.J				BT.BR.J						
	Sonstige	Sf.SO.J				BW.SO.J				BT.SO.J						
	Gesamt	Sf.BWK	16,5%	9,3%		BW.BWK	15,8%	7,0%		BT.BWK	16,3%	7,4%		BT.BWK	20,0%	13,7%
	Aufwandswerte	Bodenplatte	AWs.BP.J				AWs.BP.J				AWs.BP.J					
Stützen		AWs.ST.J				AWs.ST.J				AWs.ST.J						
Wände		AWs.WD.J				AWs.WD.J				AWs.WD.J						
Decken		AWs.DJ				AWs.DJ				AWs.DJ						
Balken, Träger		AWs.BJ	20,0%	13,7%		AWs.BJ	20,0%	13,7%		AWs.BJ	20,0%	13,7%				
Treppen		AWs.TR.J				AWs.TR.J				AWs.TR.J						
Brüstungen		AWs.BR.J				AWs.BR.J				AWs.BR.J						
Sonstige		AWs.SO.J				AWs.SO.J				AWs.SO.J						
Mittlere-AW		AWs.MW	18,4%	10,2%		AWs.MW	16,3%	7,4%		AWs.MW	16,4%	7,8%		-	-	-
Gesamt-AW						AWs.BWK	28,3%	12,0%		AWs.BWK	28,3%	12,0%		AWs.BWK	20,0%	13,7%
Geräte- und Materialkosten	Bodenplatte	Ks.BP.J				Ks.BP.J				Ks.BP.J						
	Stützen	Ks.ST.J				Ks.ST.J				Ks.ST.J						
	Wände	Ks.WD.J				Ks.WD.J				Ks.WD.J						
	Decken	Ks.DJ				Ks.DJ				Ks.DJ						
	Balken, Träger	Ks.BJ	20,0%	13,7%		Ks.BJ	20,0%	13,7%		Ks.BJ	20,0%	13,7%				
	Treppen	Ks.TR.J				Ks.TR.J				Ks.TR.J						
	Brüstungen	Ks.BR.J				Ks.BR.J				Ks.BR.J						
	Sonstige	Ks.SO.J				Ks.SO.J				Ks.SO.J						
	Mittlere-GuMk	Ks.MW	16,3%	8,8%		Ks.MW	15,5%	6,9%		Ks.MW	13,4%	6,2%		-	-	-
	GuMk / m³					Ks.BWK	14,5%	6,0%		Ks.BWK	14,5%	6,0%		Ks.BWK	20,0%	13,7%
Einzelkosten					Ks.BEK	14,9%	6,4%		Ks.BEK	14,9%	6,4%		Ks.BEK	33,6%	16,5%	

Tabelle 6.8 Gegenüberstellung – Detail- und Grobkalkulation – Versuch-Nr.: 3/1

6.2.3.2 Erhöhung der Bandbreite bei der Detailkalkulation

Beim zweiten Versuch (Versuch Nr.: 3/2) werden Simulationen mit unterschiedlichen Bandbreiten der Eingangsgrößen für die Detailkalkulation durchgeführt. Es wird untersucht, wie groß die Abweichung der Detailbetrachtung sein darf, um die Verteilung der Grobkalkulation nicht zu überschreiten.

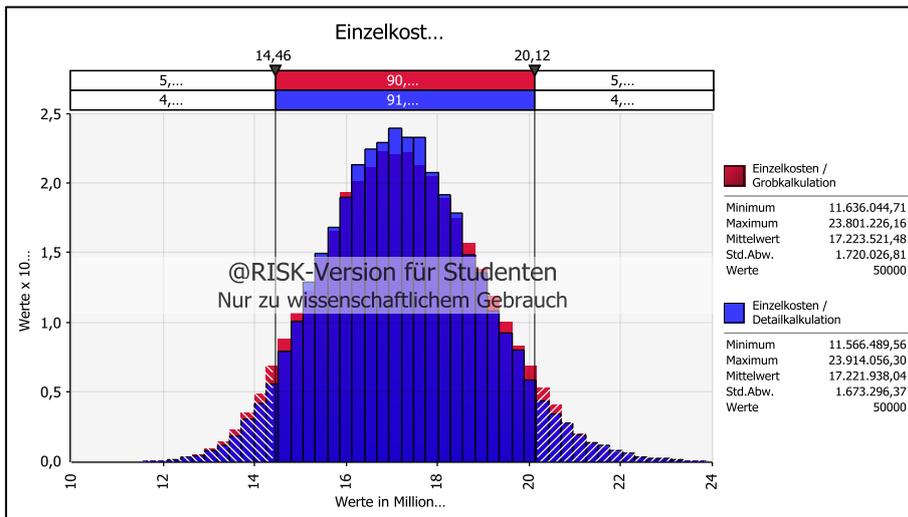


Bild 6.34 Gegenüberstellung – Grob- und Detailkalkulation – unterschiedliche Bandbreiten – Histogramm – Versuch-Nr.: 3/2

Das Histogramm in Bild 6.34 zeigt die Verteilungen der Einzelkosten für beide Detailierungsgrade der Kalkulation. Es ist erkennbar, dass beide Verteilungen annähernd gleich verlaufen. Dabei wurden für alle Eingangsgrößen der Detailkalkulation Dreiecksverteilungen mit einer Bandbreite von $\pm 50\%$ des erwarteten Werts definiert. Die Bandbreiten für die Grobkalkulation wurden wie im ersten Versuch auf $\pm 20\%$ belassen.

6.2.3.3 Zusammenfassung – Versuchsreihe 3

Mit den obigen Vergleichen der zwei Kalkulationen konnte die Auswirkung auf die Streuung der Ergebnisse – begründet durch die Prognoseschärfe der Eingangsdaten – gezeigt werden. Wann welcher Detailierungsgrad der Kalkulation zur Anwendung kommen soll, ist vor allem von der Projektphase bzw. von der Kostenphase abhängig. Die Grobkalkulation eignet sich aufgrund des geringeren Informationsbedarfs für Modellierungen in frühen Phasen des Projektes. Mit zunehmender Bearbeitungstiefe sollten die Eingangsgrößen aktualisiert und der neue Informationsgehalt in das Berechnungsmodell aufgenommen werden, um statistisch sichere Prognosen zu treffen. Welche Prognoseschärfen in den jeweiligen Projektstadien erzielt werden sollen, wurde in Kapitel 4.2.2 näher behandelt. In nachfolgender Abbildung (Bild 6.35) wird der in der

Literatur verbreitete Kostentrichter mit den Ergebnissen der Grob- und Detailkalkulation aus den Simulationen des Unterkapitels 6.2.3.1 gezeigt. Dabei wurden jeweils zwei Bereiche der Wahrscheinlichkeitsverteilung mit unterschiedlichen statistischen Sicherheiten gewählt. Bei der statistischen Sicherheit von 90 % wurden die Ergebnisse vom 5%- bis zum 95%-Quantil berücksichtigt. Mathematisch bedeutet das, dass nur 10 % der ermittelten Werte diese Bandbreite über- oder unterschreiten. Die zweite Schwankungsbreite wurde für die Darstellung mit einer statistischen Sicherheit von 96 % (2%-Quantil bis zum 98%-Quantil) angenommen. In diesem Fall überschreiten jeweils nur 2 % der Ergebnisse die gewählte Ober- und Untergrenze der Bandbreite.

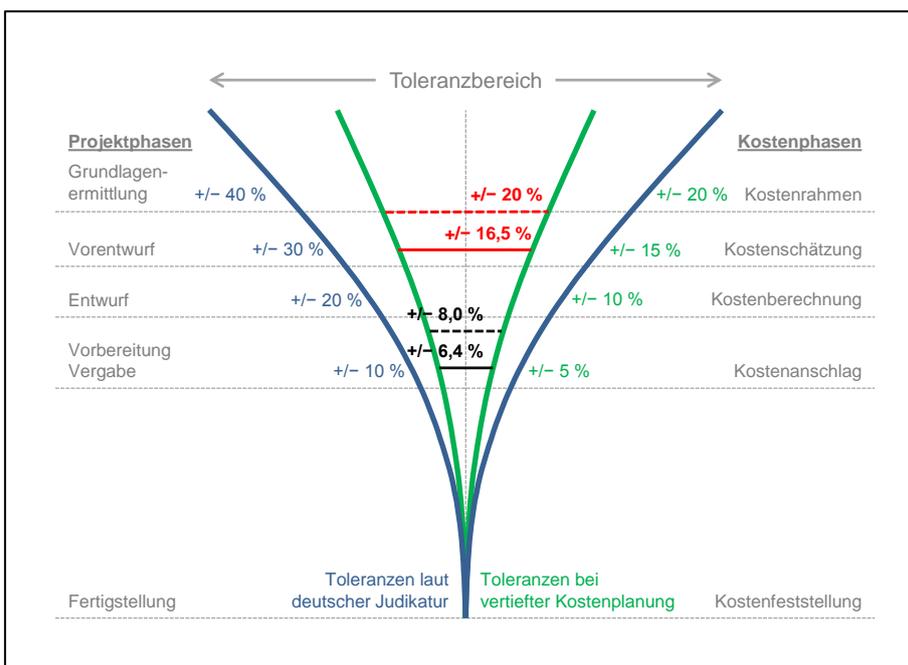


Bild 6.35 Kostentoleranzen [in Anlehnung an Lechner²⁷⁷]

Bei der Grobkalkulation (rote Markierungen) liegen 90 % der Werte innerhalb einer Bandbreite von +/- 16,5 % des Mittelwerts. Werden 96 % der Ergebnisse betrachtet, erhöht sich der Bereich auf +/- 20 %. Das bedeutet, dass bei jedem 25. Projekt die festgestellten Kosten nicht innerhalb dieser +/- 20 % liegen.

Die prognostizierten Kosten der Detailbetrachtung (schwarze Markierungen) liegen mit einer statistischen Sicherheit von 90 % innerhalb einer Bandbreite von +/- 6,4 %. Mit einer 96%igen Sicherheit fallen diese in einer Bandbreite von +/- 8,0 % der erwarteten Einzelkosten aus.

²⁷⁷ LECHNER, H.: Kostenplanung, Normen, Regelwerke. S.16.

Aus der obigen Abbildung ist ersichtlich, dass mit den angenommenen Schwankungen der Eingangsgrößen von $\pm 20\%$ die Grobkalkulation bei einer vertieften Kostenplanung für die Feststellung des Kostenrahmens sowie zur Kostenschätzung herangezogen werden kann.

Von der Entwurfsphase bis zur Fertigstellung des Projektes sollte zur fortlaufenden Kostenberechnung die Detailbetrachtung herangezogen werden. Dabei können mit steigender Projekttiefe auch die Bandbreiten der Eingangsdaten angepasst werden. Welche Bandbreiten bei der Modellierung und welche statistischen Sicherheiten bei der Auswertung der Simulationsergebnisse herangezogen werden, hängt von der Erfahrung und der individuellen Risikobereitschaft des Anwenders ab.

6.2.4 Gegenüberstellung der Ermittlungsmöglichkeiten des Gesamtaufwandwertes

Folgend sollen drei verschiedene Ermittlungsmöglichkeiten des Gesamtaufwandwertes durchgeführt und ein Vergleich der Ergebnisse angestellt werden. Die Berechnungsmöglichkeiten unterscheiden sich nur im Detaillierungsgrad der Eingangsparameter.

Der Gesamtaufwandwert wird bei allen Berechnung nach Glg. (4-6) ermittelt, wobei bei der ersten für die Eingangsgrößen der wahrscheinlichste Werte aus der deterministischen Berechnung übernommen und die Mindest- und Höchstwerte in einer Bandbreite von +/- 20 % von diesem angesetzt werden. Die Eingangsgrößen sind in Tabelle 6.9 angeführt.

Eingangsgröße		MIN	ERW	MAX	[EH]	
		[A]	[B]	[C]	[D]	
[1]	Aufwandswert - Schalen	AW _{S,MW}	0,99	1,24	1,49	[Std/m ²]
[2]	Aufwandswert - Bewehren	AW _{BW,MW}	7,75	9,69	11,63	[Std/t]
[3]	Aufwandswert - Betonieren	AW _{BT,MW}	0,49	0,62	0,74	[Std/m ³]
[4]	Schalungsgrad	s _{g,bwk}	2,66	3,32	3,98	[m ² /m ³]
[5]	Bewehrungsgrad	bw _{g,bwk}	103,09	128,86	154,63	[kg/m ³]

Tabelle 6.9 Eingangsgrößen – Gesamtaufwandswert – Versuch Nr.: 4/1

Bei der zweiten Berechnung werden die mittleren Aufwandswerte mit den Aufwandswerten der einzelnen Bauteile und deren Mengenvordersätze bestimmt und so der Gesamtaufwandswert ermittelt. Dabei werden für die einzelnen Aufwandswerte und Mengen Dreiecksverteilungen mit einer Bandbreite von +/- 20 % des Erwartungswerts (Tabelle 6.1 und Tabelle 6.3) definiert. Der Schalungs- und der Bewehrungsgrad werden wie oben mit den Angaben aus Tabelle 6.9 bestimmt, also auch als Dreiecksverteilungen.

Die dritte Berechnung unterscheidet sich von der zweiten dadurch, dass hier der Schalungs- und der Bewehrungsgrad nicht als Dreiecksverteilung in der Berechnung übernommen, sondern als Quotient der einzelnen verteilten Mengenvordersätze simuliert wird. In der nachfolgenden Abbildung (Bild 6.36) werden die drei Berechnungsmöglichkeiten nochmals zusammenfassend dargestellt.

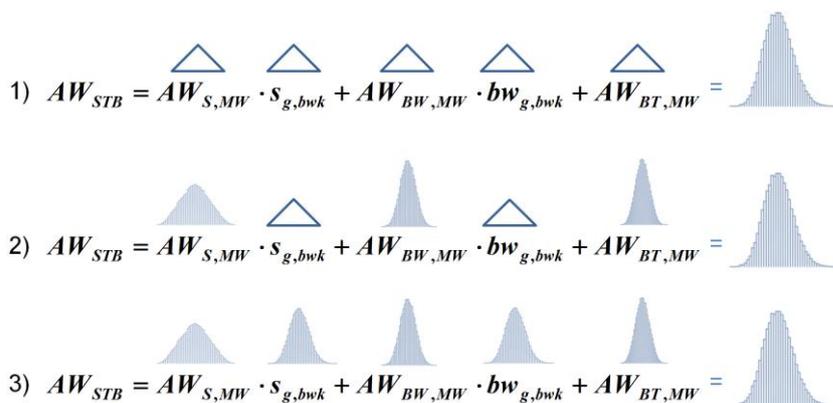


Bild 6.36 Ermittlungsmöglichkeiten – Gesamtaufwandswert

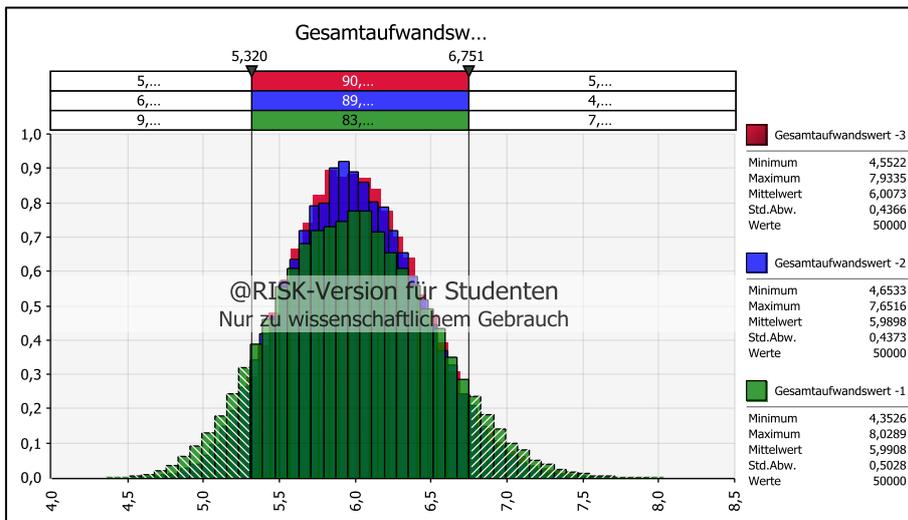


Bild 6.37 Gegenüberstellung – Ermittlungsmöglichkeiten – Gesamtaufwandswert – Versuch-Nr.: 4/1

Die Ergebnisse der Berechnungen werden einander in Bild 6.37 als Verteilungsdichtefunktionen gegenübergestellt, wobei auf der Abszisse der Gesamtaufwandswert in Std/m^3 und auf der Ordinate die Häufigkeiten aufgetragen sind. Es ist erkennbar, dass sich die drei Verteilungen nicht stark unterscheiden. Vergleicht man die Standardabweichungen der drei Ergebnisse, kann festgestellt werden, dass diese bei der dritten Berechnung, bei welcher alle Eingangsparameter als Verteilung definiert wurden, ganz knapp unter der Standardabweichung der zweiten liegt und somit am geringsten ausfällt. Betrachtet man den begrenzten Bereich (5%-Quantil – 95%-Quantil der roten Verteilung), erkennt man, dass dieser 90 % der Ergebnisse der dritten Berechnung, 89,5 % der zweiten und 83,9 % der ersten Berechnung abdecken.

6.2.4.1 Zusammenfassung – Versuchsreihe 4

Die Gegenüberstellung der drei Ermittlungsarten des Gesamtaufwandswertes hat nur geringe Abweichungen in den Ergebnissen gezeigt. Jedoch sollte bei der Detailbetrachtung der Gesamtaufwandswert nach der dritten Berechnungsart ermittelt werden, um zusätzliche Abweichungen bei den Simulationen auszugrenzen.

6.3 Einfluss der Korrelationen

In diesem Kapitel werden Simulationen zur Untersuchung der Auswirkung der Berücksichtigung von Korrelationen zwischen den Eingangsgrößen am Beispiel des probabilistischen Modells zur Berechnung der Einzelkosten für die Stahlbetonarbeiten des Musiktheaters in Linz durchgeführt und dargestellt.

Als Grundlage für die Simulationen werden die Eingangsdaten aus dem vorherigen Kapitel (Kapitel 6.2 – Einfluss der Bandbreiten) mit einer Bandbreite von +/- 20 % des Erwartungswerts übernommen. Die Simulationen werden jeweils mit 50.000 Iterationen und der Latin Hypercube Probenerhebungsmethode durchgeführt. Die Eingangsgrößen werden bei allen Versuchen als symmetrische Dreiecksverteilungen modelliert.

6.3.1 Berücksichtigung der Korrelationen mit @Risk

Um die Wechselbeziehungen der Eingangsparameter bei den Simulationen zu berücksichtigen, müssen diese anhand von Matrizen im Softwareprogramm definiert werden. Die Korrelationskoeffizienten können dabei direkt in der Matrix eingegeben oder auch durch die grafische Anpassung der Punktwolken festgelegt werden. In der nachstehenden Abbildung sind die zwei Eingabemöglichkeiten für das Programm @Risk aufgezeigt. Die Matrizen in Bild 6.38 zeigen illustrativ die Definitionsmöglichkeiten der Abhängigkeitskoeffizienten von drei Eingabeparametern.

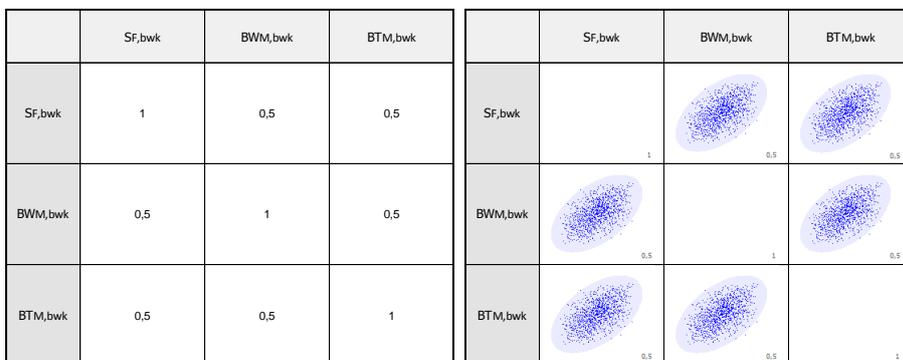


Bild 6.38 Korrelationsmatrizen – @Risk Darstellung mit Zahlenwerten (links); Graphische Darstellung (rechts)²⁷⁸

²⁷⁸ Abbildungen aus dem Programm @Risk der Palisade Corporation

Die Korrelationskoeffizienten müssen bei der Darstellung mit Zahlenwerten mit einer Zahl zwischen -1 und +1 festgelegt werden. Mit diesen Werten wird die Beziehungsstärke der Parameter definiert. Des Weiteren ist zu beachten, dass die Korrelationsmatrix einer konsistenten Matrix entsprechen muss. Das Softwareprogramm @Risk überprüft automatisch bei jeder Eingabe, ob die Voraussetzungen der Matrix erfüllt sind und bietet bei Nichterfüllung eine automatische Anpassung an. Durch diesen Vorgang können aber die angesetzten Korrelationsstärken stark abgeändert werden, was zu einer Verfälschung der Beziehungen und Ergebnisse führen kann. Um das Modell mit den angenommenen Abhängigkeitsstärken dennoch zu simulieren, muss eine Anpassungsfaktoren-Matrix erstellt werden, mit welcher dann die angesetzten Korrelationen bei der automatischen Anpassung fixiert werden können. Dabei sind als Anpassungsparameter Werte zwischen 1 und 100, welche die Stärke der Beibehaltung der angesetzten Korrelationswerte widerspiegeln, einzusetzen; dann ist die Korrelationsmatrix mittels des Programms automatisch anzupassen.

Eine Matrix ist dann konsistent, wenn ihr Eigenwert ≥ 0 ist.

	A	B	C	D	E	F
A						
B	0,8					
C	0,8					
D	0,8					
E	0,8					
F	0,8					

	A	B	C	D	E	F
A	1					
B	0,44721	1				
C	0,44721	0	1			
D	0,44721	0	0	1		
E	0,44721	0	0	0	1	
F	0,44721	0	0	0	0	1

Tabelle 6.10 Korrelationsmatrix – Ausgangsmatrix (links); automatisch angepasste Matrix (rechts)

	A	B	C	D	E	F
A						
B	100					
C	100					
D	100					
E	100					
F	100					

	A	B	C	D	E	F
A	1					
B	0,79978	1				
C	0,79978	0,54963	1			
D	0,79978	0,54955	0,54952	1		
E	0,79978	0,54956	0,54954	0,54958	1	
F	0,79978	0,54953	0,54954	0,54958	0,54959	1

Tabelle 6.11 Anpassungsfaktoren-Matrix (links); neue Korrelationsmatrix (rechts)

In Tabelle 6.10 links ist beispielhaft eine Korrelationsmatrix mit den angenommenen Koeffizienten abgebildet. Da diese Matrix inkonsistent ist, muss sie angepasst werden. Im gleichen Bild rechts ist die von @Risk automatisch angepasste Korrelationsmatrix dargestellt; es ist ersichtlich, dass die Werte stark verändert wurden. Eine Verwendung dieser Matrix würde nicht die ursprünglich gewählte Korrelationsmatrix wiedergeben. Wie oben beschrieben, lässt sich das Problem durch die Anpassungsfaktoren-Matrix umgehen. Solch eine Matrix ist in Tabelle 6.11 links abgebildet. Wie erkennbar, sind die Anpassungsfaktoren mit dem Höchstwert definiert. Das bedeutet, dass @Risk die neue Matrix so anzupasst, dass die angesetzten Korrelationen so weit möglich gleich bleiben. Die neue, unter Berücksichtigung der Anpassungsmatrix erstellte Korrelationsmatrix ist rechts in Tabelle 6.11 abgebildet.

6.3.2 Korrelationen zwischen den Eingangsparametern im Zuge der Kostenermittlung der Stahlbetonarbeiten

Bevor die Untersuchungen durchgeführt werden können, ist festzustellen, zwischen welchen Größen Abhängigkeiten bestehen und mit welchen Stärken diese ausfallen können. Weiteres ist zu klären, ob die Korrelationen negativ oder positiv sind und ob die Zusammenhänge zwischen zwei Parametern noch von weiteren Größen beeinflusst werden bzw. ob ein Parameter auch noch Einfluss auf andere Größen ausübt. Aus der großen Anzahl der Möglichkeiten, Korrelationen zu kombinieren, muss versucht werden, das Kalkulationsmodell so realitätsnah wie möglich zu modellieren, um ein aussagekräftiges Ergebnis zu erzielen.

Im Folgenden werden mögliche Beziehungen zwischen den Parametern des Gesamtaufwandswertes sowie zwischen den Eingangsgrößen der Grobkalkulation angeführt und die Überlegungen, welche zu diesen geführt haben, beschrieben.

Der Gesamtaufwandswert für die Stahlbetonarbeiten berechnet sich nach Glg. (4-6) und ist somit von folgenden Eingangsgrößen abhängig:

- Aufwandswert – Schalen $AW_{S,MW}$
- Aufwandswert – Bewehren $AW_{BW,MW}$
- Aufwandswert – Betonieren $AW_{BT,MW}$
- Schalungsgrad $S_{g,bwk}$
- Bewehrungsgrad $bw_{g,bwk}$

In nachfolgender Tabelle (Tabelle 6.12) ist die Korrelationsmatrix mit den angenommenen Beziehungen zwischen den Eingangsgrößen aufgezeigt. Es wird von positiven Korrelationen ausgegangen, wobei nicht gesagt werden kann, wie groß diese sind. Für die Untersuchung werden Korrelationen von -1 bis $+1$ angesetzt. Die Überlegungen und Annahmen der angenommenen Beziehungen werden folgend beschrieben.

	$AW_{S,MW}$	$AW_{BW,MW}$	$AW_{BT,MW}$	$S_{g,bwk}$	$bw_{g,bwk}$
$AW_{S,MW}$		K		K	
$AW_{BW,MW}$	K				K
$AW_{BT,MW}$				K	
$S_{g,bwk}$	K		K		
$bw_{g,bwk}$		K			

Tabelle 6.12 Korrelationsmatrix – Gesamtaufwandswert

Dass der Schalungsgrad Einfluss auf den Aufwandswert für die Schalarbeiten und das Betonieren hat, ist dadurch begründet, da dieser ein Indiz für die Feingliedrigkeit des Bauwerkes bzw. für dessen Bauteile ist. Mit der Feingliedrigkeit steht oft auch die Kompliziertheit eines Bauwerkes in Verbindung. Als Kompliziertheit bzw. Erschwernis eines Bauwerkes kann die Grundriss- und Aufrissgestaltung, aber auch die Anzahl der Wieder-

holungen gleicher Bauteile sowie die Bauweise gesehen werden. Je komplizierter ein Betonbauteil ist, desto mehr Aufwand fällt für das Schalen und Bewehren an. Dies stärkt wiederum die Annahme der Wechselbeziehung zwischen den Aufwandswerten für die Schal- und Bewehrungsarbeiten. Des Weiteren wird angenommen, dass der Aufwandswert für das Bewehren auch vom Bewehrungsgrad beeinflusst wird. Mit der Zunahme des Bewehrungsgrades ist auch mit einer Erschwerung bei den Flechtarbeiten bzw. mit einem Anstieg des Zeitaufwandes zu rechnen.

Die Kompliziertheit grenzt sich von der Komplexität dadurch ab, da die Komplexität durch „das Vorhandensein einer zeitlichen Komponente - der Dynamik.“²⁷⁹ gekennzeichnet wird.

Bei der Kalkulation der Einzelkosten der Stahlbetonarbeiten, welche nach Glg. (4-1) berechnet werden, beeinflussen folgende Eingangsparmeter das Ergebnis:

- | | |
|---|---------------|
| ▪ Betonmenge | $BT_{M,bwk}$ |
| ▪ Gesamtaufwandswert der Stahlbetonarbeiten | $AW_{STB,MW}$ |
| ▪ Mittelwert für den Mittellohn | $ML_{STB,MW}$ |
| ▪ Mittlere Geräte- und Materialkosten der Schalung | $k_{S,MW}$ |
| ▪ Schalungsgrad | $S_{g,bwk}$ |
| ▪ Mittlere Geräte- und Materialkosten der Bewehrung | $k_{BW,MW}$ |
| ▪ Bewehrungsgrad | $bw_{g,bwk}$ |
| ▪ Mittlere Geräte- und Materialkosten für den Beton | $k_{BT,MW}$ |

Der Gesamtaufwandswert der Stahlbetonarbeiten wird durch die Einbeziehung der Aufwandswerte für das Schalen, Bewehren und Betonieren ersetzt. Somit wird die Korrelationsmatrix der Grobkalkulation mit den folgenden Parametern erweitert:

- | | |
|-----------------------------|--------------|
| ▪ Aufwandswert – Schalen | $AW_{S,MW}$ |
| ▪ Aufwandswert – Bewehren | $AW_{BW,MW}$ |
| ▪ Aufwandswert – Betonieren | $AW_{BT,MW}$ |

Die Kalkulationsgleichung sieht somit folgendermaßen aus:

$$K_{STB,HK} = BT_{M,bwk} * [(AW_{S,MW} * S_{g,bwk} + AW_{BW,MW} * bw_{g,bwk} + AW_{BT,MW}) * ML_{STB,MW} + (k_{S,MW} * S_{g,bwk} + k_{BW,MW} * bw_{g,bwk} + k_{BT,MW})] \quad (6-1)$$

Die Matrix mit den, für die Untersuchungen angesetzten Korrelationen ist im Tabelle 6.13 dargestellt.

²⁷⁹ WERKL, M.: Risiko- und Nutzenverhalten in der Bauwirtschaft. S. 20.

	BT _{M,bwk}	S _{g,bwk}	bw _{g,bwk}	AW _{S,MW}	AW _{BW,MW}	AW _{BT,MW}	ks _{MW}	k _{BW,MW}	k _{BT,MW}
BT _{M,bwk}									
S _{g,bwk}				K		K	K		
bw _{g,bwk}					K				
AW _{S,MW}		K			K				
AW _{BW,MW}			K	K					
AW _{BT,MW}		K							
ks _{MW}		K							
k _{BW,MW}									
k _{BT,MW}									

Tabelle 6.13 Korrelationsmatrix – Kalkulation der Einzelkosten

Für die grün hinterlegten Beziehungen gelten die oben schon erläuterten Überlegungen und Annahmen der Korrelationsmatrix aus Tabelle 6.12. Neben diesen Abhängigkeiten wurde nur eine weitere Wechselbeziehung angeführt – und zwar zwischen dem Schalungsgrad und den Kostensätzen der Schalung. Die Abhängigkeit zwischen den Geräte- und Materialkosten der Schalung und dem Schalungsgrad lässt sich dadurch begründen, dass die Feingliedrigkeit der Bauteile mit dem Schalungsgrad in Verbindung steht. Je feingliedriger das Objekt ist, desto höher können der Anteil der Passflächen oder der Prozentanteil des Verschnittes und somit auch die Kostensätze der Schalung ausfallen.

Andere und weitere Beziehungen der Eingangsvariablen sind je nach Betrachtungsweise des Systems möglich, jedoch wurden im Zuge dieser Untersuchung nur die wesentlichsten Beziehungen berücksichtigt und in die Simulationen übernommen.

Mit den oben beschriebenen und angesetzten Korrelationen werden in nachfolgenden Kapiteln Untersuchungen zur Verdeutlichung des Einflusses der Berücksichtigung der Abhängigkeiten durchgeführt.

6.3.3 Auswirkungen der Korrelationen bei der Berechnung des Gesamtaufwandwertes der Stahlbetonarbeiten

In diesem Unterkapitel soll die Auswirkung der Korrelationen zwischen den Eingangsparametern der Berechnung des Gesamtaufwandwertes anhand mehrerer Versuche untersucht und veranschaulicht werden.

Die verwendeten Eingangsgrößen sowie die Werte, mit welchen die Dreiecksverteilungen definiert werden, sind in nachstehender Tabelle (Tabelle 6.14) dargestellt.

Eingangsgröße	MIN	ERW	MAX	[EH]	
	[A]	[B]	[C]	[D]	[E]
[1] Aufwandswert - Schalen	AW _{S,MW}	0,99	1,24	1,49	[Std/m ²]
[2] Aufwandswert - Bewehren	AW _{BW,MW}	7,75	9,69	11,63	[Std/t]
[3] Aufwandswert - Betonieren	AW _{BT,MW}	0,49	0,62	0,74	[Std/m ³]
[4] Schalungsgrad	S _{g,bwk}	2,66	3,32	3,98	[m ² /m ³]
[5] Bewehrungsgrad	bw _{g,bwk}	103,09	128,86	154,63	[kg/m ³]

Tabelle 6.14 Eingangsgrößen – Gesamtaufwandswert – Versuchs-Nr.: 5/1

6.3.3.1 Variation der Korrelationskoeffizienten

Um den Einfluss der Korrelationen auf den Gesamtaufwandswert aufzuzeigen, werden im Folgenden Simulationen mit unterschiedlichen Abhängigkeitsstärken durchgeführt. Dabei werden für die Koeffizienten Werte von -1 bis +1 in 0,10 Schritten modelliert. Als Korrelationsmatrix wird die Matrix aus Tabelle 6.12 verwendet. Die Anpassungsfaktorenmatrix für diese Untersuchung ist in Tabelle 6.15 dargestellt. Alle Faktoren wurden mit dem Wert 100 definiert.

	AW _{S,MW}	AW _{BW,MW}	AW _{BT,MW}	S _{g,bwk}	bw _{g,bwk}
AW _{S,MW}					
AW _{BW,MW}	100				
AW _{BT,MW}					
S _{g,bwk}	100		100		
bw _{g,bwk}		100			

Tabelle 6.15 Anpassungsfaktorenmatrix – Gesamtaufwandswert

Da bei der Berechnung des Aufwandwertes nur Multiplikationen und Additionen vorkommen, ist nach der Erkenntnis von Kummer²⁸⁰ mit der positiven Erhöhung des Koeffizienten (von -1 nach +1) auch ein Anstieg der Streuung der Ergebnisse zu erwarten.

Das Ergebnis des Versuches ist zusammenfassend in Bild 6.39 dargestellt. Auf der Abszisse sind die Werte der Korrelation und auf der Ordinate der Gesamtaufwandswert in Std/m³ angeführt.

²⁸⁰ Siehe Kapitel 5.7 Korrelationen

Es ist deutlich erkennbar, dass die Abstände zwischen den Kurven des Mittelwertes, von dem die Standardabweichung abgezogen („MW–Std.Abw.“) wird und des Mittelwertes, zu dem die Standardabweichung hinzugezählt („MW+ Std.Abw.“) wird sowie zwischen der 5%- und der 95%-Kurve mit der Erhöhung der positiven Abhängigkeitsstärken zu nehmen. Dies lässt sich dadurch erklären, dass eine positive Korrelation bei der Erhöhung bzw. Senkung einer Größe automatisch die Erhöhung bzw. Senkung der anderen Größen, welche in Abhängigkeit zu dieser gesetzt wurde, impliziert. Dadurch wird die Chance höher, dass die Summen und Produkte die Mindest- und Höchstwerte erreichen. Die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion wird bei einer positiven Korrelation also flacher ausfallen als bei einer negativen. Eine Gegenüberstellung von Verteilungsfunktionen mit unterschiedlichen Abhängigkeitsstärken wird in der Abbildung Bild 6.41 gezeigt.

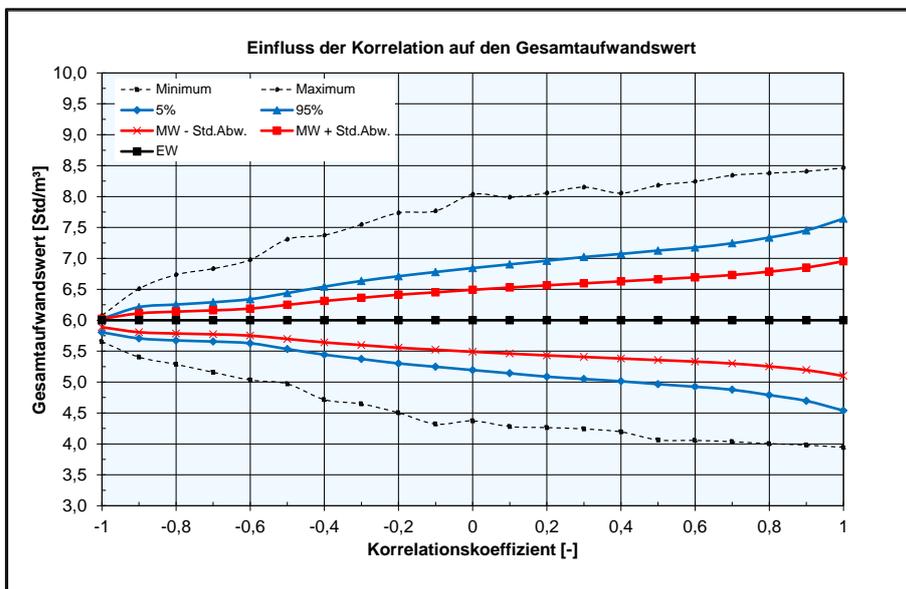


Bild 6.39 Einfluss der Korrelationen auf den Gesamtaufwandwert

Im Diagramm (Bild 6.40) ist nochmals der ansteigende Verlauf der Standardabweichung in Prozent bezogen auf den Mittelwert des Gesamtaufwandwertes in Abhängigkeit des gewählten Korrelationskoeffizienten aufgetragen. Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass es sich nicht um einen regelmäßigen Verlauf handelt. Vor allem im negativen Randbereich (–1 bis –0,6) kommt es zu einer stärkeren Änderung des Verlaufes.

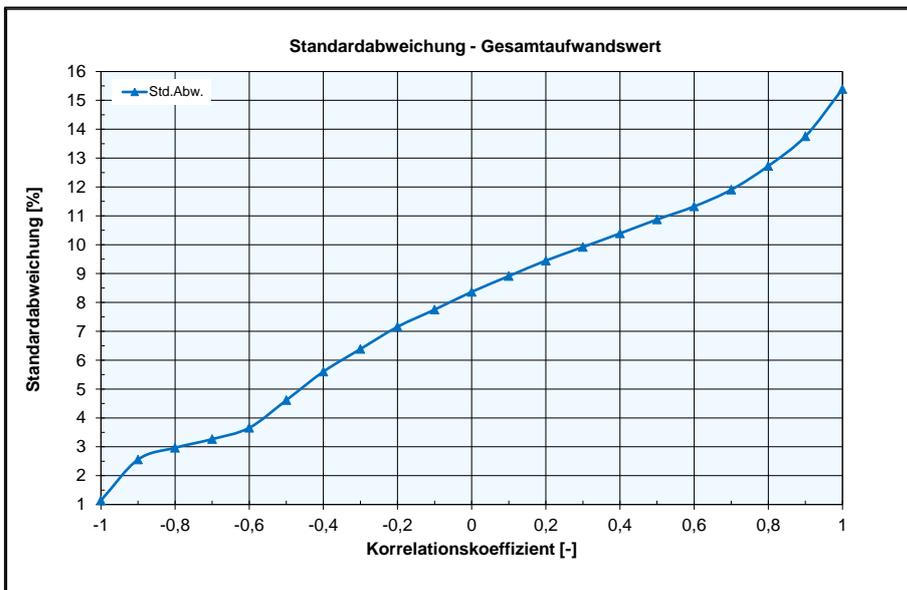


Bild 6.40 Einfluss der Korrelationen auf den Gesamtaufwandswert – Standardabweichung

In Bild 6.41 sind die Wahrscheinlichkeitsfunktionen für drei unterschiedliche Simulationen des Gesamtaufwandswertes dargestellt. Dabei wurde der Gesamtaufwandswert mit den Korrelationskoeffizienten $-0,9$ (rot), $0,0$ (blau) und $+0,9$ (grün) simuliert.

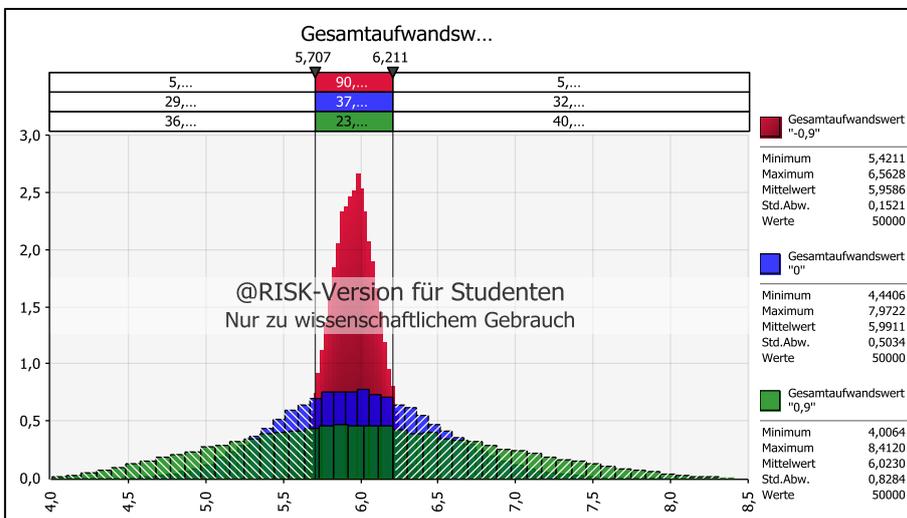


Bild 6.41 Gegenüberstellung – Gesamtaufwandswert – Histogramme – Versuch 5/1

Es ist ersichtlich, dass das Histogramm mit positiven Korrelationen flacher ausfällt als die, bei der keine Korrelationen berücksichtigt werden. Bei der Simulation mit negativen Korrelationskoeffizienten fallen die Ergebnisse mit der geringsten Streuung zum Erwartungswert aus. Dies begründet auch die spitze Form des Histogramms.

In der nachfolgenden Abbildung (Bild 6.42) sind die Verteilungsfunktionen (kumulierte Häufigkeit) der drei Simulationen abgebildet. Bei dieser Darstellung können die Verteilungen der Werte besser veranschaulicht werden. Je steiler die Funktion verläuft, desto geringer ist die Streuung der Werte.

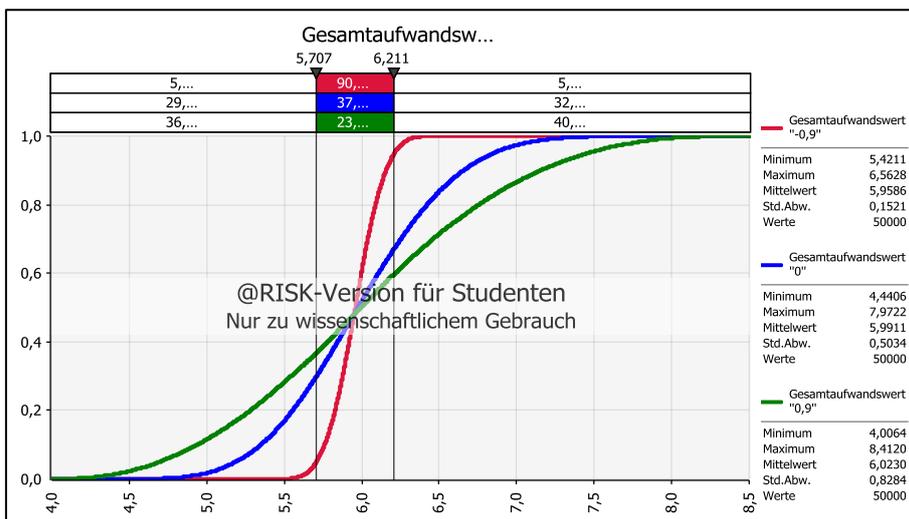


Bild 6.42 Gegenüberstellung – Gesamtaufwandswert – Verteilungsfunktionen – Versuch-Nr.: 5/1

6.3.3.2 Berechnung des Gesamtaufwandwertes

Abschließend zur Untersuchung des Einflusses der Korrelationen auf den Gesamtaufwandswert werden für die Korrelationskoeffizienten mögliche Werte eingesetzt und das Ergebnis wird mit den Verläufen aus dem vorherigen Kapitel verglichen. Die angenommenen Abhängigkeitsstärken sind in der Tabelle 6.16 angeführt. Die durch @Risk angepasste Matrix ist in Tabelle 6.17 dargestellt.

	AW _{S,M,W}	AW _{BW,M,W}	AW _{BT,M,W}	S _{g,bwk}	bw _{g,bwk}
AW _{S,M,W}					
AW _{BW,M,W}	0,8				
AW _{BT,M,W}					
S _{g,bwk}	0,8		0,3		
bw _{g,bwk}		0,5			

Tabelle 6.16 Korrelationsmatrix – Berechnung des Gesamtaufwandwertes

	AW _{S,M,W}	AW _{BW,M,W}	AW _{BT,M,W}	S _{g,bwk}	bw _{g,bwk}
AW _{S,M,W}	1,000				
AW _{BW,M,W}	0,800	1,000			
AW _{BT,M,W}	0,059	-0,045	1,000		
S _{g,bwk}	0,800	0,312	0,300	1,000	
bw _{g,bwk}	0,144	0,500	0,014	-0,082	1,000

Tabelle 6.17 Angepasste Korrelationsmatrix – Gesamtaufwandswert

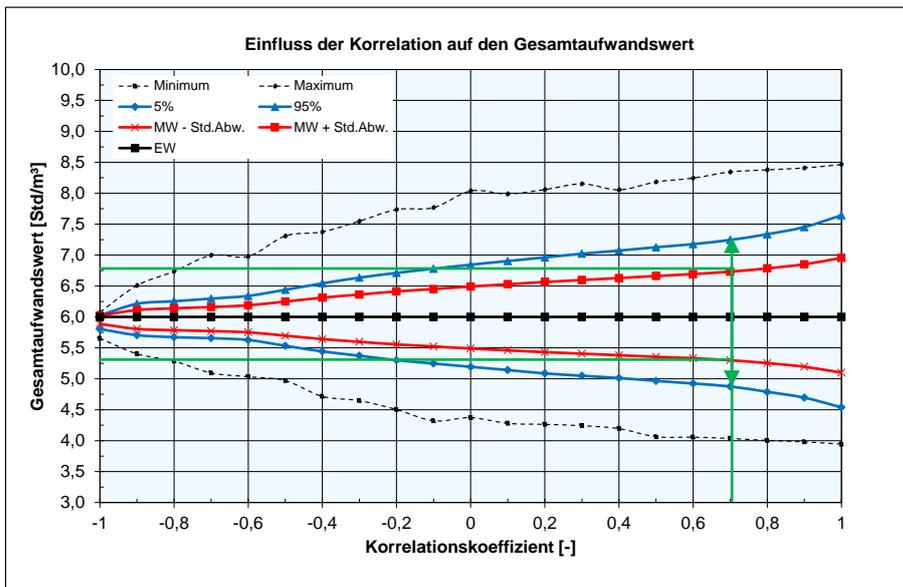


Bild 6.44 Einfluss der Korrelationen auf den Gesamtaufwandwert

Mit dem ermittelten Koeffizienten kann die Lage der Verteilung im Diagramm in Bild 6.44 bestimmt werden. So wird ersichtlich, wie weit sich die Abweichung der Berechnung erhöhen könnte, wenn die Korrelationen falsch angenommen wurden. Bei diesem Beispiel liegen 14 % der Werte über und 86 % unter der Wahrscheinlichkeitsverteilung aus dem Bild 6.43. Der Fall, dass alle Korrelationen +1 betragen, stellt den „worst case“ und der, dass alle -1 einnehmen den „best case“ dar.

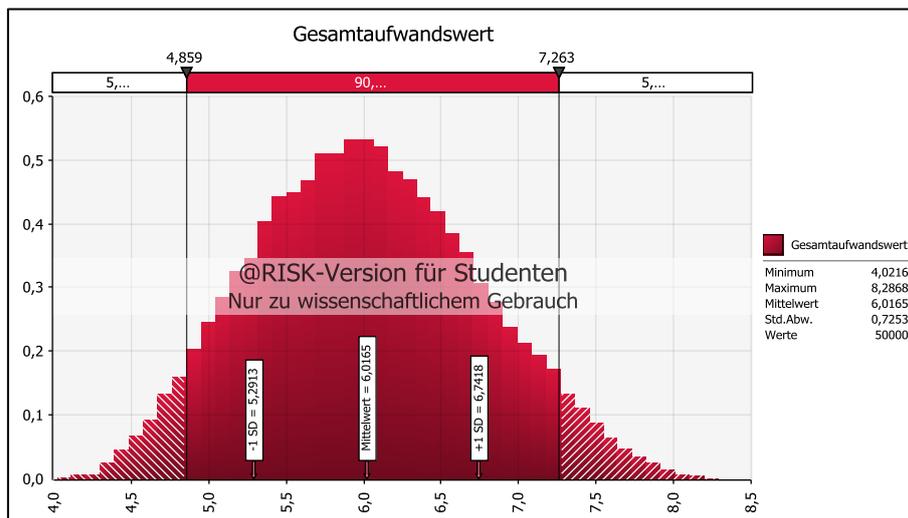


Bild 6.45 Wahrscheinlichkeitsverteilung – Gesamtaufwandwert; Korrelationskoeffizient: 0,72 – Versuch Nr.: 5/1

Zum Vergleich ist in der Abbildung in Bild 6.45 die Verteilungsfunktion des Gesamtaufwandwertes für den Fall, dass alle Korrelationskoeffizienten den Wert 0,72 einnehmen, abgebildet. Stellt man diese Wahrscheinlichkeitsverteilung der in Bild 6.43 gegenüber, kann festgestellt werden, dass die Verläufe und Werte sehr ähnlich ausfallen.

6.3.4 Auswirkungen der Korrelationen bei der Berechnung der Einzelkosten der Stahlbetonarbeiten

Die Auswirkungen der Berücksichtigung von Abhängigkeiten zwischen den Eingangsgrößen der Kostenermittlung sollen in den nachfolgenden Kapiteln untersucht und dargestellt werden.

Für die Eingangsgrößen werden symmetrische Dreiecksverteilungen mit den Werten aus der Tabelle 6.18 definiert. Es ist ersichtlich, dass alle Eingangsparameter – bis auf den Mittellohn – als Verteilung modelliert werden. Dieser wird als eine deterministische Größe angenommen und beträgt 34,00 € pro Lohnstunde.

Eingangsgröße		MIN	ERW	MAX	[EH]	
		[A]	[B]	[C]	[D]	[E]
[1]	Betonmenge	BT _{M,bwk}	30.620,00	38.275,00	45.930,00	[m ³]
[2]	Schalungsgrad	S _{g,bwk}	2,66	3,32	3,99	[m ² /m ³]
[3]	Bewehrungsgrad	bw _{g,bwk}	103,09	128,86	154,63	[kg/m ³]
[4]	Aufwandswert - Schalen	AW _{S,MW}	0,99	1,24	1,49	[Std/m ²]
[5]	Aufwandswert - Bewehren	AW _{BW,MW}	7,75	9,69	11,63	[Std/t]
[6]	Aufwandswert - Betonieren	AW _{BT,MW}	0,49	0,62	0,74	[Std/m ³]
[7]	Geräte- und Materialkosten - Schalung	ks _{MW}	10,33	12,91	15,49	[€/m ²]
[8]	Geräte- und Materialkosten - Bewehrung	kb _{MW}	440,82	551,02	661,23	[€/t]
[9]	Geräte- und Materialkosten - Beton	k _{BT,MW}	105,76	132,20	158,64	[€/m ³]
[10]	Mittellohnkosten	ML _{STB,MW}		34,00		[€/Std]

Tabelle 6.18 Eingangsgrößen – Einzelkosten – Versuch-Nr.: 5/2

6.3.4.1 Variation der Korrelationskoeffizienten

Im Folgenden werden Simulationen mit unterschiedlichen Abhängigkeitsstärken durchgeführt. Dabei soll der Einfluss der Korrelationen auf die Einzelkosten aufgezeigt werden. Für die Koeffizienten werden Werte von -1 bis +1 modelliert. Diese werden mit jeder Simulation um 0,10 positiv erhöht.

Für die Korrelationsmatrix wird die Matrix aus der Tabelle 6.13 herangezogen. Diese wird für die Berechnung leicht modifiziert, indem die nicht korrelierenden Größen nicht in die Matrix dargestellt werden. Die für diese Untersuchung verwendete Korrelationsmatrix sowie die Anpassungsfaktoren-Matrix werden in den nachfolgenden Tabellen (Tabelle 6.19 und Tabelle 6.20) aufgezeigt.

	S _{g,bwk}	bw _{g,bwk}	AW _{S,MW}	AW _{BW,MW}	AW _{BT,MW}	ks _{MW}
S _{g,bwk}			K		K	K
bw _{g,bwk}				K		
AW _{S,MW}	K			K		
AW _{BW,MW}		K	K			
AW _{BT,MW}	K					
ks _{MW}	K					

Tabelle 6.19 Modifizierte Korrelationsmatrix – Berechnung der Einzelkosten



	S _{g,bwk}	bw _{g,bwk}	AW _{s,MW}	AW _{BW,MW}	AW _{BT,MW}	ks _{MW}
S _{g,bwk}						
bw _{g,bwk}						
AW _{s,MW}	100					
AW _{BW,MW}		100	100			
AW _{BT,MW}	100					
ks _{MW}	100					

Tabelle 6.20 Anpassungsfaktoren-Matrix – Berechnung der Einzelkosten

Der Grund, aus dem die unabhängigen Parameter aus der Matrix ausgeschlossen werden, ist darin zu finden, dass bei der Anpassung der inkonsistenten Matrix Werte automatisch – auch für die nicht korrelierenden Größen – versehen werden. Nachstehend wird die Matrix mit allen Eingangsparametern vor (Tabelle 6.21) und nach (Tabelle 6.22) der automatischen Anpassung dargestellt. Die grün hinterlegten Koeffizienten zeigen die Abhängigkeiten zwischen den Größen, die als unabhängig angenommen wurden. Der stärkste Wert liegt dabei bei -0,23 und ist somit als schwach negativ einzustufen. Trotz der geringen Beziehungsstärke würde solch eine Korrelationsmatrix das Ergebnis verfälschen.²⁸¹

	BT _{M,bwk}	S _{g,bwk}	bw _{g,bwk}	AW _{s,MW}	AW _{BW,MW}	AW _{BT,MW}	ks _{MW}	kb _{W,MW}	kb _{T,MW}
BT _{M,bwk}									
S _{g,bwk}									
bw _{g,bwk}									
AW _{s,MW}		0,8							
AW _{BW,MW}			0,8	0,8					
AW _{BT,MW}		0,8							
ks _{MW}		0,8							
kb _{W,MW}									
kb _{T,MW}									

Tabelle 6.21 Korrelationsmatrix vor der Anpassung – Einzelkosten

	BT _{M,bwk}	S _{g,bwk}	bw _{g,bwk}	AW _{s,MW}	AW _{BW,MW}	AW _{BT,MW}	ks _{MW}	kb _{W,MW}	kb _{T,MW}
BT _{M,bwk}									
S _{g,bwk}	-0,23415								
bw _{g,bwk}	-0,004131	-0,069106							
AW _{s,MW}	-0,173013	0,8	0,3974396						
AW _{BW,MW}	-0,020135	0,303569	0,8	0,8					
AW _{BT,MW}	0,0875234	0,8	-0,109509	0,5895715	0,1409151				
ks _{MW}	-0,200037	0,8	-0,231209	0,4321052	-0,023391	0,4299846			
kb _{W,MW}	0,0222677	-0,059212	0,0531797	-0,042198	0,0038011	-0,048749	-0,021479		
kb _{T,MW}	0,0676946	-0,06198	0,0719769	-0,002292	0,0634013	-0,071228	-0,048452	-0,023892	

Tabelle 6.22 Korrelationsmatrix nach der Anpassung – Einzelkosten

Bei der Simulationen der Einzelkosten ist mit der positiven Erhöhung der Korrelationskoeffizienten ein Anstieg der Streuung der Ergebnisse zu erwarten. Der Grund dafür ist, dass bei der Berechnung der Einzelkosten nur Multiplikationen und Additionen vorkommen.²⁸²

Das Ergebnis des Versuches wird zusammenfassend in Bild 6.46 dargestellt. Auf der Abszisse sind die Werte der Korrelationen und auf der Or-

²⁸¹ Siehe Anhang A.1.5

²⁸² Siehe Kapitel 5.7 Korrelationen

diante die der Einzelkosten in Millionen € angeführt. Erkennbar ist, dass die Abstände zwischen den Kurven mit der Erhöhung der positiven Abhängigkeitsstärke zunehmen. Die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion fällt also bei einer positiven Korrelation flacher aus als bei einer negativen.

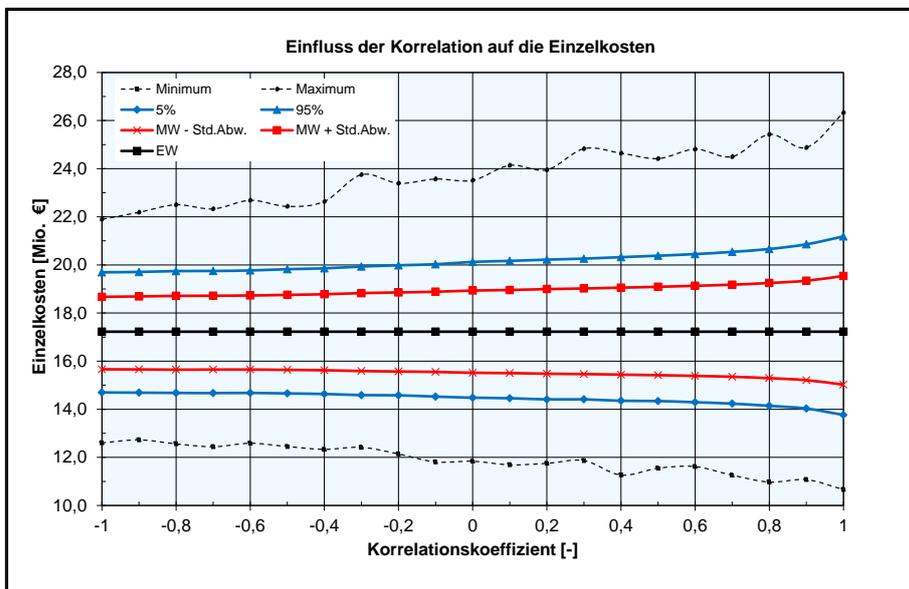


Bild 6.46 Einfluss der Korrelationen auf die Einzelkosten

Für die zwei stärksten Abhängigkeiten, -1 (rote Verteilung) und +1 (grüne Verteilung) sowie für den Fall, dass keine Korrelationen (blaue Verteilung) berücksichtigt werden, sind die Histogramme im nachfolgenden Bild (Bild 6.47) dargestellt. Dabei ist ersichtlich, dass bei negativen Korrelationen die Einzelkosten mit einer 90%igen Wahrscheinlichkeit zwischen 14,69 Mio. € und 19,70 Mio. € liegen. Bei der Simulation mit positiven Korrelationen beträgt die Wahrscheinlichkeit, innerhalb dieser Bandbreite zu liegen 72,7 % und bei der ohne Korrelationen 85,5 %.

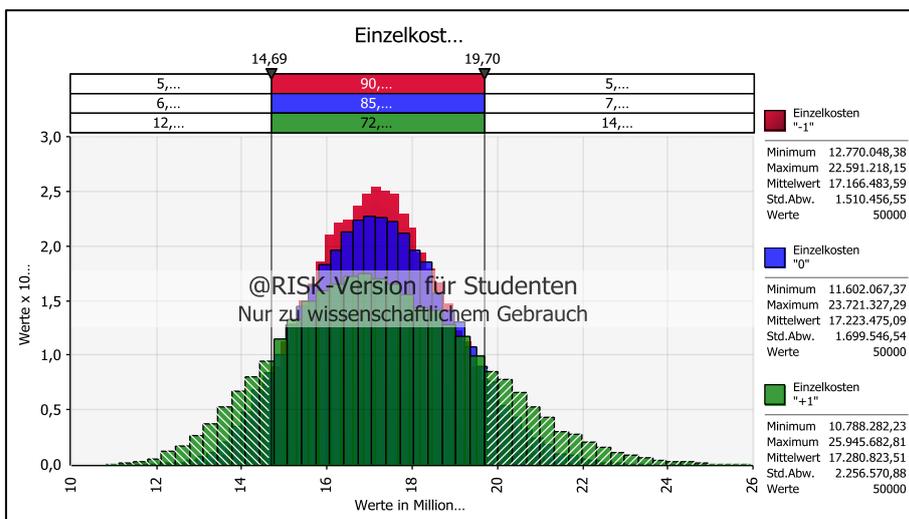


Bild 6.47 Gegenüberstellung – Einzelkosten – Versuch-Nr.: 5/2

Der Verlauf der Standardabweichung ist in Prozent – bezogen auf den Mittelwert – und in Abhängigkeit des gewählten Korrelationskoeffizienten im Diagramm in Bild 6.48 aufgetragen. Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass die Standardabweichung einem nicht regelmäßigen Verlauf folgt.

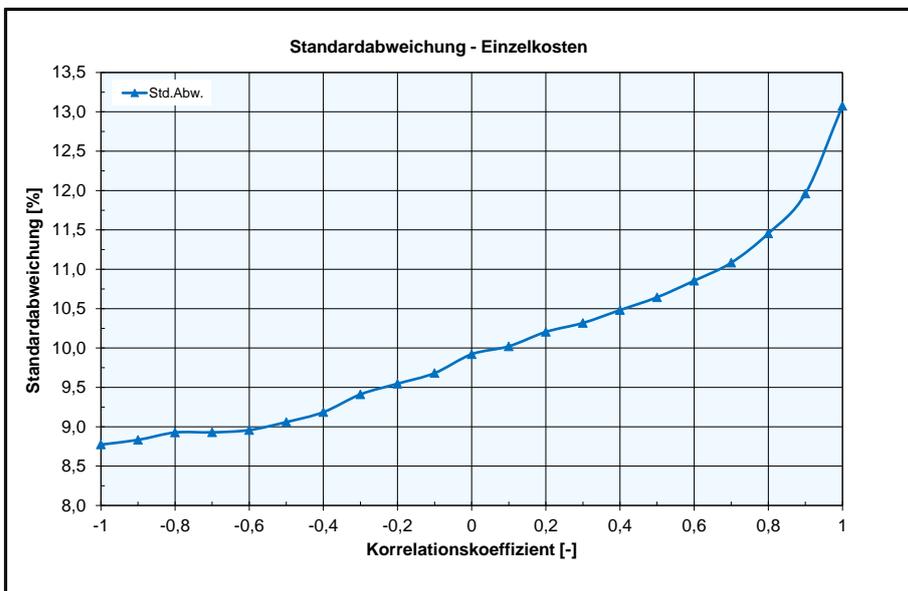


Bild 6.48 Einfluss der Korrelationen auf die Einzelkosten – Standardabweichung

6.3.4.2 Berechnung der Einzelkosten

Nachfolgend werden für die Korrelationskoeffizienten mögliche Werte eingesetzt und das Ergebnis der Simulation mit den Verläufen aus dem vorherigen Kapitel verglichen. Die angenommenen Abhängigkeitsstärken (grün hinterlegt) werden in der durch @Risk angepassten Korrelationsmatrix in Tabelle 6.23 dargestellt.

	$s_{g,bwk}$	$bw_{g,bwk}$	$AW_{s,mw}$	$AW_{Bw,mw}$	$AW_{BT,mw}$	ks,mw
$s_{g,bwk}$						
$bw_{g,bwk}$	-0,062256					
$AW_{s,mw}$	0,8	0,1354854				
$AW_{Bw,mw}$	0,3237553	0,5	0,8			
$AW_{BT,mw}$	0,3	0,0145402	0,0694693	-0,057898		
ks,mw	0,3	0,0061773	0,0614361	-0,061722	0,0136506	

Tabelle 6.23 Korrelationsmatrix – Berechnung der Einzelkosten

Das Ergebnis der Simulation ist als Wahrscheinlichkeitsverteilung in Bild 6.49 abgebildet, wobei auf der Abszisse die Einzelkosten in Millionen € und auf der Ordinate die Häufigkeiten aufgetragen sind. Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass mit einer 90%igen Wahrscheinlichkeit die Einzelkosten zwischen 14,25 Mio. € und 20,49 Mio. € liegen.

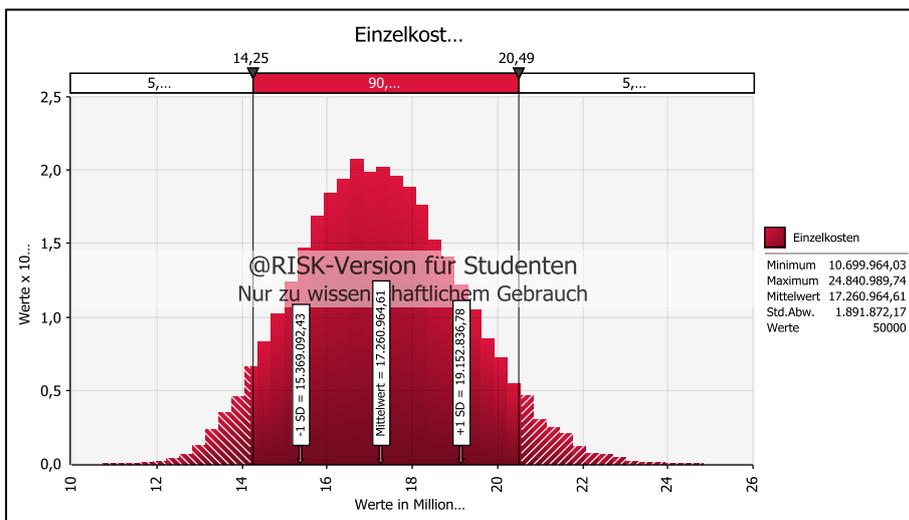


Bild 6.49 Wahrscheinlichkeitsverteilung – Einzelkosten – Versuch-Nr.: 5/2

Mit den Markierungen -1 SD und $+1\text{ SD}$ könnte wie in Unterkapitel 6.3.3.2 die Lage der Wahrscheinlichkeitsverteilung im Diagramm in Bild 6.46, sowie die entsprechende Matrix mit einheitlichen Koeffizienten bestimmt werden. Jedoch wird bei diesem Beispiel der Vergleich mit dem Verlauf im Diagramm in Bild 6.48 geführt und so die einheitliche Korrelationsmatrix bestimmt.

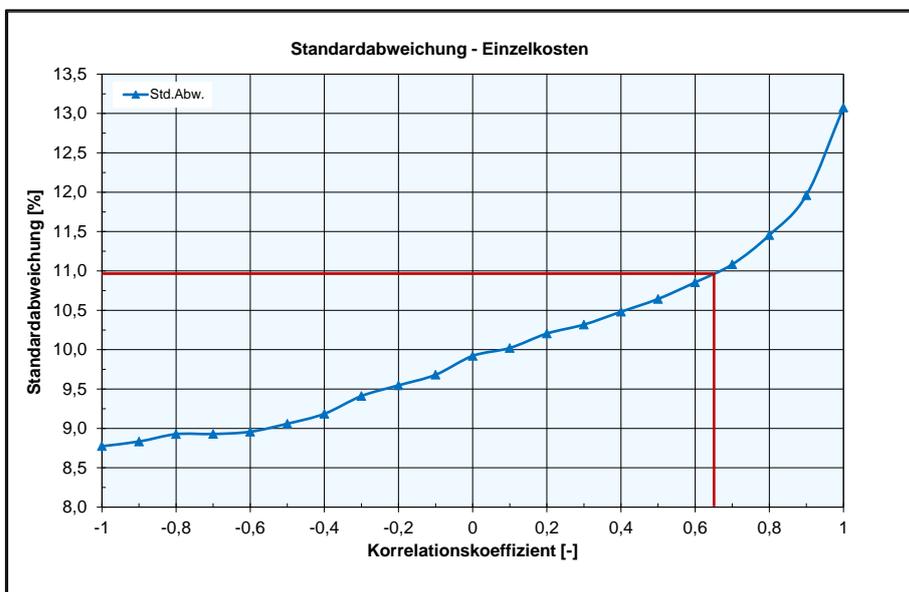


Bild 6.50 Einfluss der Korrelationen auf die Einzelkosten – Standardabweichung

Dazu wird zunächst der prozentuelle Anteil der Standardabweichung zum Mittelwert berechnet. Dieser beträgt für diese Simulation 10,96 %. Dieser Wert wird auf der Ordinate aufgetragen und es wird eine Horizontale nach rechts gezogen bis ein Schnittpunkt mit der Kurve erzielt wird. Weiteres wird eine Vertikale nach unten gezogen bis sie sich mit der

Abszisse schneidet. Der Korrelationskoeffizient der Matrix mit einheitlichen Koeffizienten kann auf der Abszisse abgelesen werden. In diesem Beispiel würde eine Korrelationsmatrix mit Koeffizienten von ca. 0,66 zu einem annähernd gleichen Ergebnis wie in Bild 6.49 führen. Zum Vergleich ist in der Abbildung in Bild 6.51 die Verteilungsfunktion des Gesamtaufwandwertes für den Fall, dass alle Korrelationskoeffizienten den Wert 0,66 einnehmen, abgebildet. Hält man diese Wahrscheinlichkeitsverteilung der in Bild 6.49 gegenüber, ist erkennbar, dass die Verläufe und Werte sehr ähnlich ausfallen.

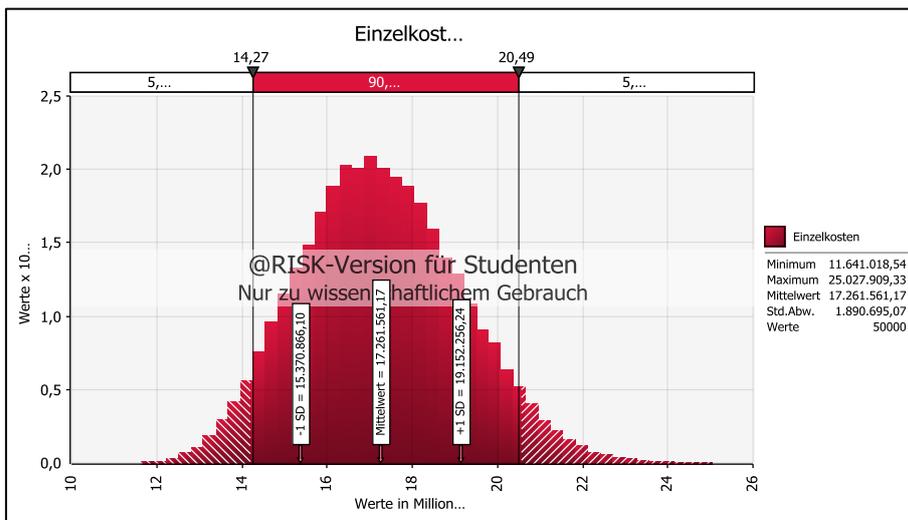


Bild 6.51 Wahrscheinlichkeitsverteilung – Einzelkosten; Korrelationskoeffizient: 0,66 – Versuch-Nr.: 5/2

6.3.5 Zusammenfassung – Versuchsreihe 5

Mit den oben angestellten Untersuchungen konnte der Einfluss der Berücksichtigung von Korrelationen bei der Ermittlung der Einzelkosten und des Gesamtaufwandwertes gezeigt werden. Die dargestellten Verläufe werden sich je nach Annahme der Abhängigkeiten ändern, jedoch ist mit der positiven Erhöhung der Korrelationskoeffizienten auch mit einer Zunahme der Abstände zwischen den Kurven zu rechnen. Die Ergebnisse der Simulationen werden also sowohl bei der Ermittlung der Kosten als auch bei der Ermittlung des Gesamtaufwandwertes bei positiven Abhängigkeiten mit einer größeren Streuung ausfallen als bei negativen Korrelationen.

Um die Ergebnisse der Simulationen nicht zu verfälschen, sollten nur Korrelationen angesetzt werden, die für den Anwender als eindeutig erscheinen und unabhängige Eingangsgrößen aus der Korrelationsmatrix ausgelassen werden. Überflüssige oder zu stark angesetzte Abhängigkeiten führen zur Berücksichtigung von unnötigen Streuungen und Unsicherheiten bei der Auswertung probabilistischer Modelle zur Berechnung der Einzelkosten und des Gesamtaufwandwertes.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Die Kostensicherheit eines Bauprojektes stellt für alle Projektbeteiligten ein wesentliches Projektziel dar. Da es sich bei Kostenberechnungen aber um Prognosen handelt und diese somit mit einer Vielzahl von Unschärfen bzw. Unsicherheiten behaftet sind, müssen Kostenermittlungen mit adäquaten Methoden und Hilfsmitteln durchgeführt werden. Eine höhere Prognosesicherheit lässt sich im Zuge der Risikoanalyse mit den probabilistischen Methoden erreichen.

Das primäre Ziel dieser Arbeit war es, die Möglichkeiten für den Umgang mit den Unschärfen bei Kostenermittlungen vorzustellen, umzusetzen und deren Auswirkungen auf die Ergebnisse aufzuzeigen. Wesentliche Punkte für den Umgang mit und für die Modellierung der Unsicherheiten stellen die Bandbreiten der Eingangsdaten sowie die Korrelationen zwischen den einzelnen Größen dar. Mit der Berücksichtigung dieser Punkte soll das Modell den realen Sachverhalt abbilden und in weiterer Folge die Aussagekraft der Simulationsergebnisse erhöhen.

7.1 Zusammenfassung und Ergebnisse

Einleitend wurde auf die Definitions- und Auffassungsproblematik des Risikobegriffes eingegangen. Festgehalten wurde, dass im Großteil der Literatur das Risiko als eine Auswirkung von Unsicherheiten auf Ziele definiert wird, wobei die positive Abweichung als „Chance“ und die negative Abweichung als „Gefahr“ genannt wird. Im Gegensatz dazu wird im allgemeinen Sprachgebrauch der Risikobegriff eher mit potenziellen Gefahren und Wagnissen assoziiert und stellt somit ein Antonym zum Chancenbegriff dar. Aufbauend auf den definitorischen Grundlagen wurden unter Berücksichtigung der Literatur und der Normung die Ziele, Merkmale und Bestandteile des Risikomanagement-Systems aufgezeigt. Dabei wurde auf den Risikomanagement-Prozess, dessen einzelne Teilprozesse (Identifikation, Analyse, Bewertung und Bewältigung) und die in der Theorie zur Verfügung stehenden Umsetzungsmethoden näher eingegangen. Je nach Einsatzbereich kommen dabei intuitive Techniken (z.B. Risikoidentifikation durch Brainstorming), aber auch komplexe Simulationsverfahren (z.B. probabilistische Kostenberechnungen oder quantitative Aggregationen der Einzelrisiken) zur Anwendung.

Aufbauend auf den allgemein analysierten Ansätzen wurden im Folgekapitel die Einsatzmöglichkeiten des Risikomanagements sowie die Gefahren bzw. Risiken und Chancen in der Bauwirtschaft betrachtet. Dabei standen die Risiken der ausführenden Bauunternehmen und Bauprojekte im Fokus. Es wurden die branchen- und leistungsbedingten Charakteristiken der Risiken für Bauunternehmen vorgestellt. Nach der Kategorisierung der Unternehmens- und Projektrisiken wurden abschließend die

wirtschaftliche Bedeutung und die Risiken der Stahlbetonarbeiten vorgestellt.

In weiterer Folge wurde auf die betriebswirtschaftlichen Grundlagen und Definitionen des Kostenbegriffes eingegangen und ein Überblick über die Kostenplanung und die Kostenermittlungsverfahren bei Bauprojekten gegeben. Für die Kostenermittlung der Stahlbetonarbeiten wurden Berechnungsgleichungen, getrennt nach Grob- und Detailkalkulation, angeführt und erläutert. Zudem wurden die Thematiken der Kostensicherheit und Kostenbeeinflussbarkeit sowie der Kostentoleranzen behandelt.

Die Problematiken der in der Praxis häufig eingesetzten deterministischen Kostenermittlungsverfahren stellten neben dem Umgang mit Prognosen den Mittelpunkt des abschließenden theoretischen Teils dar. Dabei wurde zunächst der Zusammenhang zw. dem Volumen bzw. der Reichweite und dem Detailierungsgrad einer Prognose erläutert. Festgehalten wurde, dass die Prognosen mit der Zunahme der Reichweite (zeitliche Dimension) unsicherer werden bzw. ihr Detaillierungsgrad abnimmt. Auf Kostenprognosen übertragen bedeutet das, dass die Sicherheit der Prognosen abnimmt, je exakter (deterministischer) diese beschrieben werden und je weiter deren Realisierung in der Zukunft liegt.

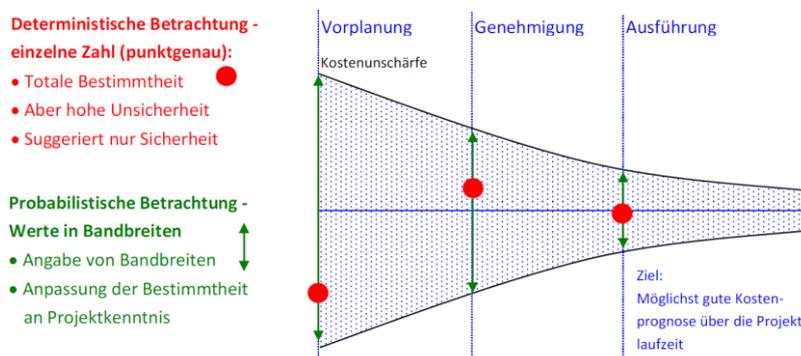


Bild 7.1 Deterministische und probabilistische Betrachtungsweisen im Projektverlauf²⁸³

Eine höhere Sicherheit der Kostenprognosen kann mithilfe der Wahrscheinlichkeitstheorie bzw. probabilistischer Methoden und durch Einbeziehung der Unsicherheiten (in Form von Bandbreiten) erzielt werden. Deshalb wurden in diesem Kapitel die Begrifflichkeit und die Anwendungsmöglichkeiten der Bandbreiten näher betrachtet. Zudem wurden Möglichkeiten sowie die eingesetzten Verteilungsformen für die Modellierung der Risiken vorgestellt. Dabei wurde betont, dass bei der Modellierung der Kostensätze, aber auch der Aufwands- und Leistungswerte

²⁸³ SANDER, P.: Probabilistische Risiko-Analyse für Bauprojekte. S. 24.

möglichst Log-Normal bzw. LogLogistic-Verteilungen vorzuziehen sind. Sollte keine Möglichkeit zur Verwendung dieser Verteilungen gegeben sein, sind diese durch BETA-, PERT- oder Dreiecksverteilungen anzunähern. Weiters wurde auf die Grundlagen der Monte-Carlo-Methode sowie auf einige Grundbegriffe der Statistik, welche die Voraussetzung für das Verständnis und die Anwendung stochastischer Berechnungen bilden, eingegangen. Im Anschluss daran wurden die Definition und Bedeutung der Korrelationen zwischen den Eingangsgrößen behandelt. Verdeutlicht wurde, dass sich die Bestimmung, Messung und Ermittlung der Korrelationen, insbesondere bei Bauprojekten mit jeweils neuen Gegebenheiten, als schwierig erweisen. Unbegründete Unabhängigkeiten führen jedoch zu unsinnigen Ergebnissen bzw. zu Fehleinschätzung. Eine Simulation ohne Abhängigkeiten kann bspw. ein Szenario erzeugen, welches eine technologisch inkorrekte Kombination darstellen würde. Beispielsweise kann ein Szenario erzeugt werden, in dem die Betonmenge steigt, der einzubauende Bewehrungsstahl hingegen sinkt. In Bezug auf die Abhängigkeitsstärke musste festgestellt werden, dass allgemein gültige Korrelationskoeffizienten nicht festgelegt werden können. Zudem sind in der Literatur leider nur sehr wenige Ansätze und Angaben zu Korrelationen bei Ermittlung der Baukosten allgemein und speziell bei der Ermittlung der Baukosten bei Stahlbetonarbeiten zu finden. Im Zuge der Untersuchungen wurde von positiven Korrelationen zwischen den Eingangsgrößen ausgegangen, wobei nicht gesagt werden konnte, wie groß diese sind. Für die Berechnungen wurden jedoch Korrelationen in einer Bandbreite von -1 bis $+1$ angesetzt.

Im empirischen Teil der Arbeit wurden sechs Versuchsreihen bzw. 13 unterschiedliche Untersuchungen durchgeführt. Ziel der Versuche war es, den Einfluss von Bandbreiten und Korrelationen im Zuge der Kostenermittlung der Stahlbetonarbeiten zu verdeutlichen. Als Referenzprojekt wurde das Musiktheater in Linz herangezogen.

Bei der ersten Versuchsreihe ging es darum, eine Vergleichsbasis für die folgenden Untersuchungen zu schaffen. Es wurden die Einzelkosten des Musiktheaters nach dem deterministischen Verfahren ermittelt. Das bedeutet, dass den einzelnen Eingangsgrößen (Mengen, Kosten und Aufwandswerten) jeweils nur ein Wert zugewiesen wurde.

Mit den Untersuchungen der zweiten, dritten und vierten Versuchsreihe wurden die Auswirkungen der Berücksichtigung von Bandbreiten auf das Ergebnis der Einzelkosten und des Gesamtaufwandswertes verdeutlicht. Dazu wurden die Berechnungen modelliert und mittels der Monte-Carlo-Methode simuliert.

Im Zuge der zweiten Versuchsreihe wurden Bandbreiten in Bezug auf den Erwartungswerten, welche als fixe Größen angenommen wurden, variiert. Verändert wurden dabei einmal getrennt die Bandbreiten der Mengensätze, der Aufwandswerte, der Kostensätze sowie aller Eingangsgrößen auf einmal.

Die Auswertung zeigte, dass:

- die Ergebnisse symmetrische Verteilungen einnehmen,
- die Abweichungen der Einzelkosten und des Gesamtaufwandswertes mit der Größe der Bandbreiten linear ansteigen,
- im betrachteten Beispiel die Mengenänderung, gefolgt von der Änderung der Aufwandswerte, den größten Einfluss auf das Ergebnis der Einzelkosten und des Gesamtaufwandswertes haben.

Im Zuge der dritten Versuchsreihe wurde von zwei fixen Bandbreiten ausgegangen, einmal mit der Größe von $\pm 20\%$ und das zweite Mal mit der Größe von $\pm 40\%$ bezogen auf die deterministische Ausgangsgröße. Es wurde untersucht, welchen Einfluss die Wahl des wahrscheinlichsten Wertes (Modalwert) innerhalb dieser fixen Bandbreiten auf die Einzelkosten hat. Festgestellt wurde, dass:

- der Mittelwert der Einzelkosten mit der Nähe des Modalwertes zum Maximalwert linear ansteigt,
- die Differenz zw. dem 95%-Quantil und dem Mittelwert mit der Nähe des Modalwertes zum Maximalwert abnimmt und jene zw. dem Fünf-Prozent-Quantil und dem Mittelwert wiederum zunimmt,
- die Standardabweichung der Einzelkosten im Fall, dass der Modalwert genau in der Mitte liegt und somit den Erwartungswert darstellt, am kleinsten ist.

Bei der vierten Versuchsreihe ging es darum, die Grob- und die Detailkalkulation der Einzelkosten einander gegenüberzustellen. Es sollte untersucht werden, mit welchen Bandbreiten beide Kalkulationsbetrachtungen annähernd gleiche Ergebnisse liefern. Die Untersuchung führte zum Ergebnis, dass:

- die Werte der Grobkalkulation mit einer viel größeren Streuung als die der Detailkalkulation ausfallen,
- bei gleichen Bandbreiten (hier $\pm 20\%$) nur 46,3% der Werte der Grobkalkulation 90% der Ergebnisse der Detailkalkulation abdecken,
- wenn die Eingangsgrößen der Detailkalkulation mit Dreiecksverteilungen mit einer Bandbreite von $\pm 50\%$ modelliert werden, zu ungefähr gleichen Ergebnissen wie die Grobkalkulation mit einer Bandbreite von $\pm 20\%$ führen.

In der fünften Versuchsreihe wurden verschiedene Ermittlungsmöglichkeiten des Gesamtaufwandswertes durchgeführt und einander gegenübergestellt. Die Untersuchungen haben nur geringe Abweichungen zwischen den einzelnen Detaillierungsgraden der Gesamtaufwandswertermittlung gezeigt.

Mit der letzten Versuchsreihe wurde der Einfluss der Berücksichtigung von Korrelationen auf das Ergebnis der Einzelkosten und des Gesamtaufwandwertes gezeigt. Weiteres wurden der Umgang und die Modellierung von Korrelationen sowie der Lösungsansatz für das Problem der inkonsistenten Korrelationsmatrix für das Softwareprogramm @Risk vorgestellt. Im Zuge der Versuche wurden Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Eingangsgrößen angenommen und die Korrelationskoeffizienten von -1 bis $+1$ in $0,10$ Schritten modelliert und so die Berechnungen simuliert. Neben den Berechnungen wurde eine Möglichkeit zur Gegenüberstellung der Ergebnisse bei frei angenommenen Korrelationen mit den Ergebnissen, die einen „best“ bzw. „worst case“ darstellen, präsentiert.

Die Untersuchungen der sechsten Versuchsreihe führten zu folgenden Erkenntnissen:

- Wurden die Korrelationskoeffizienten mit einem Wert zwischen $-0,5$ und $+0,5$ modelliert, handelte es sich um eine inkonsistente Korrelationsmatrix (bei den Untersuchungen wurden alle Koeffizienten mit gleichen Werten modelliert).
- Werden unabhängige Eingangsgrößen nicht aus der Matrix ausgelassen, führen diese zu einer Verfälschung der Simulationsergebnisse. Der Grund dafür ist darin zu finden, dass bei der Anpassung der inkonsistenten Matrix, Werte automatisch – auch für nicht korrelierende Größen – versehen werden.
- Die Standardabweichung der Einzelkosten und des Gesamtaufwandwertes steigen mit der Erhöhung der positiven Abhängigkeitsstärken.
- Um die Ergebnisse nicht zu verfälschen, sollten im Zuge der Modellierung nur Abhängigkeiten, die für den Anwender als eindeutig erscheinen, angesetzt werden.

Abschließend kann festgehalten werden, dass mit den Monte-Carlo-Simulationen erhebliche Ergebnisverbesserungen erzielt werden. Was aber zu beachten ist, ist, dass die Validität eines Modells von der Analogie des Modellinhaltes und des realen Sachverhaltes abhängt. Somit sind die Eingangsgrößen und Modellierungen als auch die Ergebnisse stets zu überprüfen und zu kontrollieren. Im Zuge der Arbeit wurde eine Möglichkeit zur Kontrolle der Ergebnisse mittels des Gauß'schen Fortpflanzungsgesetzes vorgestellt. Darüber hinaus stellen überschlägige Berechnungen weitere Kontrollmöglichkeiten der Zwischen- und Endergebnisse der Simulationen dar.

7.2 Ausblick

In dieser Arbeit wurden, neben den Auswirkungen der Berücksichtigung von Bandbreiten und Korrelationen, Möglichkeiten für den Umgang mit Unsicherheiten im Zuge der Kostenermittlung bei Stahlbetonarbeiten vorgestellt. Während der Projektrealisierung aber müssen die Bauunternehmen nicht nur Mengen-, Leistungs- und Kostenrisiken bewältigen, sondern auch eine Vielzahl anderer Risiken (z.B. Risiken aus Unwägbarkeiten). Aus diesem Grund sollte die vorgestellte Methode mit den Ansätzen aus der Literatur in Verbindung gebracht werden und ein ganzheitliches Bewertungsmodell, in dem alle Projektrisiken umfasst werden, erarbeitet werden. Um den Modellierungsaufwand zu reduzieren, könnte eine Risikobewertung nach dem Pareto-Prinzip erfolgen. Einen weiteren Schritt könnte die Implementierung der Betriebs- und Instandhaltungskosten darstellen. Dies würde eine probabilistische Kostenbetrachtung über den gesamten Lebenszyklus eines Projektes ermöglichen.

Forschungsbedarf ist auch in Bezug auf Korrelationen gegeben. Zwar wurden Korrelationen in dieser Arbeit behandelt und in den Berechnungen berücksichtigt, jedoch konnten keine konkreten Angaben über die tatsächlichen Abhängigkeiten und deren Stärken angestellt werden. Ziel weiterführender Untersuchungen könnten die Ermittlung und Berechnung von Korrelationen und Korrelationsstärken sein. Als Grundlage solcher Ermittlungen sind eventuell vorhandene Daten abgeschlossener Projekte heranzuziehen. Solche Daten könnten auch für weiterführende Untersuchungen von Verteilungsformen verwendet werden. Durch die Ermittlung und Verbesserung der Eingangsdaten soll die Aussagekraft der Simulationsergebnisse erhöht werden.

A.1 Anhang

Abkürzungsverzeichnis – Kostenermittlung - Stahlbetonarbeiten

A

AW	Aufwandswert [Std/EH]
AW_{BT,D,i}	Aufwandswert – Betonarbeiten für Decken [Std/m ³]
AW_{BT,FU,i}	Aufwandswert – Betonarbeiten für Fundamente [Std/m ³]
AW_{BT,MW}	Mittlerer Aufwandswert für die Betonarbeiten [Std/m ³]
AW_{BT,SO,i}	Aufwandswert – Betonarbeiten für sonstige Bauteile [Std/m ³]
AW_{BT,ST,i}	Aufwandswert – Betonarbeiten für Stützen [Std/m ³]
AW_{BT,WD,i}	Aufwandswert – Betonarbeiten für Wände [Std/m ³]
AW_{BW,D,i}	Aufwandswert – Bewehrungsarbeiten für Decken [Std/t]
AW_{BW,FU,i}	Aufwandswert – Bewehrungsarbeiten für Fundamente [Std/t]
AW_{BW,MW}	Mittlerer Aufwandswert für die Bewehrungsarbeiten [Std/t]
AW_{BW,SO,i}	Aufwandswert – Bewehrungsarbeiten für sonstige Bauteile [Std/t]
AW_{BW,ST,i}	Aufwandswert – Bewehrungsarbeiten für Stützen [Std/t]
AW_{BW,WD,i}	Aufwandswert – Bewehrungsarbeiten für Wände [Std/t]
AW_{S,D,i}	Aufwandswert – Scharbeiten für Decken [Std/m ²]
AW_{S,FU,i}	Aufwandswert – Scharbeiten für Fundamente [Std/m ²]
AW_{S,MW}	Mittlerer Aufwandswert für die Scharbeiten [Std/m ²]
AW_{S,SO,i}	Aufwandswert – Scharbeiten für sonstige Bauteile [Std/m ²]
AW_{S,ST,i}	Aufwandswert – Scharbeiten für Stützen [Std/m ²]
AW_{S,WD,i}	Aufwandswert – Scharbeiten für Wände [Std/m ²]
AW_{STB}	Gesamtaufwandswert der Stahlbetonarbeiten [Std/m ³]
AW_{STB,MW}	Mittelwert des Aufwandswertes der Stahlbetonarbeiten [Std/m ³]

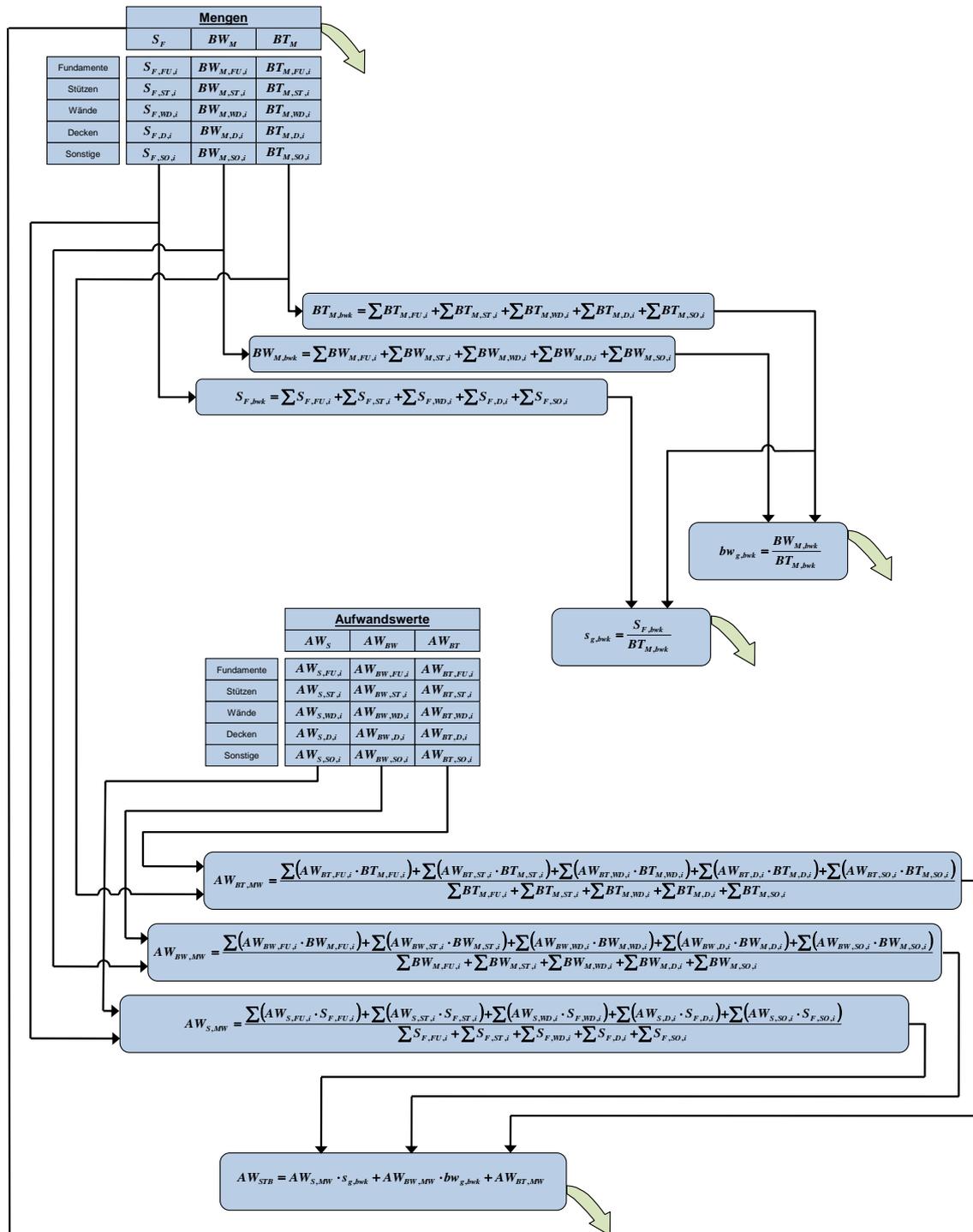
B

BT	Beton
BT_{M,bwk}	Betonmenge für das gesamte Bauwerk [m ³]
BT_{M,D,i}	Betonmenge – Decken [m ³]

BT_{M,FU,i}	Betonmenge – Fundamente [m ³]
BT_{M,SO,i}	Betonmenge – Sonstige Bauteile [m ³]
BT_{M,ST,i}	Betonmenge – Stützen [m ³]
BT_{M,WD,i}	Betonmenge – Wände [m ³]
BW	Bewehrung
bw_g	Bewehrungsgrad [kg/m ³], [t/m ³]
bw_{g,bwk}	Bewehrungsgrad des Bauwerks [kg/m ³], [t/m ³]
BW_{M,bwk}	Gesamt-Bewehrungsmenge des Bauwerks [t]
BW_{M,D,i}	Bewehrungsmenge – Decken [t]
BW_{M,FU,i}	Bewehrungsmenge – Fundamente [t]
BW_{M,SO,i}	Bewehrungsmenge – Sonstige Bauteile [t]
BW_{M,ST,i}	Bewehrungsmenge – Stützen [t]
BW_{M,WD,i}	Bewehrungsmenge – Wände [t]
bwk	Bauwerk
K	
k_{BT,MW}	Mittlere Geräte- und Materialkosten für Beton [€/m ³]
k_{BW,MW}	Mittlere Geräte- und Materialkosten für Bewehrung [€/t]
k_{S,MW}	Mittlere Geräte- und Materialkosten für Schalung [€/m ²]
K_{STB,EK}	Einzelkosten der Stahlbetonarbeiten [€]
K_{STB,HK}	Herstellkosten der Stahlbetonarbeiten [€]
K_{STB,HK,PF}	Herstellkosten der Stahlbetonarbeiten inklusive Kostenpuffer [€]
k_{STB,MW}	Mittelwert für die Geräte- und Materialkosten für Stahlbeton [€/m ³]
L	
LS_{BT}	Lohnstunden – Betonarbeiten [Std]
LS_{BW}	Lohnstunden – Bewehrungsarbeiten [Std]
LS_S	Lohnstunden – Schalungsarbeiten [Std]
M	
ML_{BT}	Mittellohn – Betonarbeiten [€/Std]
ML_{BW}	Mittellohn – Bewehrungsarbeiten [€/Std]

M_{LS}	Mittelohn – Schalarbeiten [€/Std]
ML_{STB,MW}	Mittelwert der Mittelohnkosten für Stahlbetonarbeiten [€/Std]
P	
PU	Puffer
PU_{STB,K}	Kostenpuffer für Stahlbetonarbeiten [%]
S	
S_F	Schalungsfläche [m ²]
S_{F,bwk}	Gesamt-Schalungsfläche des Bauwerks [m ²]
S_{F,D,i}	Schalungsfläche – Decken [m ²]
S_{F,FU,i}	Schalungsfläche – Fundamente [m ²]
S_{F,SO,i}	Schalungsfläche – Sonstige Bauteile [m ²]
S_{F,ST,i}	Schalungsfläche – Stützen [m ²]
S_{F,WD,i}	Schalungsfläche – Wände [m ²]
s_g	Schalungsgrad [m ² /m ³]
s_{g,bwk}	Schalungsgrad des Bauwerks [m ² /m ³]
STB	Stahlbeton
Std	Stunden, Einheit für Lohnstunde(n) [Std]
T	
t	Tonne (Einheit)
Z	
ZU_{BGK}	Prozentueller Zuschlag für die Baustellengemeinkosten auf die Stahlbetoneinzelkosten [%]

A.1.1 Kostenermittlung bei Stahlbetonarbeiten



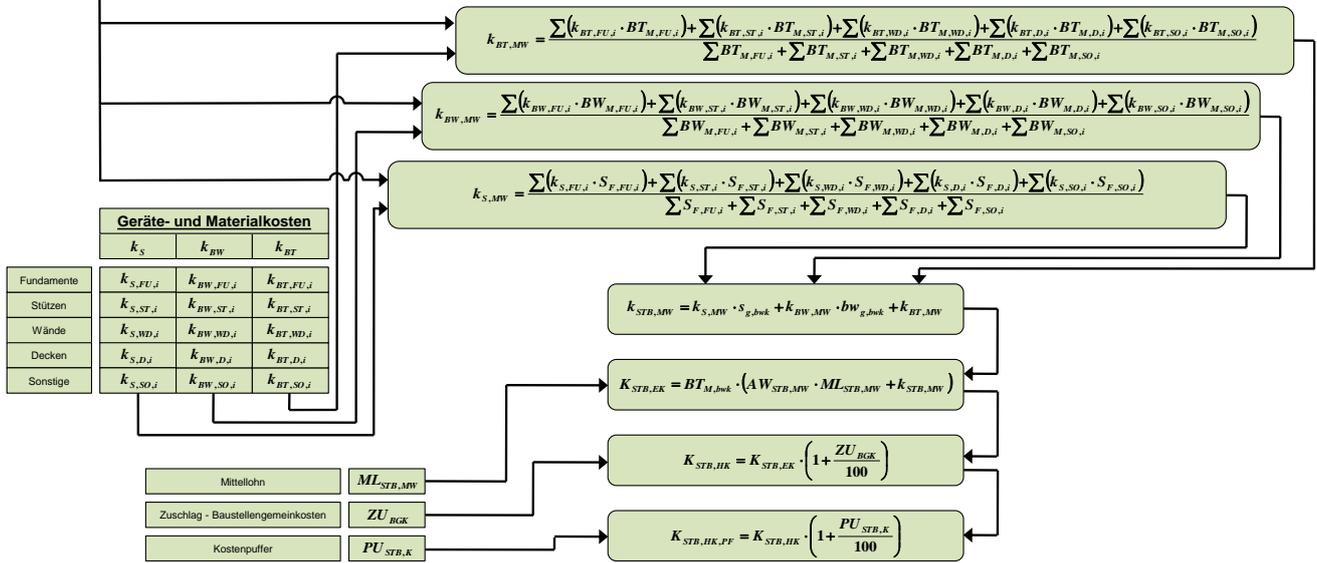


Abbildung 1 Ablaufübersicht - Kostenermittlung für die Stahlbetonarbeiten²⁸⁴

²⁸⁴ In Anlehnung an KUMMER, M. K.: Einsatz der Monte-Carlo Simulation zur Berechnung von Baukosten und Bauzeit. S. 155.

A.1.2 Gauß'sche Fortpflanzungsgesetz

Versuchsordnung																													
	Berechnung der Standardabweichung der Einzelkostenermittlung nach dem Gaußschen Fehlerfortpflanzungsgesetz																												
Ziel	Es soll die Standardabweichung der Einzelkostenermittlung (Grobkalkulation) mittels dem Gaußschen Fehlerfortpflanzungsgesetz sowie der Monte-Carlo-Simulation ermittelt und gegenübergestellt werden.																												
Versuchsaufbau Ergebnisse	<p>Die Einzelkosten der Stahlbetonarbeiten werden nach folgender Formel berechnet:</p> $K_{STB,EK} = BT_{M,bwk} * (AW_{STB,MW} * ML_{STB,MW} + k_{STB,MW})$ <p>Zunächst wird die Standardabweichung der Einzelkosten mittels dem Gaußschen Fehlerfortpflanzungsgesetz berechnet. Im zweiten Schritt des Versuches, werden die Einzelkosten der Stahlbetonarbeiten mittels der Monte-Carlo-Methode berechnet. Als Probenerhebungsmethode wird das Latin Hypercube Verfahren gewählt. Die Anzahl der Iterationen beträgt 50.000. Zum Schluss werden die errechnete und die aus der Simulation herangezogene Standardabweichung gegenübergestellt.</p>																												
Ergebnisse	<p>1) Gaußsche Fehlerfortpflanzungsgesetz</p> <p>Die Funktion der Einzelkosten lautet:</p> $y = f(x_i) = x_1 * (x_2 * x_3 + x_4)$ $y = K_{STB,EK}$ $x_1 = BT_{M,bwk}$ $x_2 = AW_{STB,MW}$ $x_3 = ML_{STB,MW}$ $x_4 = k_{STB,MW}$ <p>Die Standardabweichung von y kann näherungsweise nach folgender Formel ermittelt werden:</p> $s_y = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f(\bar{x}_i)}{\partial x_i} \right)^2 * s_{x_i}^2}$ <p>Dabei müssen die Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen Größen bekannt sein.</p> <p>Für die Variablen (x_i) werden Dreiecksverteilungen definiert. Der Mittelwert wird aus der deterministischen Berechnung der Einzelkosten übernommen. Die Minimal- und Maximalwerte bilden eine Bandbreite von ± 20 % vom Mittelwert. Die Standardabweichung kann für Dreiecksverteilungen nach folgender Formel berechnet werden:</p> $s = \sqrt{\frac{a^2 + b^2 + c^2 - ab - ac - bc}{18}}$ <p>mit:</p> <p>a Minimalwert b Wahrscheinlichster Wert c Maximalwert</p> <p>Die Mittel-, Minimal- und Maximalwerte sowie die Standardabweichungen der einzelnen Größen sind in der nachstehenden Tabelle zusammengefasst.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Größe</th> <th>a</th> <th>b</th> <th>c</th> <th rowspan="2">s</th> </tr> <tr> <th>MIN</th> <th>MW</th> <th>MAX</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X₁ - BT_{M,bwk}</td> <td>30.620,00</td> <td>38.275,00</td> <td>45.930,00</td> <td>3.125,14</td> </tr> <tr> <td>X₂ - AW_{STB,M}</td> <td>4,79</td> <td>5,99</td> <td>7,19</td> <td>0,49</td> </tr> <tr> <td>X₃ - ML_{STB,MV}</td> <td>-</td> <td>34,00</td> <td>-</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>X₄ - k_{STB,MW}</td> <td>196,90</td> <td>246,12</td> <td>295,34</td> <td>20,09</td> </tr> </tbody> </table>	Größe	a	b	c	s	MIN	MW	MAX	X ₁ - BT _{M,bwk}	30.620,00	38.275,00	45.930,00	3.125,14	X ₂ - AW _{STB,M}	4,79	5,99	7,19	0,49	X ₃ - ML _{STB,MV}	-	34,00	-	0,00	X ₄ - k _{STB,MW}	196,90	246,12	295,34	20,09
Größe	a		b	c	s																								
	MIN	MW	MAX																										
X ₁ - BT _{M,bwk}	30.620,00	38.275,00	45.930,00	3.125,14																									
X ₂ - AW _{STB,M}	4,79	5,99	7,19	0,49																									
X ₃ - ML _{STB,MV}	-	34,00	-	0,00																									
X ₄ - k _{STB,MW}	196,90	246,12	295,34	20,09																									

Die partiellen Ableitungen der Funktion der Einzelkosten sowie die Ergebnisse sind in folgender Tabelle dargestellt.

Ableitung	Ergebnisse	
$\frac{\partial f(\bar{x}_i)}{\partial x_1}$	$x_2 * x_3 + x_4$	449,78
$\frac{\partial f(\bar{x}_i)}{\partial x_2}$	$x_1 * x_3$	1.301.350,00
$\frac{\partial f(\bar{x}_i)}{\partial x_3}$	$x_1 * x_2$	229.267,25
$\frac{\partial f(\bar{x}_i)}{\partial x_4}$	x_1	38.275,00

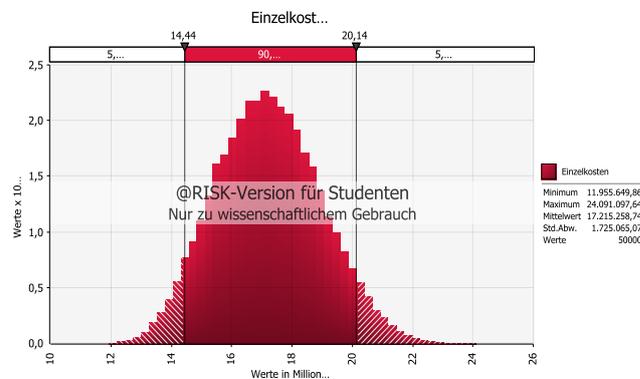
Die Standardabweichung der Einzelkosten errechnet sich somit wie folgt aus:

$$s_y = \sqrt{(449,78^2 * 3.125,14^2) + (1.301.350,00^2 * 0,49^2) + (229.267,25^2 * 0^2) + (38.275,00^2 * 20,09^2)}$$

$s_y = 1.724.433,58$

II) Monte-Carlo-Methode

Mit den oben angeführten Größen werden die Einzelkosten mittels der Monte-Carlo-Methode simuliert. Das Histogramm sowie der Minimal-, Maximal- und Mittelwert sind neben der Standardabweichung und der Anzahl der simulierten Einzelkosten, in nachstehender Abbildung dargestellt.



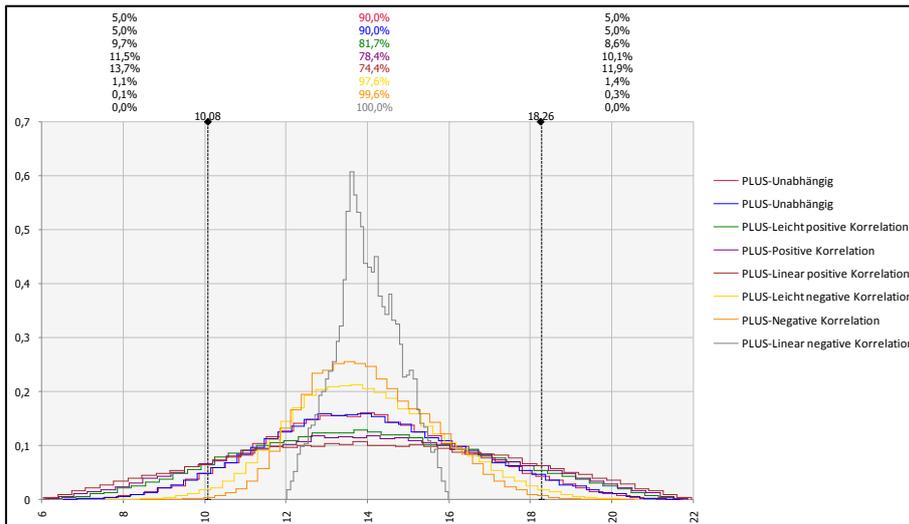
Die ermittelte Standardabweichung der Einzelkosten beträgt bei diesem Versuch 1.725.065,07 Euro.

Kommentar

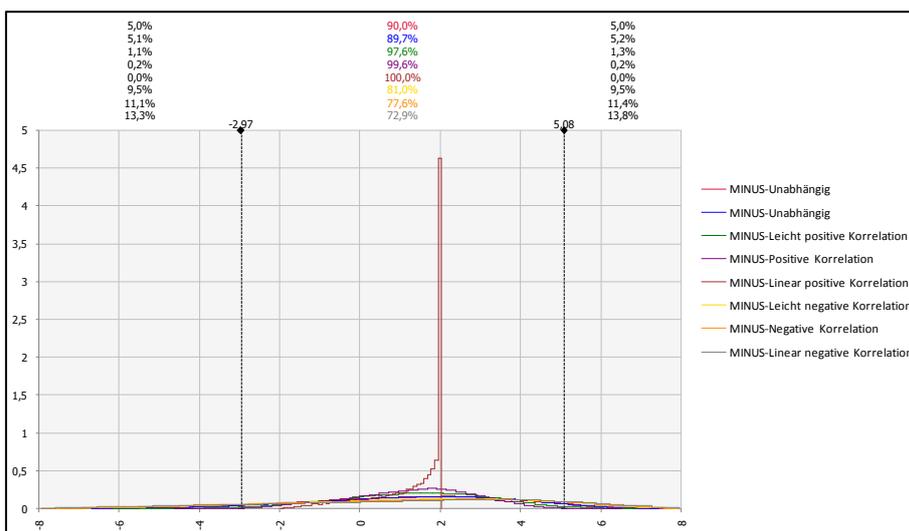
Im Vergleich zwischen dem Ergebnis der Simulation (1.725.065,07) und dem aus der mathematischen Berechnung (1.724.433,58) ist eine sehr geringe Differenz (631,49) festzustellen. Die Abweichung zwischen den Standardabweichungen beträgt lediglich 0,04 % bezogen auf das Ergebnis der Simulation.

A.1.3 Einfluss von Korrelationen auf die Berechnungen

Die nachstehenden Abbildungen stellen die Erkenntnisse, welche Kummer im Zuge seiner Untersuchungen festgestellt hat (Vgl. Kapitel 5.7 Korrelationen S. 81) dar. Aufgezeigt werden die Verteilungsfunktionen der Summe, der Differenz, des Produktes und des Quotienten zweier Parameter, welche mit unterschiedlichen Korrelationskoeffizienten modelliert und simuliert wurden.

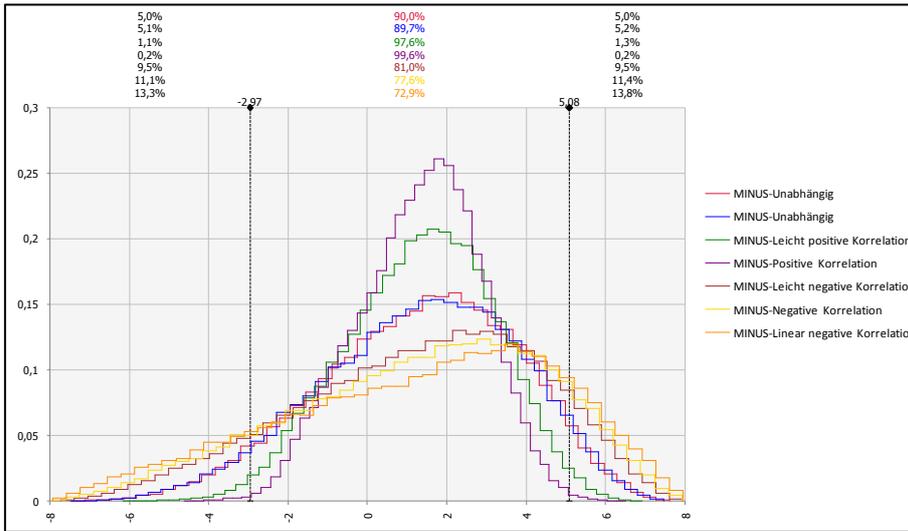


Anhang - Bild 1 Verteilungsfunktion – Addition zweier Parameter in Abhängigkeit von verschiedenen Korrelationen²⁸⁵

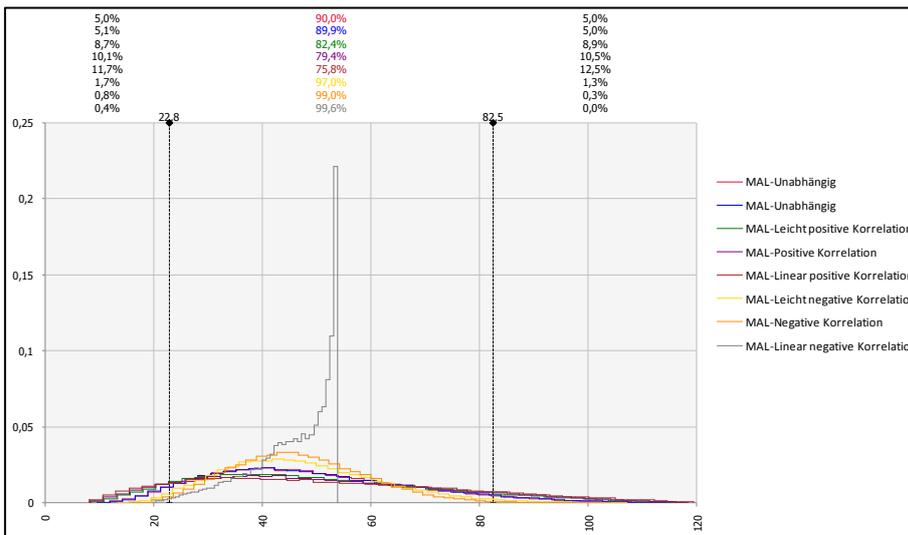


Anhang - Bild 2 Verteilungsfunktion – Subtraktion zweier Parameter in Abhängigkeit von verschiedenen Korrelationen²⁸⁶

²⁸⁵ KUMMER, M. K.: Einsatz der Monte-Carlo Simulation zur Berechnung von Baukosten und Bauzeit. S. 53.



Anhang - Bild 3 Verteilungsfunktion – Subtraktion zweier Parameter in Abhängigkeit von verschiedenen Korrelationen (ohne lineare positive Korrelation)²⁸⁷

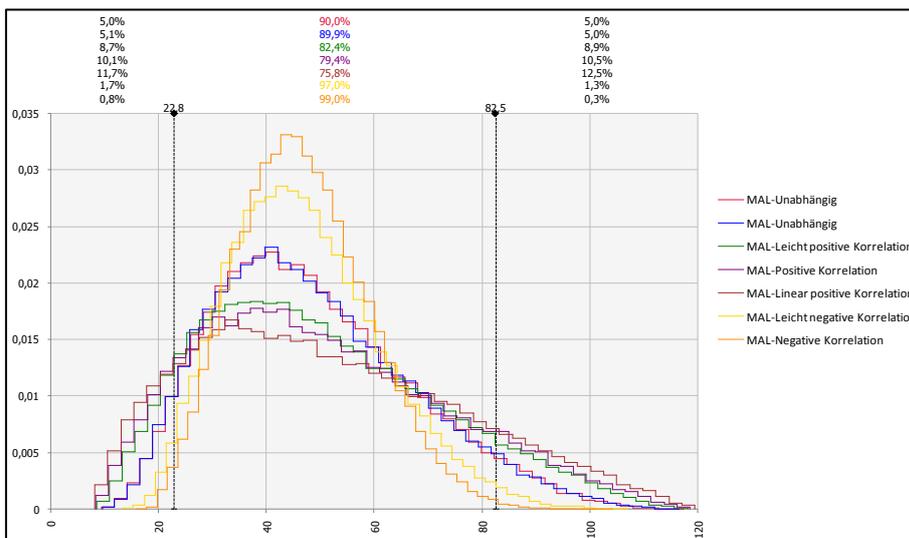


Anhang - Bild 4 Verteilungsfunktion – Multiplikation zweier Parameter in Abhängigkeit von verschiedenen Korrelationen²⁸⁸

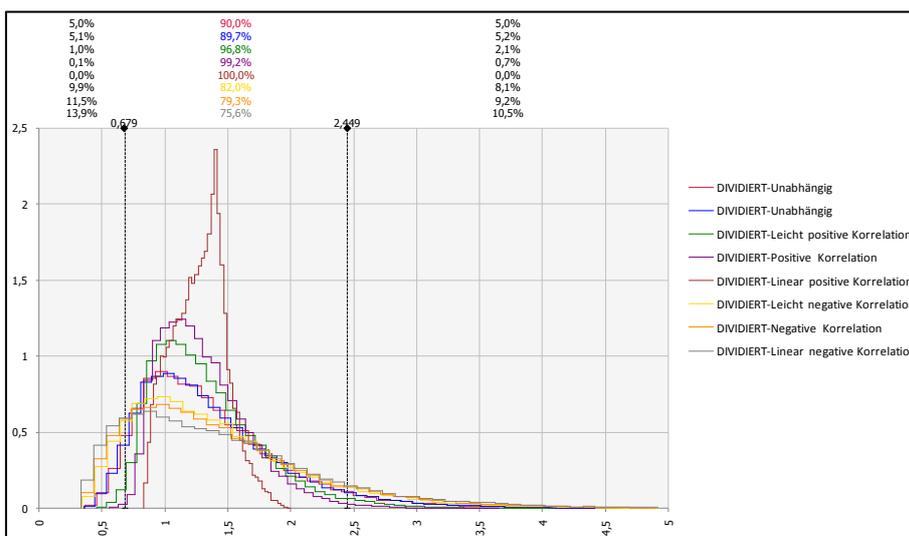
²⁸⁶ KUMMER, M. K.: Einsatz der Monte-Carlo Simulation zur Berechnung von Baukosten und Bauzeit. S. 54.

²⁸⁷ KUMMER, M. K.: Einsatz der Monte-Carlo Simulation zur Berechnung von Baukosten und Bauzeit. S. 55.

²⁸⁸ KUMMER, M. K.: Einsatz der Monte-Carlo Simulation zur Berechnung von Baukosten und Bauzeit. S. 56



Anhang - Bild 5 Verteilungsfunktion – Multiplikation zweier Parameter in Abhängigkeit von verschiedenen Korrelationen (ohne negative lineare Korrelation)²⁸⁹



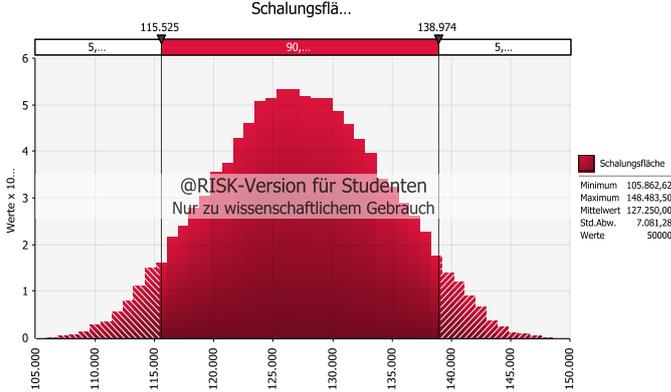
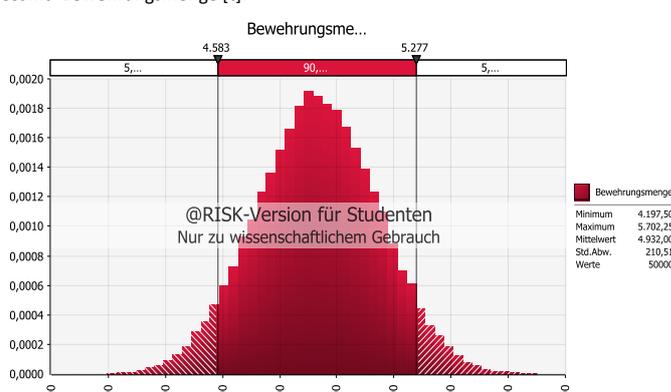
Anhang - Bild 6 Verteilungsfunktion – Division zweier Parameter in Abhängigkeit von verschiedenen Korrelationen²⁹⁰

²⁸⁹ KUMMER, M. K.: Einsatz der Monte-Carlo Simulation zur Berechnung von Baukosten und Bauzeit. S. 57.

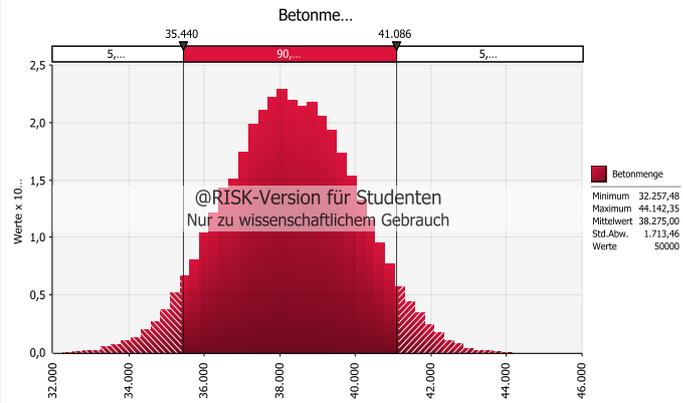
²⁹⁰ KUMMER, M. K.: Einsatz der Monte-Carlo Simulation zur Berechnung von Baukosten und Bauzeit. S. 58.

A.1.4 Simulationsergebnisse der Versuchsreihe Nr. 1/20/x

Versuch Nr.: 1/20/M

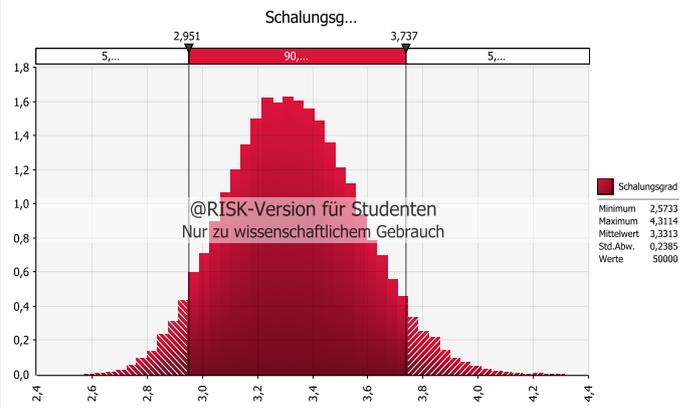
Versuchsordnung	
Nr. 1/20/M	Berechnung der Einzelkosten - Einfluss der Mengenänderung
Ziel	Es soll der Einfluss der Mengenänderung auf die Einzelkosten der Stahlbetonarbeiten ermittelt werden.
Versuchsaufbau	<p>Zur Berechnung der Einzelkosten wird die Monte-Carlo-Methode herangezogen. Als Probenerhebungsmethode wurde das Latin Hypercube Verfahren gewählt. Die Anzahl der Iterationen beträgt 50.000. Für die Eingangsgrößen werden die Daten aus der deterministischen Berechnung übernommen.</p> <p>Für die Mengen werden Dreiecksverteilungsformen angenommen. Der Erwartungswert wird aus der deterministischen Berechnung übernommen. Die Minimal- und Maximalwerte bilden eine Bandbreite von $\pm 20\%$ vom EW.</p>
Ergebnisse	<p>Mengen: Gesamt- Schalungsfläche [m²):</p>  <p>Gesamt- Bewehrungsmenge [t]:</p> 

Gesamt- Betonmenge [m³]:

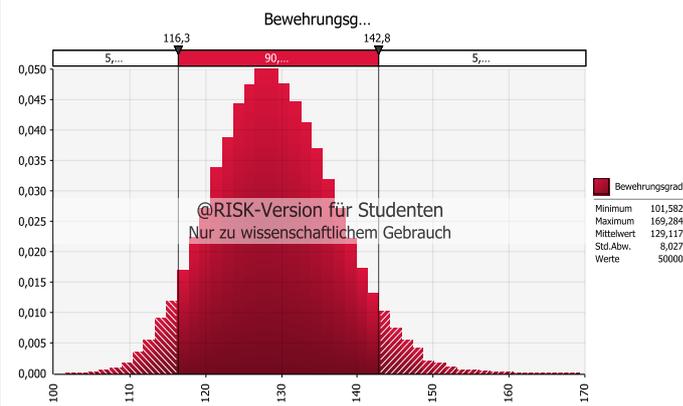


Shalungs- und Bewehrungsgrad:

Shalungsgrad [m²/m³]:

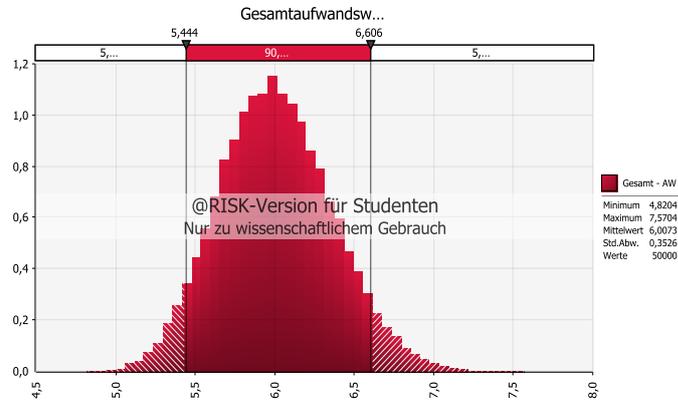


Bewehrungsgrad [kg/m³]:



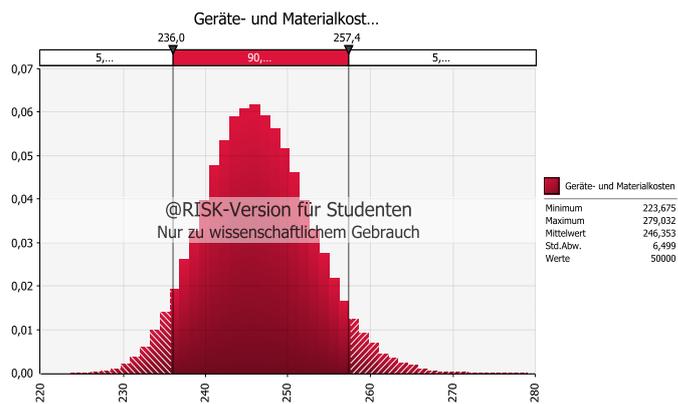
Aufwandswerte:

Gesamtaufwandswert - STB-Arbeiten [Std/m³]:

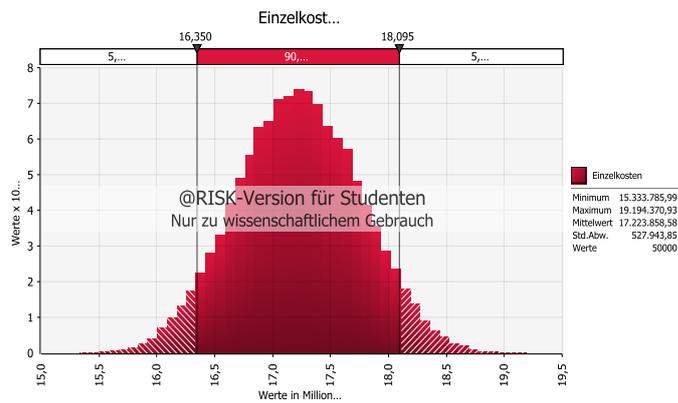


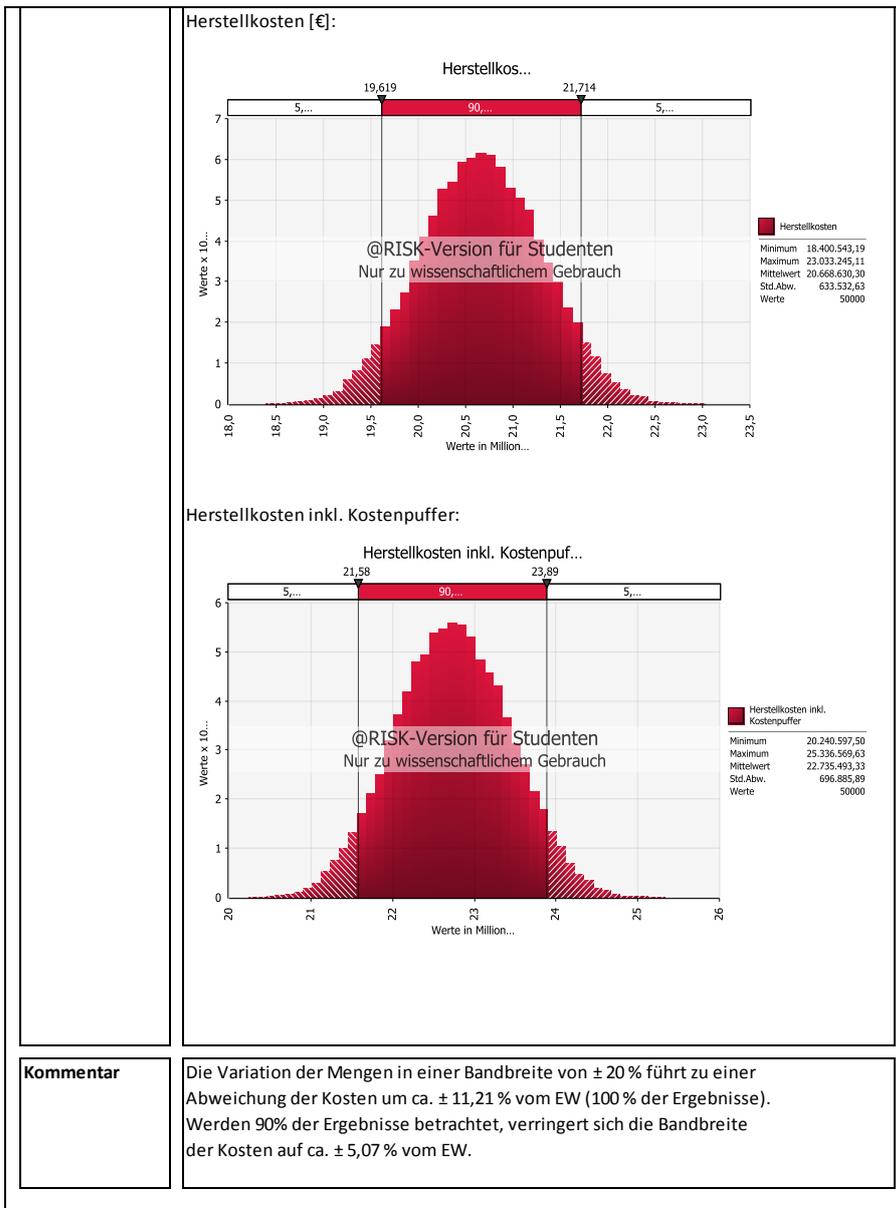
Kosten:

Geräte- und Materialkosten [€/m³]:



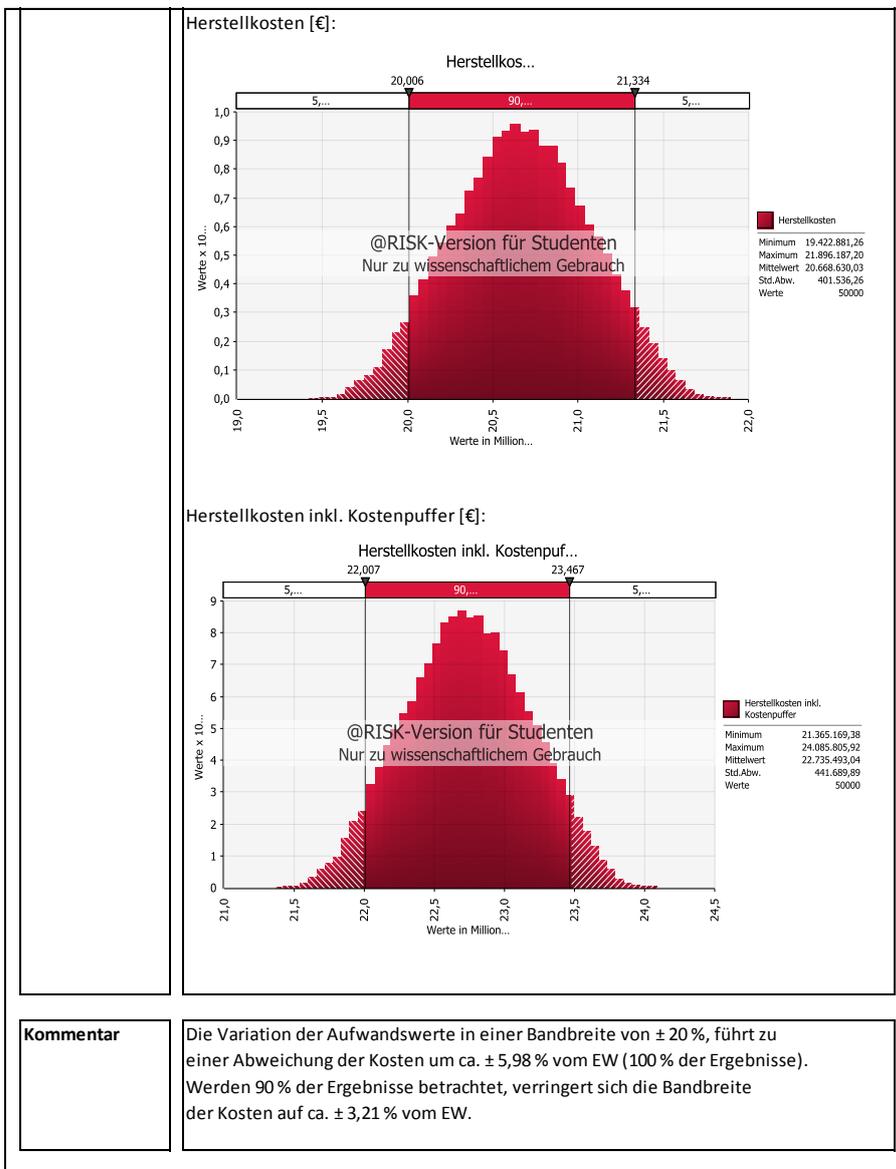
Einzelkosten [€]:





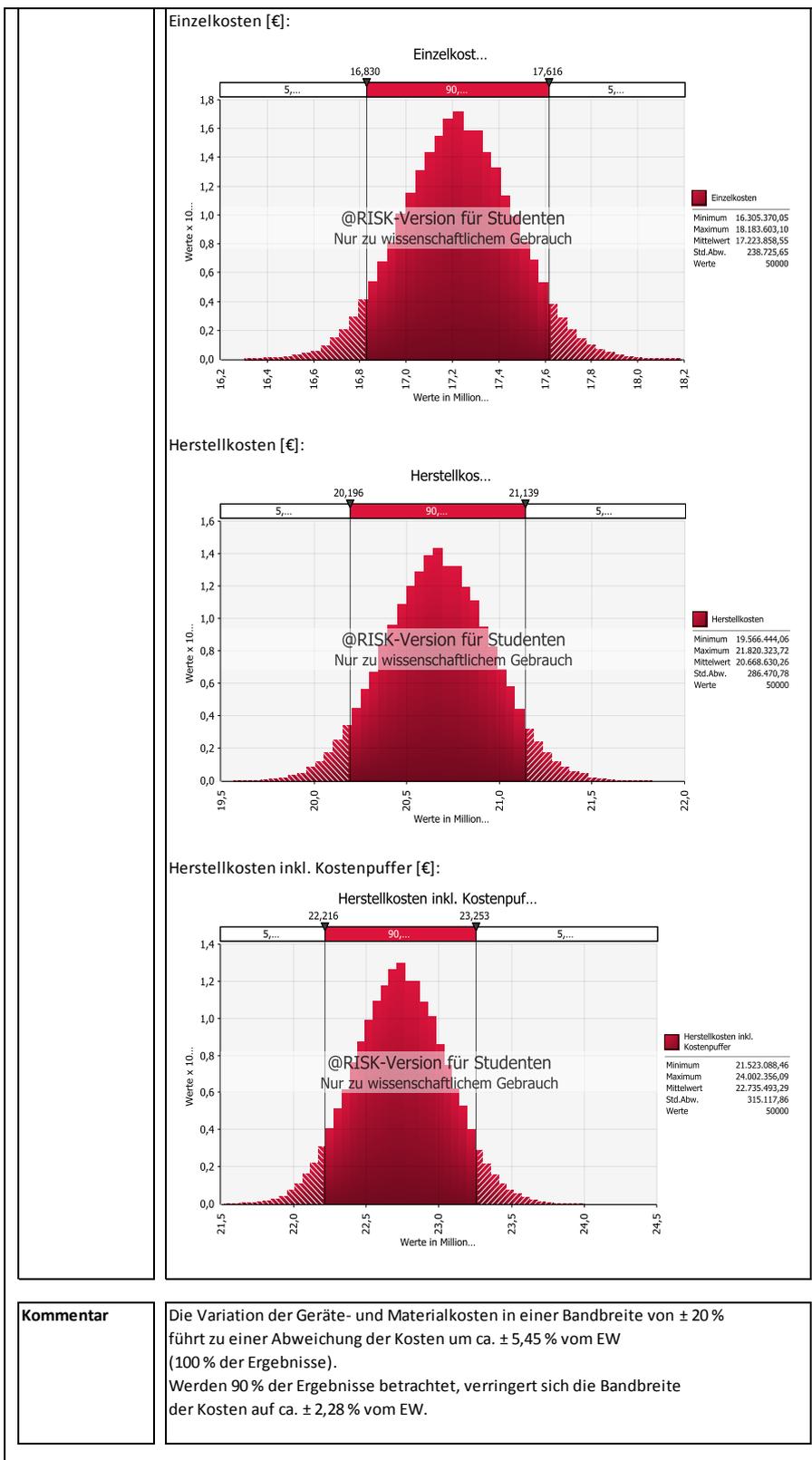
Versuch Nr.: 1/20/AW

Versuchsordnung	
Nr. 1/20/AW	Berechnung der Einzelkosten - Einfluss der Änderung des AW
Ziel	Es soll der Einfluss der Änderung des Aufwandwertes auf die Einzelkosten der Stahlbetonarbeiten ermittelt werden.
Versuchsaufbau	<p>Zur Berechnung der Einzelkosten wird die Monte-Carlo-Methode herangezogen. Als Probenerhebungsmethode wurde das Latin Hypercube Verfahren gewählt. Die Anzahl der Iterationen beträgt 50.000. Für die Eingangsgrößen werden die Daten aus der deterministischen Berechnung übernommen.</p> <p>Für die Aufwandswerte werden Dreiecksverteilungsformen angenommen. Der Erwartungswert wird aus der deterministischen Berechnung übernommen. Die Minimal- und Maximalwerte bilden eine Bandbreite von ± 20 % vom EW.</p>
Ergebnisse	<p>Mengen:</p> <p>Gesamt- Schalungsfläche: 127.250,00 m² Gesamt- Bewehrungsmenge: 4.932,00 t Gesamt- Betonmenge: 38.275,00 m³</p> <p>Schalungs- und Bewehrungsgrad:</p> <p>Schalungsgrad: 3,32 m²/m³ Bewehrungsgrad: 128,86 kg/m³</p> <p>Aufwandswerte:</p> <p>Gesamtaufwandswert - STB-Arbeiten [Std/m³):</p> <p style="text-align: center;">Gesamtaufwandsw...</p> <p>Kosten:</p> <p>Geräte- und Materialkosten: 12,91 €/m³</p> <p>Einzelkosten [€]:</p> <p style="text-align: center;">Einzelkost...</p>



Versuch Nr. 1/20/K

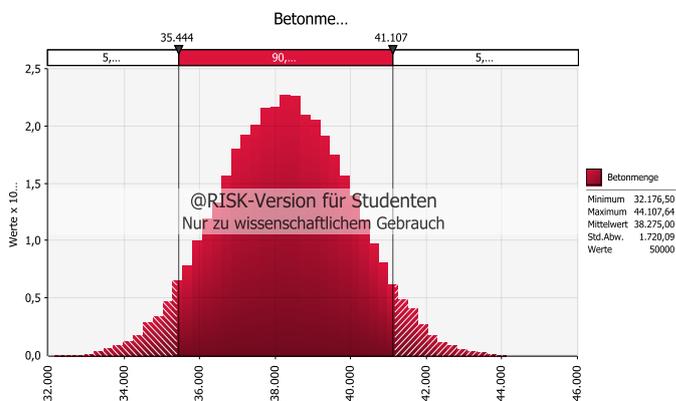
Versuchsordnung	
Nr. 1/20/K	Einfluss der Änderung der Geräte- & Materialkosten
Ziel	Es soll der Einfluss der Änderung der Geräte- und Materialkosten auf die Einzelkosten der Stahlbetonarbeiten ermittelt werden.
Versuchsaufbau	<p>Zur Berechnung der Einzelkosten wird die Monte-Carlo-Methode herangezogen. Als Probenerhebungsmethode wurde das Latin Hypercube Verfahren gewählt. Die Anzahl der Iterationen beträgt 50.000. Für die Eingangsgrößen werden die Daten aus der deterministischen Berechnung übernommen.</p> <p>Für die Geräte- und Materialkosten werden Dreiecksverteilungsformen angenommen. Der Erwartungswert wird aus der deterministischen Berechnung übernommen. Die Minimal- und Maximalwerte bilden eine Bandbreite von $\pm 20\%$ vom EW.</p>
Ergebnisse	<p>Mengen: Gesamt- Schalungsfläche: 127.250,00 m² Gesamt- Bewehrungsmenge: 4.932,00 t Gesamt- Betonmenge: 38.275,00 m³</p> <p>Schalungs- und Bewehrungsgrad: Schalungsgrad: 3,32 m²/m³ Bewehrungsgrad: 128,86 kg/m³</p> <p>Gesamtaufwandswert - STB-Arbeiten: 6,00 Std/m³</p> <p>Kosten: Geräte- und Materialkosten [€/m³]:</p> <div style="text-align: center;"> <p>Geräte- und Materialkost...</p> <p>5... 90... 5...</p> <p>235,83 256,37</p> <p>0,07 0,06 0,05 0,04 0,03 0,02 0,01 0,00</p> <p>220 225 230 235 240 245 250 255 260 265 270 275</p> <p>Minimum 222,125 Maximum 271,197 Mittelwert 246,122 Std.-Abw. 6,237 Werte 50000</p> <p>@RISK-Version für Studenten Nur zu wissenschaftlichem Gebrauch</p> </div>



Versuch Nr.: 1/40/AP

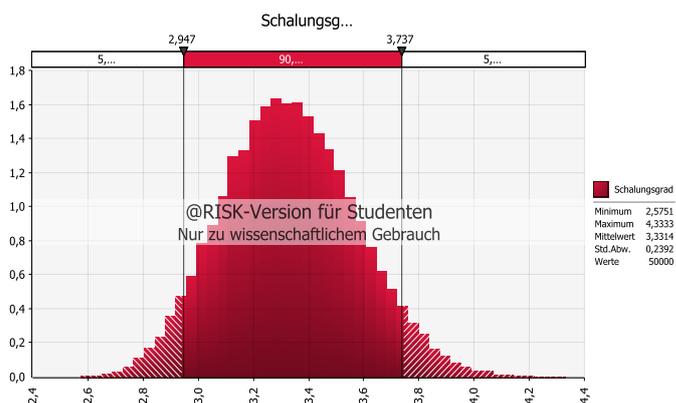
Versuchsordnung	
Nr. 1/2/4	Berechnung der Einzelkosten - Einfluss der Änderung aller Parameter
Ziel	Es soll der Einfluss der Änderung der Eingangsparameter auf die Einzelkosten der Stahlbetonarbeiten ermittelt werden.
Versuchsaufbau	<p>Zur Berechnung der Einzelkosten wird die Monte-Carlo-Methode herangezogen. Als Probenerhebungsmethode wurde das Latin Hypercube Verfahren gewählt. Die Anzahl der Iterationen beträgt 50.000. Für die Eingangsgrößen werden die Daten aus der deterministischen Berechnung übernommen.</p> <p>Für die Eingangswerte werden Dreiecksverteilungsformen angenommen. Die Erwartungswerte werden aus der deterministischen Berechnung übernommen. Die Minimal- und Maximalwerte bilden eine Bandbreite von $\pm 20\%$ vom EW.</p>
Ergebnis	<p>Mengen: Gesamt- Schalungsfläche [m²]:</p> <p style="text-align: center;">@RISK-Version für Studenten Nur zu wissenschaftlichem Gebrauch</p> <p>Gesamt- Bewehrungsmenge [t]:</p> <p style="text-align: center;">@RISK-Version für Studenten Nur zu wissenschaftlichem Gebrauch</p>

Gesamt- Betonmenge [m³]:

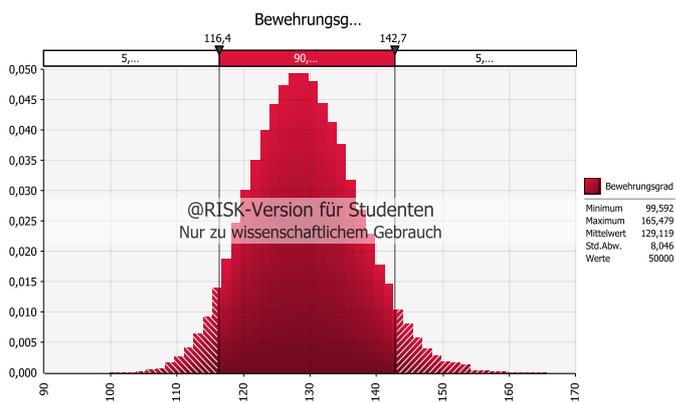


Shalungs- und Bewehrungsgrad:

Shalungsgrad [m²/m³]:

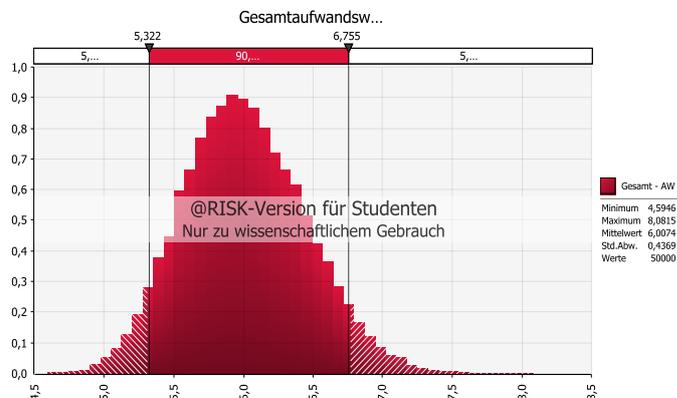


Bewehrungsgrad [kg/m³]:



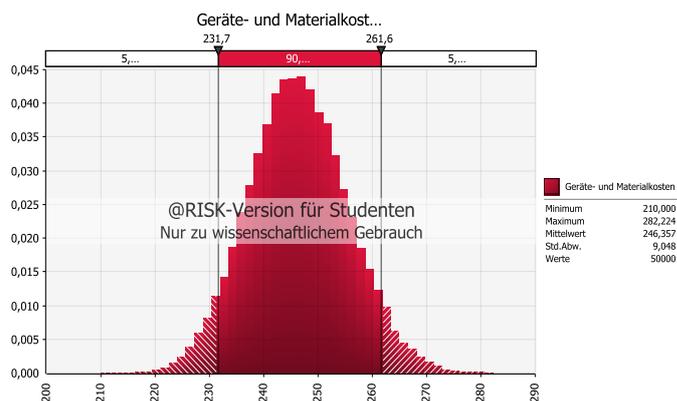
Aufwandswerte:

Gesamtaufwandswert - STB-Arbeiten [Std/m³]:

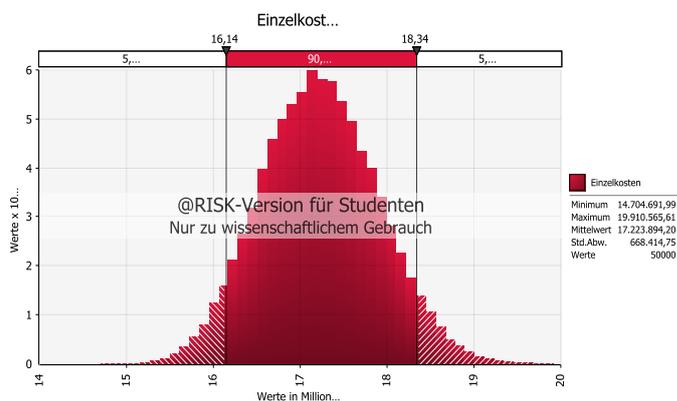


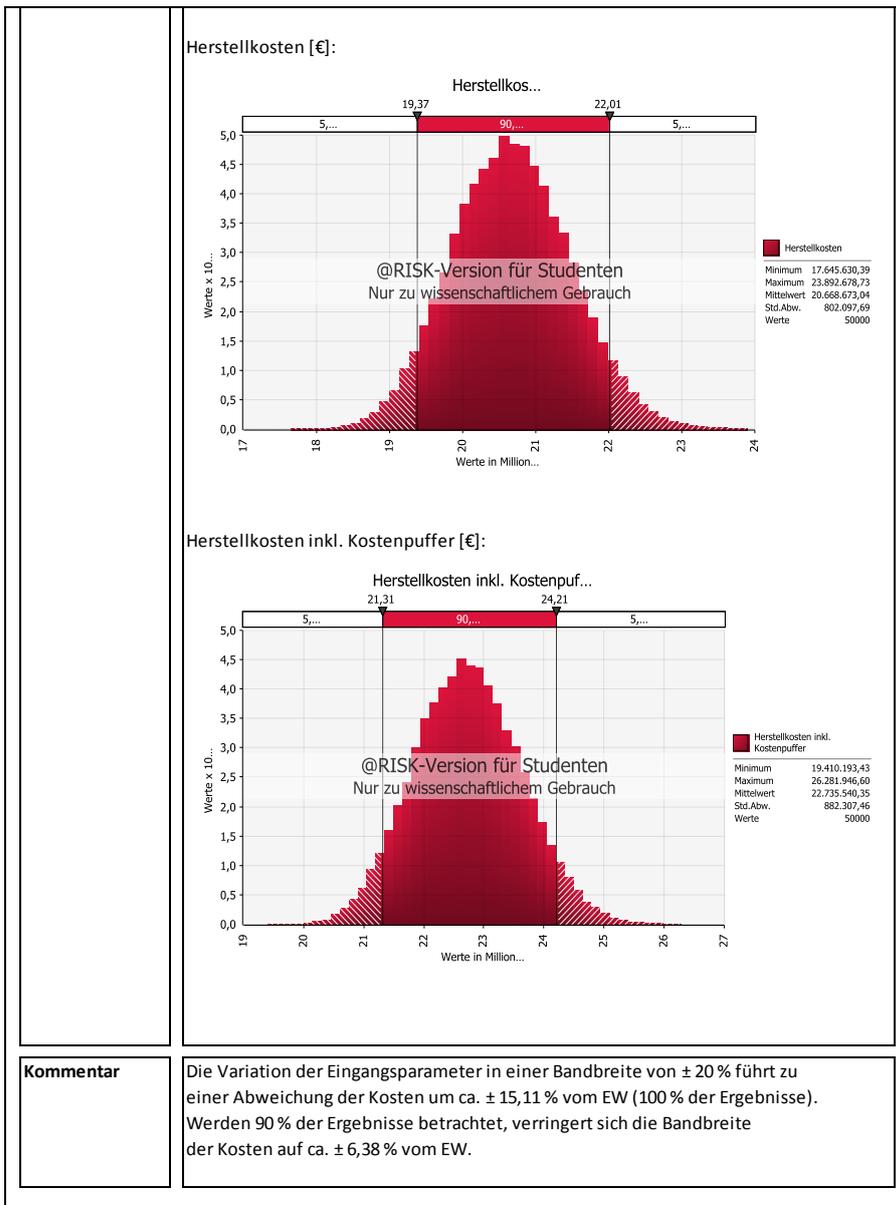
Kosten:

Geräte- und Materialkosten [€/m³]:



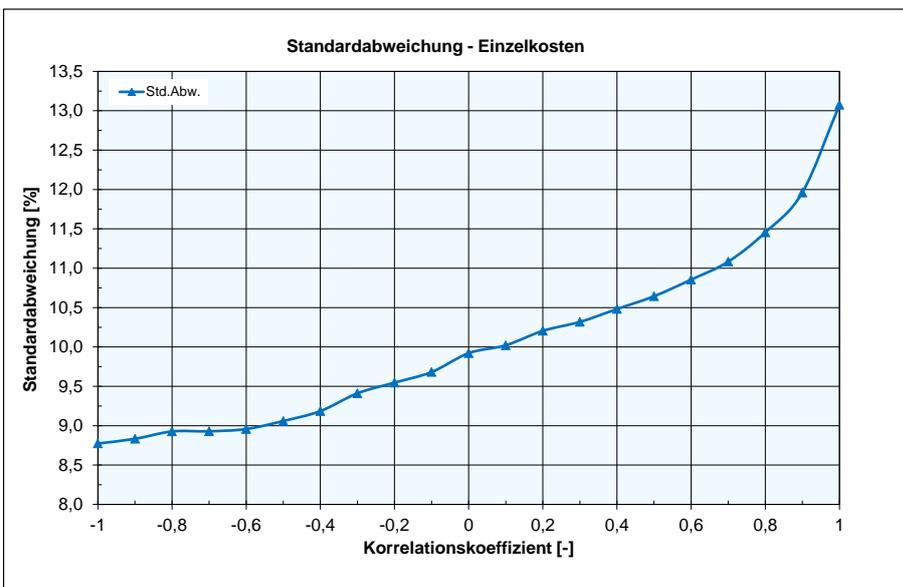
Einzelkosten [€]:



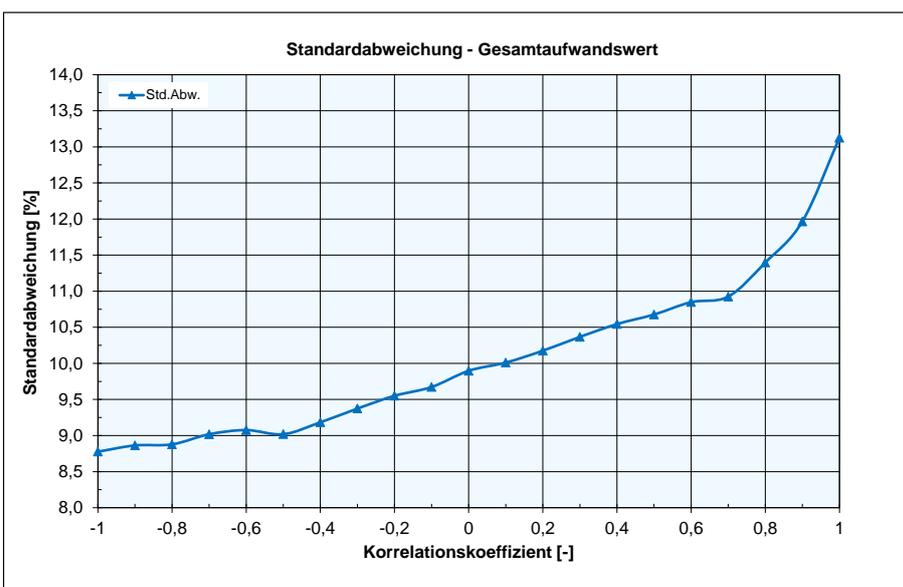


A.1.5 Verlauf der Standardabweichung – Versuch-Nr.: 5/2

Die nachfolgenden Abbildungen stellen den Vergleich von zwei Verläufen der Standardabweichung in Abhängigkeit des gewählten Korrelationskoeffizienten dar. In Anhang - Bild 7 ist der Verlauf der Standardabweichung aus der Simulation der Einzelkosten, mit einer modifizierten Korrelationsmatrix dargestellt. Das bedeutet, dass die unabhängigen Größen nicht in der Matrix dargestellt wurden. Im Gegensatz dazu stellt der Verlauf in Anhang - Bild 8 die Ergebnisse der Simulation, bei der die beziehungslosen Größen in der Korrelationsmatrix belassen wurden dar.



Anhang - Bild 7 Einfluss der Korrelationen auf die Einzelkosten - Standardabweichung – Korrelationsmatrix modifiziert



Anhang - Bild 8 Einfluss der Korrelationen auf die Einzelkosten - Standardabweichung – Korrelationsmatrix nicht modifiziert

Literaturverzeichnis

- ALFEN, H. W.; DAUBE, D.; FRANK-JUNGBECKER, A.; GLEIßNER, W.; LEIDEL, K.; RIEMANN, A.; WOLFRUM, M. Schriftenreihe der Professur Betriebswirtschaftslehre im Bauwesen: Lebenszyklusorientiertes Risikomanagement für PPP-Projekte im öffentlichen Hochbau, Abschlussbericht zum Forschungsprojekt. Stand: Okt. 2010, Weimar, Weimar, 2010.
- Austrian Standards Institute: B 1801-1 Bauprojekt- und Objektmanagement, Teil1: Objekterrichtung, Wien, 2009.
- Austrian Standards Institute: ÖNORM ISO 31000: Risikomanagement, Grundsätze und Richtlinien (ISO 31000:2009) = Risk management = Management du risque. Ausg.: 2010-02-01, Ident (IDT) mit ISO 31000:2009 (Übers.), Wien, 2010.
- Austrian Standards Institute. ON-Regel: ONR 49000: Risikomanagement für Organisationen und Systeme, Begriffe und Grundlagen, Wien, 2010.
- Austrian Standards Institute. ON-Regel: ONR 49001: Risikomanagement für Organisationen und Systeme, Risikomanagement, Wien, 2010.
- BALZERT, H. Lehrbücher der Informatik: Lehrbuch der Software-Technik. 3. Aufl, Heidelberg [u.a.], 2009.
- Bayerischer Bauindustrieverband e.V.: Baumarkt: Theorie für die Praxis.
- BEISLER, M.; KLAPPERICH, H.; JACOB, D.: Modelling of input data uncertainty for the financial evaluation of complex infrastructure projects, 2013.
- BRÜHWILER, B. QuickInfo: Risikomanagement nach ISO 31000 und ONR 49000, Mit 13 Praxisbeispielen. 2., aktualisierte und erw. Aufl, Wien, 2012.
- Bundesverband der Deutschen Transportbetonindustrie e.V. (BTB): Wirtschaftsdaten - Transportbetonproduktion in Europa, URL: <http://www.transportbeton.org/branche/wirtschaftsdaten/>, Datum des Zugriffs: 13.02.2014.
- BUSCH, T. A.: Risikomanagement in Generalunternehmungen, Identifizierung operativer Projektrisiken und Methoden zur Risikobewertung, Zürich, 2003.
- CHAPMAN, C. B.; WARD, S.: Project risk management, Processes, techniques, and insights. 2nd ed, Hoboken, NJ, 2003.

- CHAU, K. W.: Monte Carlo simulation of construction costs using subjective data, 1995.
- CHAU, K. W.: The validity of triangular distribution assumption in Monte Carlo simulation of construction costs: empirical evidence from Hong Kong, 1995.
- DANBAUER, D.: Musiktheater Linz,
URL: <http://www.diebauzeitung.at/musiktheater-linz-112192.html>, Datum des Zugriffs: 10.11.2013.
- DAUM, A.; GREIFE, W.; PRZYWARA, R. Studium: BWL für Ingenieure und Ingenieurinnen, Was man über Betriebswirtschaft wissen sollte ; mit 31 Tabellen. 1. Aufl, Wiesbaden, 2010.
- DAYYARI, A.: Beitrag zur projektspezifischen Ausrichtung eines feed-forward- und feed-back-orientierten Risikomanagements für Bauprojekte, Kassel, 2008.
- Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 276-1: Kosten im Bauwesen - Teil 1: Hochbau, Berlin, 2008.
- Duden: Deutsches Universalwörterbuch. 6., überarbeitete und erweiterte Aufl, Mannheim, 2007.
- DUSATKO, I.; KALUSCHE, W.: Kostensicherheit bei Bauprojekten - Bessere Voraussetzungen durch die DIN 276-1, 2009.
- ECKSTEIN, P. P. SpringerLink : Bücher: Statistik für Wirtschaftswissenschaftler, Eine realdatenbasierte Einführung mit SPSS. 3. Aufl. 2012, Wiesbaden, 2012.
- F.A. BROCKHAUS. 200 Jahre Brockhaus 1805 - 2005: Brockhaus Enzyklopädie, In 30 Bänden. 21., völlig neu bearb. Aufl, Leipzig, Mannheim, op. 2006.
- F.A. BROCKHAUS: Der große Brockhaus - das Lexikon in einem Band. 6., vollst. aktualisierte und überarb. Aufl, Gütersloh, München, 2013.
- FEIK, R. Schriftenreihe: Elektronisch gestütztes Risikomanagement im Bauwesen, Univ, Norderstedt, Innsbruck, 2006.
- FLEMMING, C.: 4-Stufen-Risikosimulation zur Ermittlung von Mittelabflüssen unter Berücksichtigung des geplanten Baufortschritts, 2012.
- FLEMMING, C.; NETZKER, M.; SCHÖTTLE, A.: Probabilistische Berücksichtigung von Kosten- und Mengenrisiken in der Angebotskalkulation, 2011a.
- FLEMMING, C.; NETZKER, M.; SCHÖTTLE, A.: Probabilistische Berücksichtigung von Kosten- und Mengenrisiken in der Angebotskalkulation, 2011b.

- FRÖCH, G.; TAUTSCHNIG, A.; SANDER, P.: Probabilistische Kosten-
ermittlung im Hochbau.
- Gabler Wirtschaftslexikon,
URL: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/5074/komplexitaet-v8.html>, Datum des Zugriffs: 15.01.2014.
- Gabler Wirtschaftslexikon,
URL: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/54284/kosten-v7.htm>, Datum des Zugriffs: 16.02.2014.
- Gabler Wirtschaftslexikon,
URL: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/7702/kostenremanenz-v6.html>, Datum des Zugriffs: 17.02.2014.
- Gabler Wirtschaftslexikon,
URL: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/11220/interventionspunkte-v8.html>, Datum des Zugriffs: 26.02.2014.
- Gabler Wirtschaftslexikon,
URL: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/5273/schiefe-v8.html>, Datum des Zugriffs: 03.03.2014.
- Gabler Wirtschaftslexikon,
URL: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/10563/korrelation-v8.html>, Datum des Zugriffs: 05.03.2014.
- GIRMSCHEID, G. VDI-Buch: Strategisches Bauunternehmensmanagement, Prozessorientiertes integriertes Management für Unternehmen in der Bauwirtschaft, Berlin, Heidelberg, 2010.
- GIRMSCHEID, G.; BUSCH, T. A.: Unternehmensrisikomanagement in der Bauwirtschaft. 1. Aufl, Berlin, 2008.
- GIRMSCHEID, G.; MOTZKO, C. SpringerLink : Bücher: Kalkulation, Preisbildung und Controlling in der Bauwirtschaft, Produktionsprozessorientierte Kostenberechnung und Kostensteuerung. 2. Aufl, Berlin, 2013.
- GLEIßNER, W.: Risikomanagement und risikoorientierte Projektkalkulation in der Bauwirtschaft.
- GLEIßNER, W.: "Quantitative Verfahren im Risikomanagement: Risikoaggregation, Risikomaße und Performancemaße", 2011.
- GLEIßNER, W.; MOTT, B.; SCHENK, M.: Risikomanagement in der Bauwirtschaft, Praktische Umsetzung am Beispiel der Bauer AG, 2007.
- GLEIßNER, W.; ROMEIKE, F.: "Die größte anzunehmende Dummheit im Risikomanagement", 2011.

- HECK, D.: LV Skriptum: Bauwirtschaftslehre. 2011. Auflage, Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft.
- HENZE, N. Mathematik für Einsteiger: Stochastik für Einsteiger, Eine Einführung in die faszinierende Welt des Zufalls ; mit über 200 Übungsaufgaben und Lösungen. 7., überarbeitete und erweiterte Auflage, Wiesbaden, 2008.
- HOFSTADLER, C.: Monte-Carlo Simulation im Baubetrieb - Verteilungsfunktion für Aufwandswerte bei Schalarbeiten, Herleitung der Verteilungsfunktion aus den Ergebnissen einer Expertenbefragung.
- HOFSTADLER, C.: Risikofaktor Baugrund - Risikofaktoren aus technischer und stochastischer Sicht, Präsentation im Zuge des ZT-Forums 2012.
- HOFSTADLER, C.: Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb, Berlin Heidelberg, 2007.
- HOFSTADLER, C. VDI-Buch: Schalarbeiten, Technologische Grundlagen, Sichtbeton, Systemauswahl, Ablaufplanung, Logistik und Kalkulation, Berlin [u.a.], 2008.
- HOFSTADLER, C.: Bauzeit und Baukosten für Stahlbetonarbeiten - Berechnungsmethoden und Anwendungen, 2009.
- HOFSTADLER, C.; FRANZL, G.: Bewehrungsarbeiten im Baubetrieb, [Deutsch Goritz], 2011.
- JACOB, D.; STUHR, C.; WINTER, C.: Kalkulieren Im Ingenieurbau, Strategie - Kalkulation - Controlling, 2010.
- KNIGHT, F. H. A Phoenix book, P396: Risk, uncertainty and profit, Chicago, 1971.
- KOCHENDÖRFER, B.; LIEBCHEN, J.; VIERING, M. Leitfaden des Baubetriebs und der Bauwirtschaft: Bau-Projekt-Managementl, Grundlagen und Vorgehensweisen. 4., aktualis. u. erw. Aufl, Wiesbaden, 2008.
- KREMPL, S.: Korrelationen bei Aufwandswerten für Schal- und Bewehrungsarbeiten, Graz, Techn. Univ., Master-Arb., 2012, 2012.
- KUMMER, M. K.: Einsatz der Monte-Carlo Simulation zur Berechnung von Baukosten und Bauzeit, Graz, Techn. Univ., Master-Arb., 2012.
- KUMMER, M. K.: Unveröffentlichtes Arbeitspapier, Graz, 2013.
- LECHNER, H. Projektmanagement in der Bau- und Immobilienwirtschaft: Kostenplanung, Normen, Regelwerke. 1. Auflage, Graz, 2010.

- LECHNER, H.: Planer sollen für Kosten haften, obwohl sie nicht die Preise machen, 2012.
- LINK, D.; Stempkowski Reiner: Grundlagen, praktische Anwendungen und Nutzen des Risikomanagements im Bauwesen, 2004.
- MEINEN, H.: Quantitatives Risikomanagement in der Bauwirtschaft.
- NGUYEN, T.; ROMEIKE, F.: Versicherungsbetriebslehre, Grundlagen für Studium und Praxis. 1., Aufl, Wiesbaden, 2012.
- OEPEN, R.-P.; GLEIBNER, W.; HEINE, R.; KLÖZER, H.; WIECZOREK, R. Praxis: Risikoorientierte Bauprojekt-Kalkulation, Eine innovative Methode zur Risikobeherrschung und Eindämmung von Ausreißer-Projekten, 2011.
- OLG Brandenburg: Urteil vom 09.04.1999 – 4U 128/98, In: BauR 1999, 1202.
- Palisade Corporation: Benutzerhandbuch für @Risk, Risikoanalysen- und Simulations- Add-In für Microsoft® Excel, URL: http://www.palisade.com/downloads/manuals/DE/RISK5_DE.pdf, Datum des Zugriffs: 27.02.2014.
- Palisade Corporation, URL: <http://www.palisade.com/risk/de/>, Datum des Zugriffs: 04.03.2014.
- PAPULA, L.: Mathematik für Ingenieure und Naturwissenschaftler. 2., verb. Aufl, Wiesbaden, 1997.
- RAABER, N.; STADLER, G. Schriftenreihe des Instituts für Baubetrieb und Bauwirtschaft: Beitrag zu Ausschreibung und Vergabe von Bauleistungen. 1. Aufl, Graz, 2003.
- RESCHER, N. Grundlagen der Kommunikation: Wissenschaftlicher Fortschritt, Eine Studie über die Ökonomie der Forschung, Berlin, New York, 1982.
- SACHS, M. Mathematik-Studienhilfen: Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik, Für Ingenieurstudenten an Fachhochschulen. 4., aktualisierte Aufl, München, 2013.
- SANDER, P.: Probabilistische Risiko-Analyse für Bauprojekte, Entwicklung eines branchenorientierten softwaregestützten Risiko-Analyse-Systems. 1. Aufl, Innsbruck, 2012.
- SCHACH, R.; JEHLE, P.; NAUMANN, R. VDI-Buch: Transrapid und rad-schiene-hochgeschwindigkeitsbahn, Ein gesamtheitlicher systemvergleich, Berlin, 2006.
- SCHLEICHER, M.: Komplexitätsmanagement bei der Baupreisermittlung im Schlüsselfertigbau, Kassel, 2012.

- SCHUH, G. Handbuch Produktion und Management: Innovationsmanagement, Handbuch Produktion und Management 3. 2., Aufl. 2012, Berlin.
- SPANG, K.; DAYYARI, A.: Konzepte und Entwicklungen beim Risikomanagement komplexer Bauprojekte, Systematik der Kostenrisiken am Beispiel Gotthard Basistunnel, Kassel, 2005.
- Statistia - Statistik Lexikon,
URL: <http://de.statista.com/statistik/lexikon/definition/140/verteilungsfunktion/>, Datum des Zugriffs: 03.03.2014.
- STEMPKOWSKI, R.: Risiko- & Kostenprognose-Modell, Anwendung des Risikomanagements in der Kostenplanung.
- STEMPKOWSKI, R.; WALDAUER, E.: Risikomanagement Bau, Methoden und Erfahrungen bei der Umsetzung von Risiko- und Chancenmanagement bei Bauprojekten, Wien, 2013.
- Strabag SE: Musiktheater Linz, Klangkörper für das 21. Jahrhundert, 2011.
- TAUTSCHNIG, A.; FRÖCH, G.; SANDER, P.: Erfahrungen mit probabilistischen Kostenermittlungen im Hochbau, 2010.
- TOURAN, A.; Wisner, Edward, P.: Monte Carlo Technique With Correlated Random Variables, 1992.
- WERKL, M.: Risiko- und Nutzenverhalten in der Bauwirtschaft, Eine entscheidungstheoretische Betrachtung im institutionenökonomischen Kontext, Graz, Techn. Univ., Diss., 2013, 2013.
- WIGGERT, M. Schriftenreihe / Institut für Baubetrieb + Bauwirtschaft, Projektentwicklung + Projektmanagement: Risikomanagement von Betreiber- und Konzessionsmodellen, Graz, 2009.
- Wikipedia: Demingkreis, URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Demingkreis>, Datum des Zugriffs: 30.01.2013.

