

MASTERARBEIT



PrecisionTree
Visual Decision Analysis for Spreadsheets



SYSTEMATISCHER VERFAHRENSVERGLEICH ANHAND DER ENTSCHEIDUNGSBAUMTHEORIE BEI STAHLBETONARBEITEN

Manfred Wagendorfer BSc.

Vorgelegt am
Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft
Projektentwicklung und Projektmanagement

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

Mitbetreuender Assistent
Dipl.-Ing. Markus Klaus Kummer, BSc.

Graz am 23. März 2015

MASTERARBEIT

Systematischer Verfahrenvergleich anhand der Entscheidungsbaumtheorie bei Stahlbetonarbeiten

des Studienganges Wirtschaftswissenschaften - Bauingenieurwesen

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

am

Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft

Projektentwicklung und Projektmanagement

zur Erlangung des akademischen Grades Diplom-Ingenieur

Betreuer:

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

Dipl.-Ing. Markus Klaus Kummer, BSc.

vorgelegt von:

Manfred Wagendorfer BSc.

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

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

Graz, am
.....
(Unterschrift)

STATUTORY DECLARATION

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

Graz,
date
(signature)

Anmerkung

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

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen danken, die mir während meiner gesamten akademischen Ausbildung sowie der abschließenden Diplomarbeit mit Rat und Tat zur Seite standen.

Für die äußerst fruchtbringende Betreuung von universitärer Seite bedanke ich mich bei Herrn Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Hofstadler und Herrn Dipl.-Ing. Markus Klaus Kummer.

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

Nicht zuletzt ergeht mein größter Dank an meine Melissa, die mir zu allen Zeiten den nötigen Rückhalt bietet.

Graz, am (Datum)

(Manfred Wagendorfer)

Kurzfassung

Menschen greifen nach der Fähigkeit, die Zukunft voraussagen zu können und bedienen sich dazu verschiedenartigster Hilfsmitteln. Dieses Vorausbestimmen künftiger Ereignisse lässt sich in der Praxis durch Angaben von Eintrittswahrscheinlichkeiten deuten bzw. beschreiben. Es wird daher versucht, die Ausgänge unsicherer Entscheidungssituationen der Zukunft, durch subjektive Einschätzungen in der Gegenwart zu determinieren.

Die vorliegende Arbeit setzt sich im Speziellen mit Entscheidungssituationen unter Unsicherheit auseinander. Es werden zunächst praktische Problemlösungsstrategien beleuchtet, ehe auf entscheidungstheoretische Urteilsmethoden eingegangen wird. Um Entscheidungen, die einer umfassenden Betrachtung bedürfen, treffen zu können, müssen a priori Modelle gebildet werden. Unter Einbezug von Risiken und Chancen, während des Entscheidungsprozesses, können aus stochastischen bzw. modifizierten deterministischen Modellen, quantitative Aussagen gewonnen werden. Die Modellbildung sowie die zugehörige Darstellung und Auswertung erfolgt in MS Excel mit Hilfe der Add-ins PrecisionTree und @Risk.

Im Fokus steht die Ermittlung der optimalen Anzahl an Fertigungsabschnitten einer Stahlbetonregelgeschossdecke. Dazu werden die Prozesse Schalen, Bewehren und Betonieren in Abhängigkeit der jeweiligen Anzahl der Abschnitte betrachtet.

Darüber hinaus kann diese Methodik auch auf andere wirtschaftliche und auch sozioökonomische Fragestellungen bzw. Entscheidungssituationen angewandt werden.

Abstract

Humans reaching for the ability to predict the future utilize various tools. This forecast of determining future events can be interpreted and described in practice by the probability of occurrence. It is therefore attempted to determine the output of uncertain decision situations of the future through subjective assessments in the present.

The present work specifically addresses decision problems subjected to uncertainty. The first step is to highlight practical problem solving strategies and subsequently to demonstrate decision-theoretic judgment methods. In order to be able to make decisions, which require comprehensive assessment, appropriate models have to be created first. With the inclusion of risk and opportunities during the decision process, quantitative information can be obtained from stochastic and modified deterministic models. The modeling and the associated representation and evaluation are conducted in MS Excel using the Add-ins PrecisionTree and @Risk.

The focus lies on determining the optimal number of manufacturing sections of a reinforced concrete floor slab. For this purpose the processes of shuttering, reinforcement and concreting are considered in relation to the respective number of sections.

Furthermore, this methodology can be applied on other economic and socioeconomic issues and decision situations.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Umgang mit beschränkten Informationen im Projektmanagement	2
1.2	Ausgangssituation	4
1.3	Methodik	6
1.4	Zielformulierung	6
1.5	Aufbau der Arbeit	7
2	Entwicklung von Problemlösungsstrategien als Grundlage zur Entscheidungsfindung	8
2.1	Der Problemlösungsprozess	8
2.1.1	Mechanischer Ablaufplan	11
2.1.2	Systematischer Ansatz	12
2.2	Intuitive Methoden zur Entscheidungsfindung	13
2.2.1	Heuristiken	14
2.2.2	Versuch und Irrtum (Trial and Error)	17
2.3	Qualitativ analytische Methoden zur Entscheidungsfindung	17
2.4	Quantitativ analytische Methoden zur Entscheidungsfindung	18
2.5	Mathematische Optimierungsverfahren	21
2.6	Expertenbefragungen, Erfahrung, Fachwissen	23
3	Deutungen von Unsicherheiten	25
3.1	Bezeichnungen negativer Erwartungshaltungen	26
3.1.1	Wagnis	26
3.1.2	Gefahr und Risiko	26
3.2	Bezeichnungen positiver Erwartungshaltungen	27
3.3	Erwartungsstruktur unsicherer Ereignisse	28
3.4	Risikoquellen	29
3.5	Allgemeine Berechnungsansätze/Berechnungsmethoden	29
3.5.1	Determinismus	31
3.5.2	Probabilismus/Stochastik	31
4	Grundzüge der Modellierung	33
4.1	Abbildung der Realität	33
4.2	Modellbildung im konstruktiven Ingenieurbau	34
4.3	Modellbildung in der Bauwirtschaft	38
4.4	Modellierung in weiteren Wissenschaftsbereichen	41
4.5	Modellierung von Entscheidungsproblemen	42
4.5.1	Grundsätze eines Basisentscheidungsmodells	42
4.5.2	Systematisierung von Entscheidungsmodellen	43
5	Grundsätze der Entscheidungstheorie	47
5.1	Entscheidungsbegriff	47
5.1.1	Deskriptive Aussagesysteme	48
5.1.2	Präskriptive Verhaltensempfehlungen	48
5.2	Entscheidungskriterien als Entscheidungshilfen bei unsicherer Erwartungsstruktur	49
5.2.1	Maximin- Maximax-Regel	49
5.2.2	Niehans-Savage-Regel	50
5.2.3	Erwartungswert	51
5.2.4	$\sigma - \mu$ - Prinzip	53

5.2.5	Erwartungswert des Nutzens über Bernoulli-Prinzip.....	54
5.2.6	Modalwert.....	54
5.3	Systematisierung der Wahrscheinlichkeitsaussagen.....	55
5.3.1	Klassische Wahrscheinlichkeiten.....	55
5.3.2	Statistische Wahrscheinlichkeiten.....	55
5.3.3	Stochastische Wahrscheinlichkeiten.....	56
5.3.4	Subjektive Wahrscheinlichkeiten.....	57
6	Entscheidungsbaumtheorie	58
6.1	Konzipierung eines Entscheidungsbaumes.....	58
6.2	Berechnung der optimalen Strategie.....	60
6.3	Verwendete Software zur Bildung von Entscheidungsbäumen.....	61
6.3.1	Herkunft und bisherige Verwendung von PrecisionTree.....	62
6.3.2	Modellbildung in PrecisionTree.....	62
6.4	Einsatz von PrecisionTree.....	63
6.4.1	Kalkulationstabelle in Excel.....	63
6.4.2	Entscheidungsbaumstruktur in PrecisionTree.....	65
6.5	Analyseinstrumente.....	68
6.5.1	Entscheidungsanalyse.....	68
6.5.2	Empfindlichkeitsanalyse einseitig.....	71
6.5.3	Empfindlichkeitsanalyse zweiseitig.....	77
6.6	Generelle Berechnungsmodi des Entscheidungsbaummodells.....	81
6.7	Wahrscheinlichkeitsumkehrung durch die Bayes'sche Revision.....	84
6.8	Nutzenfunktionen.....	86
6.8.1	Abgrenzung der Indifferenzkurve von der Nutzenfunktion.....	87
6.8.2	Einsatz von Nutzenfunktionen in PrecisionTree.....	92
6.9	Verknüpfung von PrecisionTree mit @Risk.....	97
6.9.1	Quantifizierung von Wahrscheinlichkeiten in @Risk zur Darstellung in einem Entscheidungsbaum.....	99
6.9.2	Pfadberechnungsmethoden bei bestehenden Entscheidungsbaum mit @Risk.....	100
7	Exemplarische Anwendung von PrecisionTree zur Ermittlung der optimalen Anzahl an Fertigungsabschnitten	108
7.1	Geometrische Randbedingungen des Beispiels.....	109
7.2	Bauablaufplanung.....	111
7.2.1	Taktfertigung.....	111
7.2.2	Fließfertigung.....	112
7.3	Kostenkalkulation der Arbeitsfugen.....	114
7.4	Kostenkalkulation der Schalungsarbeiten.....	118
7.4.1	Variation des Aufwandswertes aufgrund der Einarbeitungseffekte bei der Trägerschalung.....	121
7.4.2	Bauablaufparameter für den Einsatz der Trägerschalung bei Taktfertigung.....	122
7.4.3	Bauablaufparameter für den Einsatz der Trägerschalung bei Fließfertigung.....	123
7.4.4	Variation des Aufwandswertes aufgrund der Einarbeitungseffekte bei der Systemschalung.....	124
7.4.5	Bauablaufparameter für den Einsatz der Systemschalung bei Taktfertigung.....	124
7.4.6	Bauablaufparameter für den Einsatz der Systemschalung bei Fließfertigung.....	125
7.4.7	Vorhaltemenge.....	126
7.4.8	Produktivitätsverluste bei den Schalarbeiten.....	134

7.5	Kostenkalkulation der Bewehrungsarbeiten.....	140
7.5.1	Stabstahl.....	140
7.5.2	Mattenstahl.....	143
7.5.3	Stab- und Mattenstahl.....	145
7.6	Kostenkalkulation der Betonarbeiten.....	147
7.6.1	Pumpeinbringung.....	147
7.6.2	Kraneinbringung.....	150
7.7	Gemeinkosten aus Anzahl der Krane.....	153
7.8	Darstellung der Rechenergebnisse im Entscheidungsbaum.....	159
7.8.1	Detailbaum 1 schalen.....	160
7.8.2	Ermittlung der Zweigwahrscheinlichkeiten zur Bewertung von Produktivitätsverlusten durch das Theorem von Bayes bei der Trägerschalung.....	162
7.8.3	Ermittlung der Zweigwahrscheinlichkeiten zur Bewertung von Produktivitätsverlusten durch das Theorem von Bayes bei der Trägerschalung.....	168
7.8.4	Detailbaum 2 bewehren.....	174
7.8.5	Detailbaum 3 betonieren.....	175
7.8.6	Ermittlung der Zweigwahrscheinlichkeiten zur Bewertung von Produktivitätsverlusten beim Betoneinbringungsprozess durch das Theorem von Bayes.....	176
7.9	Berechnungsablauf im Entscheidungsbaummodell.....	182
7.10	Auswertung der Ergebnisse.....	185
7.10.1	Zusammenfassung der Resultate der Entscheidungsanalyse.....	185
7.10.2	Interpretation der Ergebnisse.....	199
8	Kalkulatorischer Schalungsvergleich mit PrecisionTree und @Risk am Beispiel Horizontalschalungssysteme	201
8.1	Ausgangssituation.....	201
8.2	Kalkulationsmodell der Schalungskosten.....	202
8.3	Baummodell PrecisionTree.....	209
8.3.1	Entscheidungsbaumstruktur.....	209
8.3.2	Ergebnisdarstellung.....	212
8.4	Baummodell @Risk.....	218
8.4.1	Zuweisung der Verteilungen.....	218
8.4.2	Auswertung der Ergebnisse.....	222
8.5	Resümee.....	225
9	Zusammenfassung und Ausblick	227
9.1	Vor- und Nachteile der Entscheidungsbaumtheorie.....	227
9.2	Denkanstöße für weitere Baumkonstruktionen.....	228
	Glossar	230
	Linkverzeichnis	232
	Literaturverzeichnis	234

Abbildungsverzeichnis

Bild 1.1	Gleichheit einzelner Prozesse bzw. Prozessketten bei unterschiedlichen Bauprojekten mit veränderten Bauverfahrens-, Bauwerks-, Baustellen- und Betriebsbedingungen.....	2
Bild 1.2	Schematischer Zusammenhang zwischen dem Grad der Unbekanntheit bzw. Steuer & Beeinflussbarkeit eines Bauprojekts sowie des Baufortschritts über die Betrachtung der Projektdauer	3
Bild 1.3	Zusammensetzung der Gesamtproduktivität aus dispositiven und elementaren Produktionsfaktoren.....	4
Bild 2.1	Gegenüberstellung der 4 Phasen des Problemlösungsprozesses mit dem Problemlösungszyklus nach dem Systems Engineering	9
Bild 2.2	80/20-Regel von Pareto.....	10
Bild 2.3	Schematische Darstellung eines einfachen Programmablaufs.....	11
Bild 2.4	Systemisches Wirkungsprinzip.....	12
Bild 2.5	Entscheidungsmatrix zur Auswahl eines Systems oder Verfahrens... ..	19
Bild 2.6	Schematische Darstellung von Chancen und Risiken	20
Bild 2.7	Schematische Darstellung des Travelling-Salesman-Problems	22
Bild 3.1	Definition des Risikobegriffs	25
Bild 3.2	Mögliche Erwartungsstruktur – Messbarkeit von Unsicherheit	28
Bild 3.3	Einteilung von Variablen.....	30
Bild 3.4	Versuchsanordnung zur Ermittlung der Kreiszahl π	32
Bild 4.1	Modellierungsproblem der realen Welt.....	33
Bild 4.2	Wahrscheinlichkeitstheoretischer Zusammenhang zwischen Einwirkung und Widerstand nach dem semi-probabilistischem Sicherheitskonzept	35
Bild 4.3	Schematische Darstellung der Sicherheitsmarge M	37
Bild 4.4	Wahrscheinlichkeitstheoretischer Zusammenhang von Kosten und Budgetvorgaben in der Bauwirtschaft.....	40
Bild 4.5	Anzahl der Arbeitskräfte (idealisiert) über die Bauzeit.....	40
Bild 4.6	Feinterminplan für schalen, bewehren und betonieren.....	41
Bild 4.7	Entscheidungsbaum einer Bohrentscheidung	45
Bild 5.1	Parameter einer Standardnormalverteilung.....	53
Bild 5.2	Einteilung der Wahrscheinlichkeitsaussagen	56
Bild 6.1	Allgemeine Darstellung eines Entscheidungsbaumes für zwei Entscheidungsebenen ($T = 2$)	59
Bild 6.2	Konkretisierte Darstellung eines Entscheidungsbaumes für drei Entscheidungsebenen ($T = 3$)	60
Bild 6.3	Benutzeroberfläche und Knoteneinstellungsfenster von PrecisionTree	66
Bild 6.4	Entscheidungsbaum einer Investitionsentscheidungssituation.....	67
Bild 6.5	Diskontinuierliches Wahrscheinlichkeitsdiagramm des Demobeispiels.....	69
Bild 6.6	Summendiagramm des Demobeispiels.....	70
Bild 6.7	Optimaler Entscheidungsbaum des Demobeispiels	71

Bild 6.8	Einstellungsoptionen der einseitigen Empfindlichkeitsanalyse bei Variation der Verzinsung des Eigenkapitals	72
Bild 6.9	Diagramm der einseitigen Empfindlichkeitsanalyse bei Variation der Verzinsung des Eigenkapitals für Investitionsvariante A	73
Bild 6.10	Diagramm „Strategischer Bereich“ der einseitigen Empfindlichkeitsanalyse bei Variation der Verzinsung des Fremdkapitals für beide Investitionsvarianten	75
Bild 6.11	Tornadodiagramm bei Variation der Einnahmen, sowie der Verzinsung des Eigen- und Fremdkapitals für Investitionsvariante B.	76
Bild 6.12	Schauflerraddiagramm bei Variation der Einnahmen sowie der Verzinsung des Eigen- und Fremdkapitals für Investitionsvariante B.	77
Bild 6.13	Zweiseitiges Empfindlichkeitsdiagramm bei Variation der Verzinsung und der Investitionseinnahmen für Investitionsvariante A.....	78
Bild 6.14	Zweiseitiges Empfindlichkeitsdiagramm bei Variation der Verzinsung und der Investitionseinnahmen für Investitionsvariante B.....	79
Bild 6.15	Strategischer Bereich bei Variation der Einnahmen für Varianten A und B des Demobeispiels.....	80
Bild 6.16	Berechnungsmethode „Verknüpfter Baum“ in PrecisionTree	82
Bild 6.17	Weitere Berechnungsmethode „Ablaufformel“ in PrecisionTree.....	83
Bild 6.18	Entscheidungsbaum des Demobeispiels Krankheit.....	85
Bild 6.19	Umgedrehter Baum mit den Zweigwahrscheinlichkeiten	86
Bild 6.20	Beispiele für Indifferenzkurvenscharen	88
Bild 6.21	Darstellung von Indifferenzkurven (rot) zur Bildung von Nutzenfunktionen $U(q_1, q_2)$ in blau	89
Bild 6.22	Risikonutzenfunktionen; links: linear risikoneutral, rechts: konkav risikoavers bzw. risikoscheu	90
Bild 6.23	Zusammenstellung der wesentlichsten Risikonutzenfunktionen; oben links: logarithmisch konkav risikoavers; oben rechts: linear risikoneutral; unten links: exponentiell konvex Risikoaffinität bzw. risikofreudig.....	91
Bild 6.24	Investitionsbeispiel aus dem PrecisionTree-Handbuch	92
Bild 6.25	Übliche Nutzenfunktionen für verschiedene Entscheidungsträger in PrecisionTree	93
Bild 6.26	Nutzenfunktionsauswahl in PrecisionTree.....	93
Bild 6.27	Erwartete Nutzenwerte bei unterschiedlichen R-Werten	95
Bild 6.28	Gewissheitsäquivalente bei unterschiedlichen R-Werten	96
Bild 6.29	Wahrscheinlichkeitsverteilung der Kapitalwerte für beide Investitionsvarianten (Investition A in rot und Investition B in blau)	99
Bild 6.30	Übertragung der Wahrscheinlichkeiten in den Entscheidungsbaum	100
Bild 6.31	Modellneuberechnungsoptionen in Verbindung mit @Risk	101
Bild 6.32	Histogramm zur Investitionsentscheidung von Investitionsvariante B.....	103
Bild 6.33	Risikoprofil der Investitionsvarianten A und B	104
Bild 6.34	Reduzierter Entscheidungsbaum mit Zuweisung einer Dreiecksverteilung.....	104

Bild 6.35	Histogramm des Erwartungswerts für Investition A (5 000 Iterationen)	105
Bild 6.36	Histogramm des Erwartungswerts für Investition B	106
Bild 6.37	Histogramm des Erwartungswerts für Investition B	106
Bild 7.1	Kostenminimum eines Projekts in Abhängigkeit von der Anzahl der Fertigungsabschnitte	108
Bild 7.2	Schematischer Fertigungsablauf bei Taktfertigung	111
Bild 7.3	Schematischer Fertigungsablauf bei Fließfertigung	113
Bild 7.4	Arbeitsfugenausteilung nach Typ 1	115
Bild 7.5	Arbeitsfugenausteilung nach Typ 2	115
Bild 7.6	Technische Ausbildung der Arbeitsfugen	117
Bild 7.7	Einteilung der Schalungssysteme unterschiedlicher Bauweisen	119
Bild 7.8	Fischgräten-Diagramm als Darstellung der Einflüsse auf die Schalungskosten	120
Bild 7.9	MULTIFLEX Träger-Deckenschalung von Peri	121
Bild 7.10	SKYDECK Alu-Paneel-Deckenschalung von Peri	124
Bild 7.11	Vorhaltemengen in Abhängigkeit der Fertigungsabschnitte bei Taktfertigung	129
Bild 7.12	Kostenentwicklungsvergleich der beiden Schalsysteme bei Taktfertigung	130
Bild 7.13	Vorhaltemengen in Abhängigkeit der Fertigungsabschnitte bei Fließfertigung	133
Bild 7.14	Kostenentwicklungsvergleich der beiden Schalsysteme bei Fließfertigung	134
Bild 7.15	Betonstabstahl.....	140
Bild 7.16	Mattenstahl.....	143
Bild 7.17	Pumpeinbringung	147
Bild 7.18	Kraneinbringung	150
Bild 7.19	Baumablaufschemata der Prozesse schalen, bewehren und betonieren	159
Bild 7.20	Übersichtsdiagramm der drei Unterbaumsysteme	160
Bild 7.21	Detailbaum 1: Schalen	161
Bild 7.22	Produktivitätsverluste für 1 FA bei Trägerschalung in Abhängigkeit der eingesetzten Arbeitsgruppen.....	163
Bild 7.23	Verlauf der Produktivitätsverluste bei 1 FA und Trägerschalung.....	164
Bild 7.24	Grundeinstellung zur Bayes'schen Revision bei 1 FA und Trägerschalung	164
Bild 7.25	Bayes'sche Revision bei 1 FA und Trägerschalung	165
Bild 7.26	Produktivitätsverluste für 2 FA bei Trägerschalung in Abhängigkeit der eingesetzten Arbeitsgruppen.....	166
Bild 7.27	Verlauf der Produktivitätsverluste bei 2 FA und Trägerschalung.....	167
Bild 7.28	Grundeinstellung zur Bayes'schen Revision bei 2 FA und Trägerschalung	167
Bild 7.29	Bayes'sche Revision bei 2 FA und Trägerschalung	168

Bild 7.30	Produktivitätsverluste für 1 FA bei Systemschalung in Abhängigkeit der eingesetzten Arbeitsgruppen.....	169
Bild 7.31	Verlauf der Produktivitätsverluste bei 1 FA und Systemschalung	170
Bild 7.32	Grundeinstellung zur Bayes'schen Revision bei 1 FA und Systemschalung	170
Bild 7.33	Bayes'sche Revision bei 1 FA und Systemschalung	171
Bild 7.34	Produktivitätsverluste für 2 FA bei Systemschalung in Abhängigkeit der eingesetzten Arbeitsgruppen.....	172
Bild 7.35	Verlauf der Produktivitätsverluste bei 2 FA und Systemschalung	173
Bild 7.36	Grundeinstellung zur Bayes'schen Revision bei 2 FA und Systemschalung	173
Bild 7.37	Bayes'sche Revision bei 2 FA und Systemschalung	174
Bild 7.38	Detailbaum 2: bewehren.....	174
Bild 7.39	Detailbaum 3: betonieren	176
Bild 7.40	Grundeinstellung zur Bayes'schen Revision bei 1 FA, Trägerschalung und Pumpeinbringung	177
Bild 7.41	Bayes'sche Revision bei 1 FA, Trägerschalung und Pumpeinbringung	177
Bild 7.42	Grundeinstellung zur Bayes'schen Revision bei 1 FA, Trägerschalung und Kraneinbringung	178
Bild 7.43	Bayes'sche Revision bei 1 FA, Trägerschalung und Kraneinbringung	178
Bild 7.44	Grundeinstellung zur Bayes'schen Revision bei 1 FA, Systemschalung und Pumpeinbringung	179
Bild 7.45	Bayes'sche Revision bei 1 FA, Systemschalung und Pumpeinbringung	179
Bild 7.46	Grundeinstellung zur Bayes'schen Revision bei 1 FA, Systemschalung und Kraneinbringung	180
Bild 7.47	Bayes'sche Revision bei 1 FA, Systemschalung und Kraneinbringung	180
Bild 7.48	Grundeinstellung zur Bayes'schen Revision bei 2 FA, Trägerschalung und Pumpeinbringung	181
Bild 7.49	Bayes'sche Revision bei 2 FA, Trägerschalung und Pumpeinbringung	181
Bild 7.50	Grundeinstellung zur Bayes'schen Revision bei 2 FA, Trägerschalung und Kraneinbringung	182
Bild 7.51	Bayes'sche Revision bei 2 FA, Trägerschalung und Kraneinbringung	182
Bild 7.52	Bauberechnung Schritt 1: Betoneinbringung	183
Bild 7.53	Bauberechnung Schritt 2: Bewehrungsarbeiten	184
Bild 7.54	Bauberechnung Schritt 3: Schalungsarbeiten	185
Bild 7.55	Wahrscheinlichkeitsdiagramm für den gesamten Entscheidungsbaum bei Taktfertigung	186
Bild 7.56	Summendiagramm für den gesamten Entscheidungsbaum bei Taktfertigung	187

Bild 7.57	Überlagerung des Summendiagramms und des Wahrscheinlichkeitsdiagramms für den gesamten Entscheidungsbaum bei Taktfertigung	188
Bild 7.58	Herstellkostenverläufe in Abhängigkeit der Fertigungsabschnitte bei Taktfertigung	190
Bild 7.59	Optimaler Entscheidungspfad „Schalen“ bei Taktfertigung.....	191
Bild 7.60	Optimaler Entscheidungspfad „Bewehren“ bei Taktfertigung	192
Bild 7.61	Optimaler Entscheidungspfad „Betonieren“ bei Taktfertigung	192
Bild 7.62	Wahrscheinlichkeitsdiagramm für den gesamten Entscheidungsbaum bei Fließfertigung	193
Bild 7.63	Summendiagramm für den gesamten Entscheidungsbaum bei Fließfertigung	194
Bild 7.64	Überlagerung des Summendiagramms und des Wahrscheinlichkeitsdiagramms für den gesamten Entscheidungsbaum bei Fließfertigung	194
Bild 7.65	Herstellkostenverläufe in Abhängigkeit der Fertigungsabschnitte bei Fließfertigung	196
Bild 7.66	Herstellkostenverläufe in Abhängigkeit der Fertigungsabschnitte bei Fließfertigung	196
Bild 7.67	Optimaler Entscheidungspfad „Schalen“ bei Fließfertigung.....	198
Bild 7.68	Optimaler Entscheidungspfad „Bewehren“ bei Fließfertigung	198
Bild 7.69	Optimaler Entscheidungspfad „Betonieren“ bei Fließfertigung	198
Bild 7.70	Qualitativer Zusammenhang zwischen der Bauzeit und der Herstellungskosten aus der Sichtweise der Bieter/Auftraggeber.....	200
Bild 8.1	Entscheidungsbaumstruktur I für „Schalung mieten“ bei Taktfertigung	209
Bild 8.2	Entscheidungsbaumstruktur II für „Schalung mieten“ bei Taktfertigung	210
Bild 8.3	Entscheidungsbaumstruktur I für „Schalung kaufen“ bei Taktfertigung	211
Bild 8.4	Entscheidungsbaumstruktur II für „Schalung kaufen“ bei Taktfertigung	211
Bild 8.5	Wahrscheinlichkeitsdiagramm für mieten oder kaufen	212
Bild 8.6	Summendiagramm für mieten oder kaufen	213
Bild 8.7	Wahrscheinlichkeitsdiagramm für System- oder Trägerschalung Pfad mieten	214
Bild 8.8	Summendiagramm für System- oder Trägerschalung Pfad mieten..	216
Bild 8.9	Wahrscheinlichkeitsdiagramm für System- oder Trägerschalung Pfad kaufen	216
Bild 8.10	Summendiagramm für System- oder Trägerschalung Pfad mieten..	218
Bild 8.11	Dreiecksverteilung für die Mietkosten.....	219
Bild 8.12	Dreiecksverteilung für die Transportkosten	219
Bild 8.13	Dreiecksverteilung für die Material- und Entsorgungskosten.....	220
Bild 8.14	Dreiecksverteilung für die Produktivitätsverluste für einen niedrigen Aufwandswert.....	220
Bild 8.15	Dreiecksverteilung für die Produktivitätsverluste für einen mittleren Aufwandswert.....	221

Bild 8.16	Dreiecksverteilung für die Produktivitätsverluste für einen hohen Aufwandswert.....	221
Bild 8.17	PrecisionTree-Einstellung zur @Risk-Simulation	222
Bild 8.18	@Risk-Diagramm der Erwartungswerte für „Schalung mieten“	222
Bild 8.19	@Risk-Diagramm der Erwartungswerte für „Schalung kaufen“	223
Bild 8.20	@Risk-Diagramm der Erwartungswerte übereinandergelegt	224
Bild 8.21	Gegenüberstellung der Histogramme der Trägerschalung und der Systemschalung bei Entscheidungspfad „Schalung mieten“	225

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1	Demonstrative Argumentenbilanz zur Philosophieentscheidung „Outsourcing“.....	18
Tabelle 4.1	Beispiel zur Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit	38
Tabelle 4.2	Entscheidungsmatrix bei Risiko.....	43
Tabelle 5.1	Gegenüberstellung verschiedener Entscheidungskriterien.....	50
Tabelle 5.2	Darstellung der Niehans-Savage-Regel	51
Tabelle 6.1	Kalkulationsmodell der Investition A.I.....	63
Tabelle 6.2	Kalkulationsmodell der Investition B.I.....	64
Tabelle 6.3	Tabellarische Zusammenstellung der Ausgangssituation (Ergebnismatrix)	64
Tabelle 6.4	Statistische Auswertung des Demobeispiels	70
Tabelle 6.5	Entscheidungstabelle des Demobeispiels	71
Tabelle 6.6	Diagramm Daten der einseitigen Empfindlichkeitsanalyse des Demobeispiels für Investitionsvariante A.....	74
Tabelle 6.7	Diagramm Daten des Tornadodiagramms für Investitionsvariante B... ..	76
Tabelle 6.8	Zusammenfassung des Demobeispiels Krankheit.....	85
Tabelle 6.9	Berechnung der Wahrscheinlichkeit der Fälle, in denen Investition A der Investition B vorzuziehen ist	107
Tabelle 7.1	Geometrische Grunddaten	109
Tabelle 7.2	Geometrische Grunddaten je FA 1 – 6.....	110
Tabelle 7.3	Geometrische Grunddaten je FA 8 – 14.....	110
Tabelle 7.4	Bauzeitliche Grunddaten	110
Tabelle 7.5	Einteilung der Fertigungsdauern je Vorgang bei Taktfertigung.....	112
Tabelle 7.6	Einteilung der Fertigungsdauern je Vorgang bei Fließfertigung.....	113
Tabelle 7.7	Daten zur Arbeitsfuge.....	116
Tabelle 7.8	K7-Blatt zur Ermittlung der Kosten der Arbeitsfuge pro Meter	117
Tabelle 7.9	Zusammenstellung der Arbeits- und Dehnungsfugen je FA 1 – 6	118
Tabelle 7.10	Zusammenstellung der Arbeits- und Dehnungsfugen je FA 8 – 14 ..	118
Tabelle 7.11	Entwicklung der Aufwandswerte für Trägerschalung in Abhängigkeit der Einarbeitungseffekte je FA 1 – 6.....	121
Tabelle 7.12	Entwicklung der Aufwandswerte für Trägerschalung in Abhängigkeit der Einarbeitungseffekte je FA 8 – 14.....	121
Tabelle 7.13	Bauablaufkennzahlen je FA 1 – 6 für Trägerschalung bei Taktfertigung	122
Tabelle 7.14	Bauablaufkennzahlen je FA 8 – 14 für Trägerschalung bei Taktfertigung	123
Tabelle 7.15	Bauablaufkennzahlen je FA 1 – 6 für Trägerschalung bei Fließfertigung	123
Tabelle 7.16	Bauablaufkennzahlen je FA 8 – 14 für Trägerschalung bei Fließfertigung	123
Tabelle 7.17	Entwicklung der Aufwandswerte für Systemschalung in Abhängigkeit der Einarbeitungseffekte je FA 1 – 6.....	124

Tabelle 7.18	Entwicklung der Aufwandswerte für Systemschalung in Abhängigkeit der Einarbeitungseffekte je FA 8 – 14.....	124
Tabelle 7.19	Bauablaufkennzahlen je FA 1 – 6 für Systemschalung bei Taktfertigung	124
Tabelle 7.20	Bauablaufkennzahlen je FA 8 – 14 für Systemschalung bei Taktfertigung	125
Tabelle 7.21	Bauablaufkennzahlen je FA 1 – 6 für Systemschalung bei Fließfertigung	125
Tabelle 7.22	Bauablaufkennzahlen je FA 8 – 14 für Systemschalung bei Fließfertigung	125
Tabelle 7.23	Ermittlung des Reduktionsfaktors Alpha für Trägerschalung.....	126
Tabelle 7.24	Ermittlung des Reduktionsfaktors Alpha für Systemschalung	127
Tabelle 7.25	Vorhaltemenge und Schalungskosten je FA 1 – 6 bei Taktfertigung für Trägerschalung	127
Tabelle 7.26	Vorhaltemenge und Schalungskosten je FA 8 – 14 bei Taktfertigung für Trägerschalung	128
Tabelle 7.27	Vorhaltemenge und Schalungskosten je FA 1 – 6 bei Taktfertigung für Systemschalung.....	128
Tabelle 7.28	Vorhaltemenge und Schalungskosten je FA 8 – 14 bei Taktfertigung für Systemschalung.....	128
Tabelle 7.29	Vorhaltemenge und Schalungskosten je FA 1 – 6 bei Fließfertigung für Trägerschalung	131
Tabelle 7.30	Vorhaltemenge und Schalungskosten je FA 8 – 14 bei Fließfertigung für Trägerschalung	131
Tabelle 7.31	Vorhaltemenge und Schalungskosten je FA 1 – 6 bei Fließfertigung für Systemschalung.....	132
Tabelle 7.32	Vorhaltemenge und Schalungskosten je FA 8 – 14 bei Fließfertigung für Systemschalung.....	132
Tabelle 7.33	Zusammenstellung der Produktivitätsverluste je FA 1 – 6 bei Taktfertigung für Trägerschalung	135
Tabelle 7.34	Zusammenstellung der Produktivitätsverluste je FA 8 – 14 bei Taktfertigung für Trägerschalung	137
Tabelle 7.35	Zusammenstellung der Produktivitätsverluste je FA 1 – 6 bei Taktfertigung für Systemschalung.....	138
Tabelle 7.36	Zusammenstellung der Produktivitätsverluste je FA 8 – 14 bei Taktfertigung für Systemschalung.....	138
Tabelle 7.37	Zusammenstellung der Produktivitätsverluste je FA 1 – 6 bei Fließfertigung für Trägerschalung	138
Tabelle 7.38	Zusammenstellung der Produktivitätsverluste je FA 8 – 14 bei Fließfertigung für Trägerschalung	139
Tabelle 7.39	Zusammenstellung der Produktivitätsverluste je FA 1 – 6 bei Fließfertigung für Systemschalung.....	139
Tabelle 7.40	Zusammenstellung der Produktivitätsverluste je FA 8 – 14 bei Fließfertigung für Systemschalung.....	139
Tabelle 7.41	Aufstellung der Bewehrungsdauer und der Bewehrungsleistung pro Tag je FA 1 – 6 bei Taktfertigung	140
Tabelle 7.42	Aufstellung der Bewehrungsdauer und der Bewehrungsleistung pro Tag je FA 8 – 14 bei Taktfertigung	140
Tabelle 7.43	Bewehrungskosten mit Stabstahl je FA 1 – 6 für Taktfertigung.....	140

Tabelle 7.44	Bewehrungskosten mit Stabstahl je FA 8 – 14 für Taktfertigung	141
Tabelle 7.45	Produktivitätsverluste aus Stabstahl je FA 1 – 6 für Taktfertigung ...	141
Tabelle 7.46	Produktivitätsverluste aus Stabstahl je FA 8 – 14 für Taktfertigung .	142
Tabelle 7.47	Aufstellung der Bewehrungsdauer und der Bewehrungsleistung pro Tag je FA 1 – 6 bei Fließfertigung	142
Tabelle 7.48	Aufstellung der Bewehrungsdauer und der Bewehrungsleistung pro Tag je FA 8 – 14 bei Fließfertigung	142
Tabelle 7.49	Bewehrungskosten mit Stabstahl je FA 1 – 6 für Fließfertigung	142
Tabelle 7.50	Bewehrungskosten mit Stabstahl je FA 8 – 14 für Fließfertigung	142
Tabelle 7.51	Produktivitätsverluste aus Stabstahl je FA 1 – 6 für Fließfertigung ..	143
Tabelle 7.52	Produktivitätsverluste aus Stabstahl je FA 8 – 14 für Fließfertigung	143
Tabelle 7.53	Bewehrungskosten mit Mattenstahl je FA 1 – 6 für Taktfertigung	143
Tabelle 7.54	Bewehrungskosten mit Mattenstahl je FA 8 – 14 für Taktfertigung ..	143
Tabelle 7.55	Produktivitätsverluste aus Mattenstahl je FA 1 – 6 für Taktfertigung	144
Tabelle 7.56	Produktivitätsverluste aus Mattenstahl je FA 8 – 14 für Taktfertigung	144
Tabelle 7.57	Bewehrungskosten mit Mattenstahl je FA 1 – 6 für Fließfertigung ...	144
Tabelle 7.58	Bewehrungskosten mit Mattenstahl je FA 8 – 14 für Fließfertigung .	144
Tabelle 7.59	Produktivitätsverluste aus Mattenstahl je FA 1 – 6 für Fließfertigung	144
Tabelle 7.60	Produktivitätsverluste aus Mattenstahl je FA 8 – 14 für Fließfertigung	145
Tabelle 7.61	Bewehrungskosten mit Stab- und Mattenstahl je FA 1 – 6 für Taktfertigung	145
Tabelle 7.62	Bewehrungskosten mit Stab- und Mattenstahl je FA 8 – 14 für Taktfertigung	145
Tabelle 7.63	Produktivitätsverluste aus Stab- und Mattenstahl je FA 1 – 6 für Taktfertigung	145
Tabelle 7.64	Produktivitätsverluste aus Stab- und Mattenstahl je FA 8 – 14 für Taktfertigung	146
Tabelle 7.65	Bewehrungskosten mit Stab- und Mattenstahl je FA 1 – 6 für Fließfertigung	146
Tabelle 7.66	Bewehrungskosten mit Stab- und Mattenstahl je FA 8 – 14 für Fließfertigung	146
Tabelle 7.67	Produktivitätsverluste aus Stab- und Mattenstahl je FA 1 – 6 für Fließfertigung	146
Tabelle 7.68	Produktivitätsverluste aus Stab- und Mattenstahl je FA 8 – 14 für Fließfertigung	146
Tabelle 7.69	Randbedingungen bei Pumpeinbringung	147
Tabelle 7.70	Daten zur Pumpbetoneinbringung je FA 1 – 6 bei Taktfertigung	148
Tabelle 7.71	Daten zur Pumpbetoneinbringung je FA 8 – 14 bei Taktfertigung	148
Tabelle 7.72	Betonkosten bei Pumpbetoneinbringung je FA 1 – 6 bei Taktfertigung (demonstrativ AK bei Trägerschalung)	148
Tabelle 7.73	Betonkosten bei Pumpbetoneinbringung je FA 8 – 14 bei Taktfertigung (demonstrativ AK bei Trägerschalung)	149
Tabelle 7.74	Daten zur Pumpbetoneinbringung je FA 1 – 6 bei Fließfertigung	149

Tabelle 7.75	Daten zur Pumpbetoneinbringung je FA 8 – 14 bei Fließfertigung ...	149
Tabelle 7.76	Betonkosten bei Pumpbetoneinbringung je FA 1 – 6 bei Fließfertigung (demonstrativ AK bei Trägerschalung)	150
Tabelle 7.77	Betonkosten bei Pumpbetoneinbringung je FA 8 – 14 bei Fließfertigung (demonstrativ AK bei Trägerschalung)	150
Tabelle 7.78	Krandaten zur Betoneinbringung.....	150
Tabelle 7.79	Aufstellung der Material und Lohnkosten der Betonarbeiten je FA 1 – 6 bei Taktfertigung.....	151
Tabelle 7.80	Aufstellung der Material und Lohnkosten der Betonarbeiten je FA 8 – 14 bei Taktfertigung.....	151
Tabelle 7.81	Zusammenstellung der Produktivitätsverluste je FA 1 – 6 bei Taktfertigung	151
Tabelle 7.82	Zusammenstellung der Produktivitätsverluste je FA 8 – 14 bei Taktfertigung	152
Tabelle 7.83	Aufstellung der Material und Lohnkosten der Betonarbeiten je FA 1 – 6 bei Fließfertigung.....	152
Tabelle 7.84	Aufstellung der Material und Lohnkosten der Betonarbeiten je FA 8 – 14 bei Fließfertigung.....	152
Tabelle 7.85	Zusammenstellung der Produktivitätsverluste je FA 1 – 6 bei Fließfertigung	152
Tabelle 7.86	Zusammenstellung der Produktivitätsverluste je FA 8 – 14 bei Fließfertigung	153
Tabelle 7.87	Ermittlung der Anzahl der Krane über den BRI	153
Tabelle 7.88	Zusammenfassung der Anzahl der Arbeitskräfte je FA 1 – 6 bei Taktfertigung	154
Tabelle 7.89	Zusammenfassung der Anzahl der Arbeitskräfte je FA 8 – 14 bei Taktfertigung	154
Tabelle 7.90	Zusammenstellung der Anzahl an Krane bei Pumpeinbringung je FA 1 – 6 bei Taktfertigung	154
Tabelle 7.91	Zusammenstellung der Anzahl an Krane bei Pumpeinbringung je FA 8 – 14 bei Taktfertigung	155
Tabelle 7.92	Krankosten bei Pumpeinbringung je FA 1 – 6 bei Taktfertigung.....	155
Tabelle 7.93	Krankosten bei Pumpeinbringung je FA 8 – 14 bei Taktfertigung.....	155
Tabelle 7.94	Zusammenfassung der Anzahl der Arbeitskräfte je FA 1 – 6 bei Fließfertigung	155
Tabelle 7.95	Zusammenfassung der Anzahl der Arbeitskräfte je FA 8 – 14 bei Fließfertigung	155
Tabelle 7.96	Zusammenstellung der Anzahl an Krane bei Pumpeinbringung je FA 1 – 6 bei Fließfertigung	156
Tabelle 7.97	Zusammenstellung der Anzahl an Krane bei Pumpeinbringung je FA 8 – 14 bei Fließfertigung	156
Tabelle 7.98	Krankosten bei Pumpeinbringung je FA 1 – 6 bei Fließfertigung.....	156
Tabelle 7.99	Krankosten bei Pumpeinbringung je FA 8 – 14 bei Fließfertigung....	156
Tabelle 7.100	Zusammenstellung der Anzahl an Krane bei Kraneinbringung je FA 1 – 6 bei Taktfertigung.....	157
Tabelle 7.101	Zusammenstellung der Anzahl an Krane bei Kraneinbringung je FA 8 – 14 bei Taktfertigung.....	157

Tabelle 7.102 Krankkosten bei Kraneinbringung je FA 1 – 6 bei Taktfertigung	157
Tabelle 7.103 Krankkosten bei Kraneinbringung je FA 8 – 14 bei Taktfertigung	157
Tabelle 7.104 Zusammenstellung der Anzahl an Krane bei Kraneinbringung je FA 1 – 6 bei Fließfertigung.....	158
Tabelle 7.105 Zusammenstellung der Anzahl an Krane bei Kraneinbringung je FA 8 – 14 bei Fließfertigung.....	158
Tabelle 7.106 Krankkosten bei Kraneinbringung je FA 1 – 6 bei Fließfertigung	158
Tabelle 7.107 Krankkosten bei Kraneinbringung je FA 8 – 14 bei Fließfertigung	158
Tabelle 7.108 Grundtabelle zur Ermittlung der Produktivitätsverluste für Trägerschalung in Abhängigkeit der Fertigungsabschnitte.....	162
Tabelle 7.109 Grundtabelle zur Ermittlung der Produktivitätsverluste für Systemschalung in Abhängigkeit der Fertigungsabschnitte	168
Tabelle 7.110 Statistische Kennwerte der Wahrscheinlichkeitsverteilung je FA 1 – 6 bei Taktfertigung.....	186
Tabelle 7.111 Statistische Kennwerte der Wahrscheinlichkeitsverteilung je FA 8 – 14 bei Taktfertigung.....	187
Tabelle 7.112 Parameter der Verteilungen je FA 1 – 6 für Taktfertigung	188
Tabelle 7.113 Parameter der Verteilungen je FA 8 – 14 für Taktfertigung	189
Tabelle 7.114 Berechnung der Wahrscheinlichkeit der Fälle für den Vorzug einer Verteilung bei Taktfertigung.....	189
Tabelle 7.115 Entscheidungstabelle bei Taktfertigung.....	190
Tabelle 7.116 Statistische Kennwerte der Wahrscheinlichkeitsverteilung je FA 1 – 6 bei Fließfertigung.....	193
Tabelle 7.117 Statistische Kennwerte der Wahrscheinlichkeitsverteilung je FA 8 – 14 bei Fließfertigung.....	193
Tabelle 7.118 Parameter der Verteilungen je FA 1 – 6 für Fließfertigung	195
Tabelle 7.119 Parameter der Verteilungen je FA 8 – 14 für Fließfertigung	195
Tabelle 7.120 Berechnung der Wahrscheinlichkeit der Fälle für den Vorzug einer Verteilung bei Fließfertigung.....	195
Tabelle 7.121 Entscheidungstabelle bei Fließfertigung.....	197
Tabelle 8.1 Zusammenstellung der Schalflächen bei 10 Fertigungsabschnitten, Taktfertigung und Systemschalung	201
Tabelle 8.2 Zusammenstellung der Schalflächen bei 10 Fertigungsabschnitten, Taktfertigung und Trägerschalung.....	201
Tabelle 8.3 Zusammenstellung der Schalflächen bei 8 Fertigungsabschnitten, Fließfertigung und Systemschalung	202
Tabelle 8.4 Zusammenstellung der Schalflächen bei 8 Fertigungsabschnitten, Fließfertigung und Trägerschalung.....	202
Tabelle 8.5 Einmalige Grundkosten zum Mieten der Systemschalung bei Taktfertigung	203
Tabelle 8.6 Mietkosten der Systemschalung bei Taktfertigung	203
Tabelle 8.7 Transportkosten der Systemschalung bei Taktfertigung.....	203
Tabelle 8.8 Materialkosten der Systemschalung bei Taktfertigung	204
Tabelle 8.9 Entsorgungskosten der Systemschalung bei Taktfertigung.....	204
Tabelle 8.10 Lohnkosten der Systemschalung bei Taktfertigung.....	204

Tabelle 8.11	Einmalige Grundkosten zum Mieten der Trägerschalung bei Taktfertigung	205
Tabelle 8.12	Mietkosten der Trägerschalung bei Taktfertigung	205
Tabelle 8.13	Transportkosten der Trägerschalung bei Taktfertigung	205
Tabelle 8.14	Materialkosten der Trägerschalung bei Taktfertigung	205
Tabelle 8.15	Entsorgungskosten der Trägerschalung bei Taktfertigung	206
Tabelle 8.16	Lohnkosten der Trägerschalung bei Taktfertigung	206
Tabelle 8.17	Zusammenstellung der Schalungskosten.....	206
Tabelle 8.18	Zusammenfassung der Arbeitskräfte je Schalsystem für Taktfertigung	206
Tabelle 8.19	Produktivitätsverluste bei Taktfertigung der Systemschalung	207
Tabelle 8.20	Produktivitätsverluste bei Taktfertigung der Trägerschalung.....	207
Tabelle 8.21	Zusammenstellung der Daten zur Berechnung der Abschreibungs- und Verzinsungssätze für die Systemschalung bei Taktfertigung	208
Tabelle 8.22	Zusammenstellung der Daten zur Berechnung der Abschreibungs- und Verzinsungssätze für die Trägerschalung bei Taktfertigung.....	208
Tabelle 8.23	Statistische Übersicht bei Schalungsvergleich „mieten“ oder „kaufen“ bei Taktfertigung.....	212
Tabelle 8.24	Berechnung der Wahrscheinlichkeit der Fälle, in denen „Schalung kaufen“, der Variante „Schalung mieten“ vorzuziehen ist	213
Tabelle 8.25	Statistische Übersicht bei Schalungsvergleich Träger- oder Systemschalung bei Taktfertigung; Pfad mieten	215
Tabelle 8.26	Berechnung der Wahrscheinlichkeit der Fälle, in denen die Trägerschalung, der Variante Systemschalung vorzuziehen ist; Pfad mieten	215
Tabelle 8.27	Statistische Übersicht bei Schalungsvergleich Träger- oder Systemschalung bei Taktfertigung; Pfad kaufen	217
Tabelle 8.28	Berechnung der Wahrscheinlichkeit der Fälle, in denen die Trägerschalung, der Variante Systemschalung vorzuziehen ist; Pfad kaufen	217
Tabelle 8.29	Berechnung der Wahrscheinlichkeit der Fälle, in denen „Schalung kaufen“, der Variante „Schalung mieten“ vorzuziehen ist	224

Abkürzungsverzeichnis

$\Phi_{(A)}$	Präferenzwert
ΔAW	Aufwandswerterhöhung
AW_{Grund}	Ausgangsaufwandswert
AF_{min}	minimale Arbeitsfläche
AF_{red}	reduzierte Arbeitsfläche
AF_{vor}	vorhandene Arbeitsfläche
AG	Auftraggeber
AK	Arbeitskraft
AN	Auftragnehmer
ANZ_{Pumpen}	Anzahl der Pumpen
BRI	Bruttorauminhalt
BT_{menge}	Betonmenge gesamt
BW_{grad}	Bewehrungsgrad
d_{abs}	Versatz zwischen schalen und bewehren
d_{bt}	Dauer für das Betonieren
d_{bw}	Dauer für das Bewehren
d_{Decke}	Deckenstärke
DF_{ges}	Gesamtdeckenfläche
d_{jeFA}	Dauer je Fertigungsabschnitt
d_{RG}	Dauer eines Regelgeschosses
d_{s}	Dauer für das Schalen
EW	Erwartungswert
ENW	Erwartungsnutzenwert
FA	Fertigungsabschnitt
GWÄ	Gewissheitsäquivalent
k_{A+V}	Zinssatz für Abschreibung und Verzinsung (A+V)
L_{s}	Leistung schalen
L_{ver}	Lohnstundenverlust pro Tag und AK
MLK	Mittellohnkosten
MO	Monat
n_{fa}	Anzahl der Fertigungsabschnitte
n_{g}	Anzahl der Geschosse
p	Verzinsungssatz des eingesetzten Kapitals
RP	Risikoprämie
S_D	Standzeit der Schalung bei Fließfertigung
T_{A}	Ausschalfrist in Kalendertagen
T_{Pumpe}	einmalige Anfahrkosten der Pumpe; Transportkosten
V	Vorhaltemonate

1 Einleitung

Jedes Projekt und somit auch speziell ein Bauprojekt, ist durch ein einmaliges, zeitlich begrenztes und zielorientiertes Geschehen gekennzeichnet. Bereits zu Planungsbeginn sieht sich der Planer damit konfrontiert, einen bautechnischen Rahmen, gekennzeichnet durch Kosten-, Zeit-, Qualitäts- und Quantitätsvorgaben, rund um die Bauaufgabe zu spannen, sodass diese damit beschrieben und modelliert ist. Die Einhaltung dieser Prämissen ist in jeder Projektphase von der Projektsteuerung zu kontrollieren und zudem sind IST und SOLLTE-Werte fortzuschreiben. Erfolgt der Realisierungsbeschluss, seitens Bauherrn und Bauherrnvertretung, so wird mit der Ausführungsplanung und der Ausschreibung der Bauleistung begonnen. Mit diesem bis dahin erarbeiteten Planungs- und Informationsstand wird in weiterer Folge ein Wettbewerb am Bauproduktmarkt initiiert, aus dem das billigste/beste bzw. das wirtschaftlichste Angebot den Zuschlag erhält.¹

Die Gegebenheit, dass der Produktionsprozess auf der Baustelle zusätzlich noch von verschiedensten unbekanntem Einflüssen geprägt wird, erschwert zunächst die Fassbarkeit der exakten Baukosten und somit auch die Vorhersehbarkeit des wirtschaftlichen Erfolgs für eine ausführende Unternehmung, in dem frühen Stadium der Angebotskalkulation. Dies schürt wiederum die Spekulationen der einzelnen Anbieter, die aufgrund dieser Unschärfen versuchen, hypothetische Preise einzusetzen.

Diese Informationsknappheit ist ein wesentliches Merkmal, welches eine Bauunternehmung von der herkömmlichen Linienorganisation, der industriellen Fabrikfertigung unterscheidet. In beiden Fällen wird zwar ein Produkt hergestellt, nur ist das Bauprodukt immer ein Unikat, bei dem man die Kostenanschläge stets als Prognose sehen muss und das industriell gefertigte Produkt ein erprobtes Serienfabrikat, dessen Kosten mittels verschiedenster Kostenrechnungssysteme weitgehend verursachungsgerecht erfasst und vorhergesagt werden können. Dies begünstigt den Optimierungsprozess in der Produktentwicklung enorm, worauf man in der Baubranche weitgehend verzichten muss. Es gibt zwar allgemeine Kennzahlen und Leistungsansätze, die aus vergangenen, vergleichbaren Projekten generiert und dann als Leitwerte bei der Kalkulation des neuen Projekts herangezogen werden können. Jedoch sind diese Werte stets unterschiedlichen Einflüssen ausgesetzt und somit auch nicht für jedes Projekt direkt anwendbar.

Bei der Erstellung eines Angebots und vor allem nach Auftragserteilung, steht die Baufirma bei jedem Bauprojekt vor der neuen Herausforderung,

Im Allgemeinen kann das Billigstbieter- vom Bestbietervergabeprinzip unterschieden werden. Beim Billigstbietervergabeprinzip bekommt derjenige Bieter, den Auftrag erteilt, der den niedrigsten Preis geboten hat, hingegen bekommt beim Bestbietervergabeprinzip jener Bieter den Zuschlag, der zusätzlich noch bestimmte Qualitätskriterien, meist mit hoher Gewichtung des Angebotspreises, erfüllt.

¹ Vgl. BAUER, H.: Baubetrieb; 3. Auflage. S. 4

sich aufgrund von geänderten Rahmenbedingungen auf die neuen Gegebenheiten bestmöglich und in kürzester Zeit einzustellen.

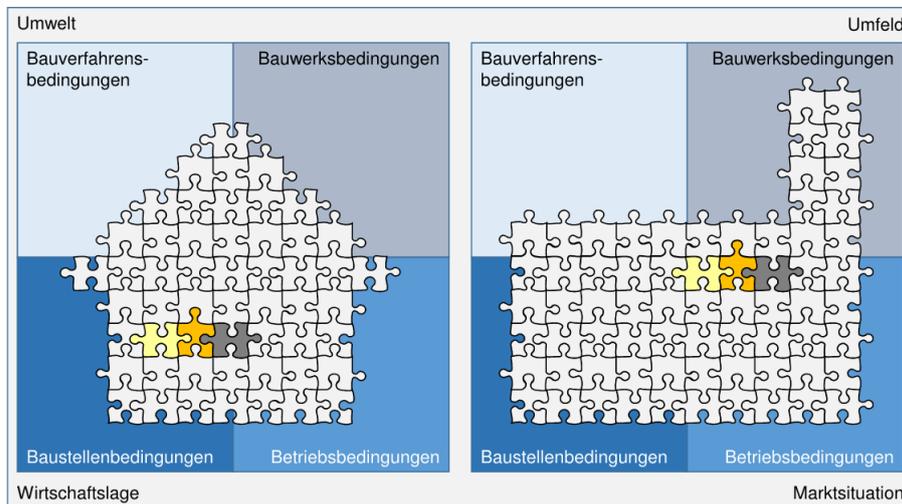


Bild 1.1 Gleichheit einzelner Prozesse bzw. Prozessketten bei unterschiedlichen Bauprojekten mit veränderten Bauverfahrens-, Bauwerks-, Baustellen- und Betriebsbedingungen²

Dabei können jedoch gewisse Prozessketten bzw. Teilabläufe, wie in Bild 1.1 dargestellt, von Projekt zu Projekt bestehen bleiben. Für die Dauer der Bauaufgabe muss eine entsprechende Organisation aufgebaut und an die nur hinreichend bekannten Randbedingungen angepasst werden. Dabei ist es wichtig, dass man sich den eigenen Kapazitäten und dem Know-how sowie der dispositiven Möglichkeiten im Klaren ist.

1.1 Umgang mit beschränkten Informationen im Projektmanagement

Entscheidungsträger stehen also fortwährend vor der Situation aus unscharfen Informationen heraus stets die „richtige“ Wahl treffen zu müssen. Die Besonderheit liegt jedoch darin, dass man hier keinesfalls von Routineaufgaben sprechen kann, denn durch die bereits genannten Eigenschaften eines Bauprojekts stellt sich vielmehr ein iterativer, revolvierender Prozess mit unterschiedlichen Abläufen ein, dessen Auswirkungen auf einen nachfolgenden Vorgang analysiert, sowie etwaige Konsequenzen aufgezeigt werden müssen.

Es drängt sich an dieser Stelle also die Frage auf, wie man mit dieser Informationsknappheit umgeht und wie man trotzdem rational begründe-

² KUMMER, M. K.; HOFSTADLER, C.: Einsatz der Monte-Carlo-Simulation zur Berechnung von Baukosten. In: Bauaktuell, 4. Jahrgang, September Nr. 5/2013. S. 179

te Entscheidung treffen kann? Diese Frage steht auch im Mittelpunkt der vorliegenden Arbeit.

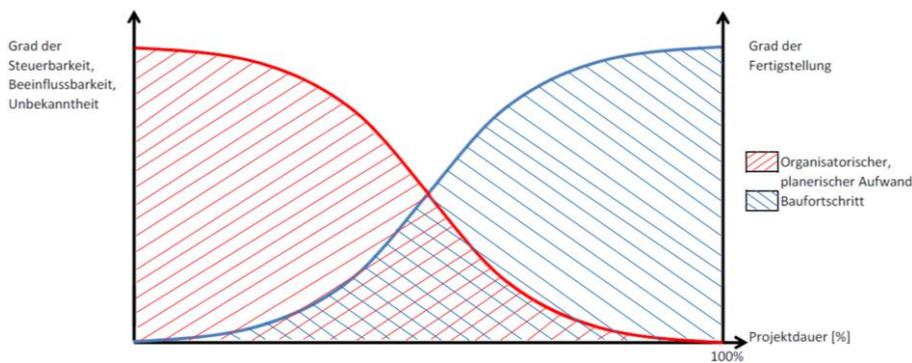


Bild 1.2 Schematischer Zusammenhang zwischen dem Grad der Unbekanntheit bzw. Steuer & Beeinflussbarkeit eines Bauprojekts sowie des Baufortschritts über die Betrachtung der Projektdauer

Aus Bild 1.2 geht hervor, dass ein Bauprojekt am Beginn, die größtmögliche Steuerbarkeit aber zugleich auch die größte Unbekanntheit in Bezug auf die Ausführungsumstände aufweist. Mit steigendem Baufortschritt, bei dem der Weg zum Projektziel immer konkretere Formen annimmt, sinkt gleichermaßen auch die Beeinflussbarkeit auf das selbige. Lulei³ benennt in seinem Beitrag die Ungewissheit über das Auftreten und das Ausmaß zukünftiger Ereignisse, die Komplexität durch das vernetzte Zusammenwirken aller Komponenten des Projektumfeldes und den Opportunismus als Instrument der Informationszurückhaltung um des eigenen Vorteils willen, als Ursachen des Informationsmangels.

Im Laufe der Erstellung eines Bauprojekts ist man immer mit unvorhergesehenen Störeinflüssen konfrontiert, daher macht es wenig Sinn zu Projektbeginn einen unverhältnismäßig hohen Planungsaufwand zu treiben, der in keiner wirtschaftlichen Relation steht. Umso wichtiger ist es aber, für das Projektmanagement in jeder Projektphase sowie – aus Sicht der Baufirma – im Zuge der Angebotskalkulation, der Arbeitsvorbereitung und während der Bauausführung, Entscheidungen unter Einbezug möglicher Abweichungen von jeweiligen Teilzielen zu treffen und damit ein umfassendes aber situationsgerechtes Risikomanagement zu installieren.⁴ Den Kern dieser Überlegungen bildet dabei das Denken in Varianten und Möglichkeiten. Im Fokus dieser Arbeit liegt daher die Thematik der Entscheidungstheorie, unter Unsicherheit annehmbare Urteile zu fällen.

³ Vgl. LULEI, F.: Fehler und Risiken einmal anders betrachtet. In: Tagungsband 2014; Risiken im Bauvertrag. S. 134ff

⁴ Vgl. ALBER, A.: Risikomanagement in Bauunternehmen; Eine Analyse von Theorie und Praxis; Masterarbeit. S. 1ff

1.2 Ausgangssituation

Als Anlass dieser Arbeit werden die geringer werdenden Gewinnmargen und der immense Preiskampf, getrieben von Prestige und Vormachtstellung auf den Sektoren des Baumarktes, gesehen. Um dabei bestehen zu können ist eine Baufirma angehalten, den Bauprozess und damit den Bauablauf zu optimieren. Dies kann nur geschehen indem eine umfassende Betrachtung eines Entscheidungsproblems mit Einbezug von Risiken und Chancen stattfindet.

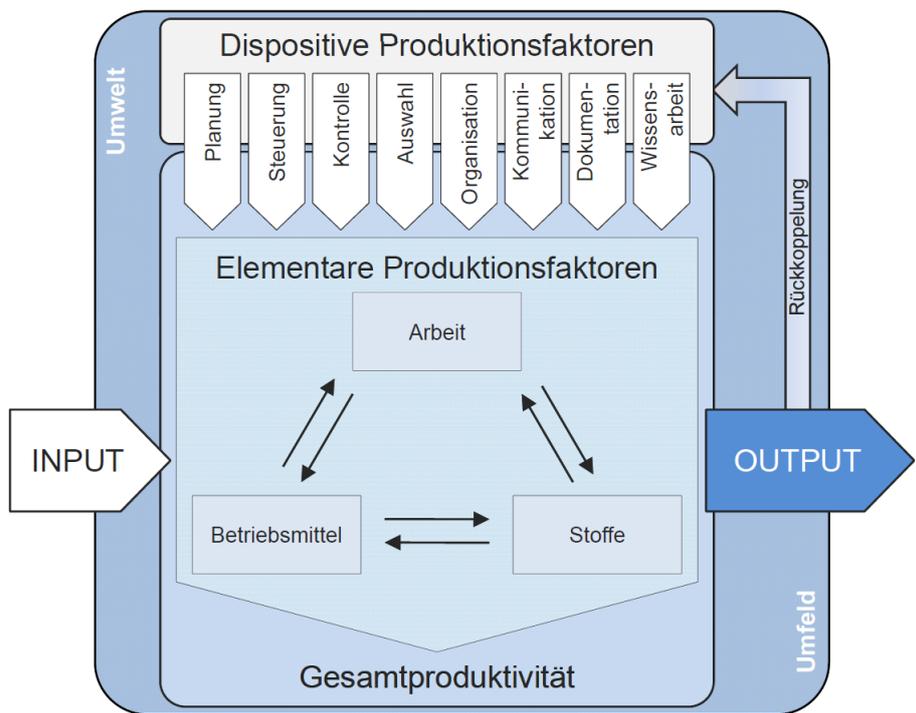


Bild 1.3 Zusammensetzung der Gesamtproduktivität aus dispositiven und elementaren Produktionsfaktoren⁵

In diesem Zusammenhang zeigt Bild 1.3 einen Regelkreis bzw. das Zusammenspiel der elementaren Produktionsfaktoren untereinander, mit den dispositiven Faktoren. Diese Interaktion geschieht eingebettet im Umfeld der Baustelle sowie der am Bau Beteiligten und weist als Ergebnis die Gesamtproduktivität als Verhältnis von Output zu Input aus.

Der dispositive und damit finanzielle Spielraum einer Bauunternehmung bei der Ausführung des Bauprodukts, welches einer Einzelfertigung an einem gewünschten Standort entspricht, liegt unter anderem in der Wahl eines auf das Objekt zugeschnittenen Fertigungsverfahrens, unter opti-

⁵ HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb; Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 15

malen Einsatz der Produktionsfaktoren, sowie einer möglichst zutreffenden Annahme des zu übernehmenden Risikos.^{6 7}

Lulei spricht vor allem die Thematik an, dass sich, in gesättigten, freien Märkten, wie es in Mitteleuropa der Fall ist, die Renditeverteilungen von Projekten auf lange Frist immer symmetrisch um Null verhalten werden.⁸ Eine Steigerung der mittleren Rendite sei nur mehr durch Fehlervermeidung und durch die Einführung besserer Standards z.B. einer Prozessoptimierung möglich.⁹

Dies sind nur einige wenige Gründe, weshalb man als Baufirma angehalten sein sollte, die zur Verfügung stehende Kapazität der Unternehmung und insbesondere jener des Baustellenbetriebs optimal und effizient zu nutzen.

Durch eine akribische Entscheidungsvorbereitung, im Zuge der Arbeitsvorbereitung, können unerwartete Situationen bereits im Vorfeld einer Bauaufgabe berücksichtigt und allfällige Abweichungen mit einbezogen werden. Bewertet man alle in Betracht kommenden Szenarien, so käme man zum Schluss, dass daraus eine rationale Entscheidung getroffen werden kann. Allerdings prägt das Urteilen und Entscheiden in einer Welt voller Ungewissheit, weil man bekanntermaßen die Zukunft nur erraten und über die Vergangenheit nie das vollständige Wissen besitzt, unser tägliches Leben.¹⁰ Hinzu kommt noch, dass das menschliche lineare Denkvermögen, angewandt auf die Komplexität der Umwelt eher dürftig ist, muss man schon damit zufrieden sein, Problemlösungen zu finden, die „gut genug“ sind.¹¹ Das bedeutet auch, dass schon allein die Vorstellungskraft für bestimmte Abläufe, oder für natürliche Prozesse nicht ausreicht, da sie das menschliche kognitive Vermögen übersteigen. Nur, weil man sich gewisse Vorkommnisse nicht vorstellen kann, heißt es noch lange nicht, dass sie nicht passieren. Aus diesen Gründen ist der Mensch nicht immer in der Lage eine rationale, oder vernünftige Entscheidung zu fällen.¹² Nun stellt genau diese Feststellung die Krux dieser Thematik dar. Nichtsdestotrotz wird, durch die nachfolgend erläuterte Methodik, versucht, die Unsicherheit in den Entscheidungsfindungsprozess mit einfließen zu lassen. Dazu wird hier die Fragestellung nach der optimalen Anzahl an Fertigungsabschnitten bei der Herstellung von Stahlbetondecken, im Hinblick auf die Kostenentwicklung, bearbeitet.

⁶ Vgl. BAUER, H.: Baubetrieb; 3. Auflage. S. 4

⁷ Vgl. HOFSTADLER, C.: Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb. S. 14

⁸ Vgl. LULEI, F.: Fehler und Risiken einmal anders betrachtet. In: Tagungsband 2014; Risiken im Bauvertrag. S. 144

⁹ ebd.

¹⁰ Vgl. GERRIG, R. J.; ZIMBARDO, P. G.: Psychologie; 18., aktualisierte Auflage. S. 311

¹¹ ebd.

¹² ebd.

1.3 Methodik

Die Vorgehensweise richtete sich zunächst nach dem Ansatz vom Groben ins Detail, wonach zunächst die, für die Betrachtung wesentlichen Systemelemente identifiziert sowie voneinander abgegrenzt und anschließend in Verbindung gebracht wurden. Konkret bedeutet dies, dass neben den Hauptprozessen schalen, bewehren und betonieren, noch die Fertigungsabschnittsabhängigen Vorgänge der Herstellung der Arbeitsfugen und die an den Gemeinkosten beteiligten Krankkosten, beleuchtet werden. Indes geschieht durch den Einsatz der Entscheidungsbaumtypologie eine zweite Gliederung in Form einer Baumstruktur, die mögliche Erwartungsszenarien auffächert und damit einen Entscheidungspfad ausbildet. Als Hilfsmittel wurde dabei eine Risikoanalysesoftware, der ein Kapitel zur Beschreibung gewidmet wurde, angewandt.

Durch die Ausbildung von Alternativen bzw. unterschiedlicher Erwartungshaltungen können verschiedene Pfade, die durch Eintrittswahrscheinlichkeiten bewertet sind, beschränkt werden. Durch eine Bauebene können dabei vielfältige, erwartete Szenarien ausgebildet werden. Hinter diesem Entscheidungsbaum befindet sich ein Kalkulationsmodell als Abbildung der Wirklichkeit, welches durch Rechenoperatoren, die Kosten jeder Entscheidungsebene ermittelt und in die Baumstruktur „einpflanzt“. Über diese Art der Entscheidungsvorbereitung und der daraus entstehenden Ausprägungen der Kosten kann das Urteil transparent nachvollzogen werden.

1.4 Zielformulierung

Aus diesen Gesichtspunkten heraus wird in dieser Arbeit das Ziel verfolgt, auf Basis eines Rechenmodells, mit Einbezug möglicher alternativen Lösungswege, eine optimale Entscheidung in Bezug auf baubetriebliche und bauwirtschaftliche Fragestellungen zu erwirken, um schließlich die Quantifizierung von Risiken und Chancen zu ermöglichen. Diese Systematische Entscheidungsvorbereitung kann die Antwort auf nachfolgende Fragestellungen sein:

- Durch welche Anzahl an Fertigungsabschnitten kann ein Minimum an Kosten verursacht werden?
- Welches Schalungssystem soll zum Einsatz gebracht werden?
- Welche Anordnung der Arbeitspartien führt zu geringeren Produktivitätsverlusten?
- Welche Art der Betoneinbringung erweist sich als günstiger?

Durch den Einsatz des Entscheidungsbaumes können nun diese Entscheidungspfade nachvollzogen, transparent dargestellt und die möglichen Lösungen analysiert werden.

1.5 Aufbau der Arbeit

Mit einem Wegweiser, der überblicksmäßig durch die vorliegende Arbeit führt, wird das einleitende Kapitel geschlossen.

Zunächst befasst sich das zweite Kapitel mit der Entwicklung von unterschiedlichen Problemlösungsstrategien, ehe in Kapitel 3 die Begriffe des Risikos und der Chance gegenübergestellt und für diese Arbeit festgelegt werden. Durch diese Begrifflichkeiten kann auch ein Übergang von den deterministischen zu den probabilistischen Berechnungsmethoden gezeigt werden.

Um eine quantitative Risiko-Chancen-Auswertung generieren zu können, ist ein möglichst kompaktes Modell zu erstellen, dessen unterschiedliche Ausbildungen in Kapitel 4 diskutiert werden.

Kapitel 5 widmet sich dem Thema der Entscheidungstheorie, in dem ein allgemeiner Zugang zur Problemstellung „Entscheidung unter Risiko“ aufgezeigt wird. Darauf aufbauend wird in Kapitel 6 speziell auf die Entscheidungsbaumtypologie mit der zugehörigen Programmerklärung der verwendeten Software eingegangen.

Die Kapitel 7 und 8 bilden die Herzstücke dieser Arbeit, in denen das Berechnungsschema in Form von Tabellen und die Ergebnisse, dargestellt als Auswertungsdiagramme, angeführt werden. In Kapitel 7 wird speziell auf die Berechnung der Kosten der Stahlbetonarbeiten sowie die Verknüpfung mit dem Entscheidungsbaum in PrecisionTree eingegangen. Mit der Interpretation der Auswertungsdiagramme wird das Kapitel abgeschlossen. Darauf folgt in Kapitel 8 eine vertiefte Betrachtung des optimalen Entscheidungspfades aus Kapitel 7 mit Hilfe von @Risk als Übergang von der deterministischen zu einer probabilistischen Betrachtungsweise.

In Kapitel 9 folgt eine globale Zusammenfassung der vorgestellten Methodik, ehe auf Folgeanwendungen Ausschau gehalten wird.

2 Entwicklung von Problemlösungsstrategien als Grundlage zur Entscheidungsfindung

Jeder Beginn einer Bauaufgabe ist aufgrund, der im einleitenden Kapitel angeführten Umstände, mit einer neuen Problemsituation gleichzusetzen. Es gilt durch geistige Aktivitäten, wie das Problemlösen und das logische Denken, aktuelle Informationen mit den im Gedächtnis behaltene Informationen zu verbinden, um auf ein bestimmtes Ziel hinzuarbeiten.¹³ In der Psychologie wird allgemein von einem Problemraum gesprochen, der durch die drei Elemente:

- Anfangszustand; gekennzeichnet durch unvollständige Informationen und einer mitunter unbefriedigenden Zustandslage von der man ausgeht,
 - Zielzustand; beschrieben durch einer zu erreichenden Stufe und
 - einer Menge von Operatoren; die die Schritte zum Ziel darstellen,
- aufgespannt wird.¹⁴

Diese trivialen Elemente bilden die grundlegenden Bereiche eines jeden Lösungs- und daraus folgenden Entscheidungsprozesses ab. Zieht man den Vergleich zur Bauunternehmung, so kann global der Anfangszustand mit dem Studium der Ausschreibungsunterlagen, der Zielzustand mit dem darin beschriebenen Leistungsziel und die Schritte zur Zielerreichung als effiziente¹⁵ Kombination der benötigten Produktionsfaktoren (siehe Bild 1.3) gegenübergestellt werden. Dabei sei zu erwähnen, dass es bei der Zielsetzung, die eine notwendige Voraussetzung für das Gelingen eines Vorhabens (Bauvorhabens) darstellt, unter den Beteiligten unweigerlich Abweichungen und Unklarheiten gibt und daraus ein Konfliktpotential entstehen kann.¹⁶ Gerade dieser Weg zum Ziel kann sich unterschiedlich gestalten und ist letzten Endes ausschlaggebend für den wirtschaftlichen Erfolg der Unternehmung.

2.1 Der Problemlösungsprozess

Im Gegensatz zu einem einfachen, mathematischen Problem, welches durch einen bestimmten Algorithmus – beispielsweise der quadratischen

¹³ Vgl. GERRIG, R. J.; ZIMBARDO, P. G.: Psychologie; 18., aktualisierte Auflage. S. 302

¹⁴ Vgl. GERRIG, R. J.; ZIMBARDO, P. G.: Psychologie; 18., aktualisierte Auflage. S. 302 ff

¹⁵ Effizienz und Effektivität werden oftmals synonymhaft verwendet, bedeuten aber nicht dasselbe.

Effektiv: Maßnahmen setzen, die zum Ziel führen

Effizienz: Mittel in einem optimalen Verhältnis zueinander, wirtschaftlich vorteilhaft einzusetzen

¹⁶ JAKOBY, W.: Projektmanagement für Ingenieure 2. Auflage. S. 45

Gleichung, die zwei mögliche, exakte Lösungen liefert – gelöst werden kann, ist es für ein Bauunternehmen nicht möglich den Bauvorgang mit Hilfe einer oder mehrerer Gleichungen vollkommen zu beschreiben.¹⁷ Der Bauablauf kann sich, je nach Projektumfang, vielschichtig und recht komplex gestalten. Deshalb ist man angehalten sich mit dem allgemeinen Problemlösungsprozess und der Methodik unterschiedlicher Lösungstaktiken, die folgend vorgestellt werden, auseinanderzusetzen.

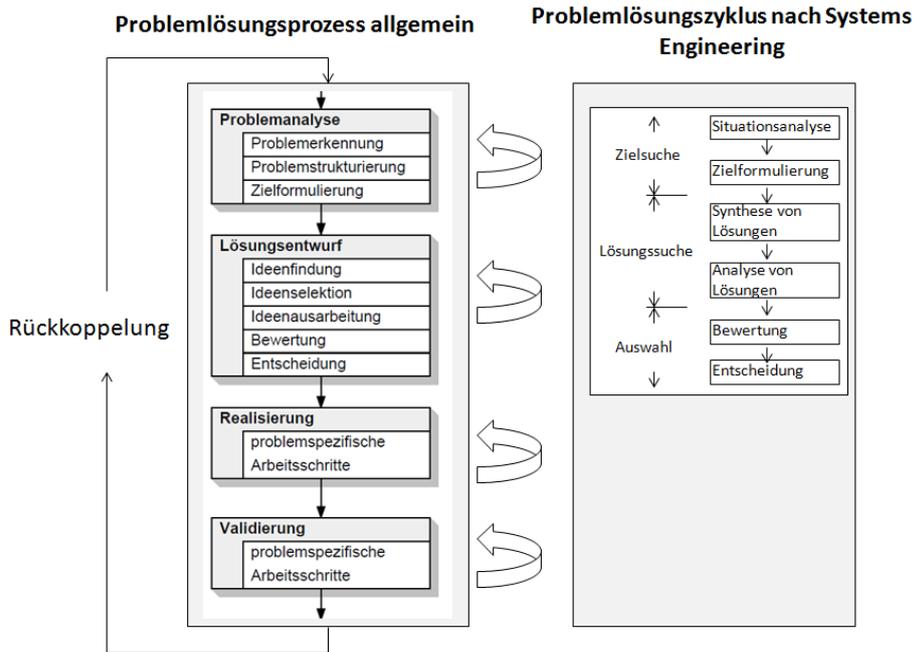


Bild 2.1 Gegenüberstellung der 4 Phasen des Problemlösungsprozesses mit dem Problemlösungszyklus nach dem Systems Engineering¹⁸
19

Dazu zeigt Bild 2.1 einen allgemein gültigen Ablauf, wie Probleme durch unterschiedliche Methoden, zunächst erkannt und strukturiert, Ideen gefunden und bewertet, sowie schlussendlich umgesetzt und rückwirkend auf deren Wirkung untersucht werden können. Innerhalb der Prozesselemente geschieht eine ständige Rückkopplung, durch die Erkenntnisse vorhergehender Ereignisse in den weiteren Entscheidungsverlauf mit einfließen können. Dieser allgemeine Prozess wird in Bild 2.1 mit den Elementen des Problemlösungszyklus nach dem Systems Engineering gegenübergestellt. Man erkennt dieselben Elemente in den Phasen der Zielsuche, der Lösungssuche sowie der Auswahl einer Lösung. Zur genaueren Beschreibung der einzelnen Prozessphasen, die

¹⁷ Vgl. GERRIG, R. J.; ZIMBARDO, P. G.: Psychologie; 18., aktualisierte Auflage. S. 303 ff

¹⁸ Weiterentwickelt aus: JAKOBY, W.: Projektmanagement für Ingenieure 2. Auflage. S. 36

¹⁹ Weiterentwickelt aus: SCHÜTZ, M.: Anwendung des Systems Engineering auf die Arbeitsvorbereitung von Bauprojekten; Masterarbeit. S. 41

aus einschränkenden Gründen nicht zum Gegenstand dieser Arbeit gehören, verweist der Autor auf die einschlägige Literatur.

An dieser Stelle sei jedoch die im Bauwesen wesentliche und verbreitete Methode der ABC-Analyse im Zuge der Strukturierung eines Leistungsverzeichnisses angeführt. Mit diesem Prinzip lassen sich qualitative Faktoren den jeweiligen Klassen, von A-Faktoren mit großer, B-Faktoren mit mittlerer und C-Faktoren mit geringer Bedeutung, zuordnen.²⁰ Zur Klassifizierung von quantitativ vorhandenen Faktoren, lässt sich die Einflussstärke verschiedener Größen eines Sachverhalts über Zahlenwerte, im speziellen über die 80/20-Regel, wie es Bild 2.2 zeigt, ausdrücken.²¹ Dieses Prinzip ist weitläufig als „Pareto-Prinzip“ bekannt und besagt im Allgemeinen, dass man mit einem Eintrag von 20 % an Aufwand, rund 80 % Austring erzielen kann.²² Im Umkehrschluss bedeutet dies, wenn man die restlichen 20 % an Ertrag erreichen will, so muss man wiederum 80 % an Aufwand einbringen. Es lässt sich beobachten, dass dieser Grundsatz auch auf viele andere Bereiche übertragen werden kann, so beherbergen etwa die 32 (von 200) größten Staaten der Welt (= 16 %), 80 % der Weltbevölkerung.²³

Wenn es nun darum geht ein Angebot für ein Bauvorhaben, das durch ein umfangreiches Leistungsverzeichnis und durch Planunterlagen mehr oder weniger hinreichend beschrieben ist zu erstellen, so hat eine ausführende Unternehmung oft nicht genug Zeit, alle Positionen detailliert durchzukalkulieren. Dadurch macht es Sinn, zunächst nur die essentiellen Positionen, das sind demnach nur rund jene 20 %, die ca. 80 % des Preises ausmachen, einer detaillierten Analyse und Kalkulation zu unterziehen. Hält man sich die Umstände die bei der Angebotskalkulation vorherrschen vor Augen, so würde es wenig Sinn machen, unter hohem Aufwand, eine vollständig detaillierte Kalkulation zu erstellen. Diese Methode kann bereits eine erste Form des Risikomanagements darstellen.

Hinter der in Bild 2.1 dargestellten Prozesskette, verstecken sich jedoch noch diverse andere Methoden, die es je nach vorhandener Problemstellung, auszuwählen gilt.²⁵ Mit der Erläuterung des angeführten Prozessablaufs wird versucht, einen für die vorliegende Arbeit wesentlichen Bogen von dem Anfangsproblem über die Wahl der für das Problem adäquaten Lösungsmethode bis hin zur tatsächlichen quantitativ fundierten Entscheidung für eine Lösungsalternative zu spannen. So schließt der Begriff der „Entscheidung“ neben dem Entschluss auch dessen Vor-

Vilfredo Pareto lebte von 1848 bis 1923 und entdeckte, dass rund 80 % des italienischen Bodens, im Besitz von nur 20 % der Bevölkerung waren.²⁴

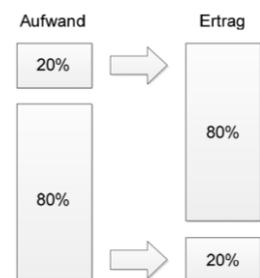


Bild 2.2 80/20-Regel von Pareto

²⁰ Vgl. JAKOBY, W.: Projektmanagement für Ingenieure 2. Auflage. S. 43

²¹ ebd.

²² Vgl. <http://www.pareto-prinzip.net/>. Datum des Zugriffs: 24.03.2014

²³ Vgl. JAKOBY, W.: Projektmanagement für Ingenieure 2. Auflage. S. 43f

²⁴ Vgl. <http://www.pareto-prinzip.net/>. Datum des Zugriffs: 24.03.2014

²⁵ Vgl. JAKOBY, W.: Projektmanagement für Ingenieure 2. Auflage. S. 36

bereitung mit ein, somit entspricht der vorangestellte Problemlösungsprozess einem Entscheidungsprozess durch den die möglichen Lösungen des Problems über die erwogenen Alternativen repräsentiert werden können und sich die tatsächliche Lösung durch die gewählte Alternative ergibt.²⁶

In Verbindung mit dem Lösen eines Problems bzw. mit der Bildung von Alternativen können zunächst zwei grundsätzliche Betrachtungsweisen angeführt werden.

2.1.1 Mechanischer Ablaufplan

Darunter versteht man das lineare Abhandeln von nacheinander folgenden Operatoren im Rahmen eines Programmablaufplans, der auch als Flussdiagramm benannt werden kann, wie es in Bild 2.3 dargestellt ist. Diese Art der Darstellung erweist sich als besonders nützlich, wenn der Ablauf eines Programms bzw. eines Schemas in Reihung gebracht oder ein Algorithmus für eine sequenzielle Berechnung visualisiert werden soll.

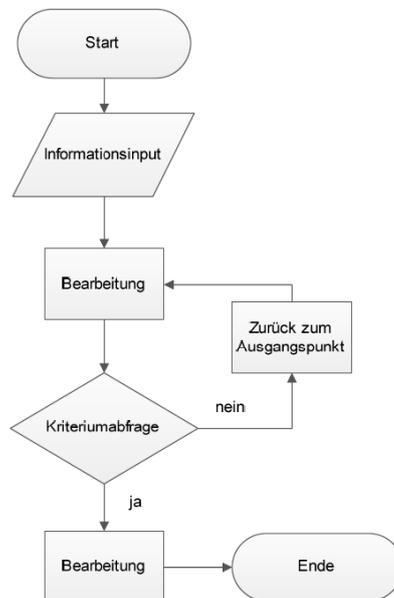


Bild 2.3 Schematische Darstellung eines einfachen Programmablaufs

Dieses serielle Abhandeln von Operatoren entpuppt sich bei bauwirtschaftlichen Problemstellungen als ein Nachteil, da sich der Bauprozess selbst als komplex verzweigter Ablauf mit einer Vielzahl an Rückkopp-

²⁶ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 12

lungen und gegenseitigen Beeinflussungen einstellt und sich daraus die nachfolgend zweite wesentliche Vorgehensweise als gebräuchlicher erweist.

2.1.2 Systematischer Ansatz

Bei dieser Systemtheorie lassen sich verschiedene Ausprägungen des Systemdenkens anführen, die Schütz²⁷ in seiner Arbeit ausführlich erläutert. Daraus sei hier die spezielle Methodik des Systems Engineering angeführt. Der Grundgedanke dieser Strategie basiert auf dem Systemansatz, der den betreffenden Sachverhalt, bzw. das jeweilige Problem als ganzheitliches System darstellt.²⁸ Diese Form wird gerade bei komplexen und umfangreichen Fragestellungen angewandt, um das Problem zunächst zu strukturieren, sodass es in weiterer Folge überschaubar, diskutierbar und vor allem lösbar wird.²⁹ Es sollen dabei möglichst viele Einflussfaktoren, als Elementgrößen identifiziert, von anderen Systemen abgegrenzt, über Beziehungen gegenseitig im Kontakt gebracht und in das System einbezogen werden.³⁰

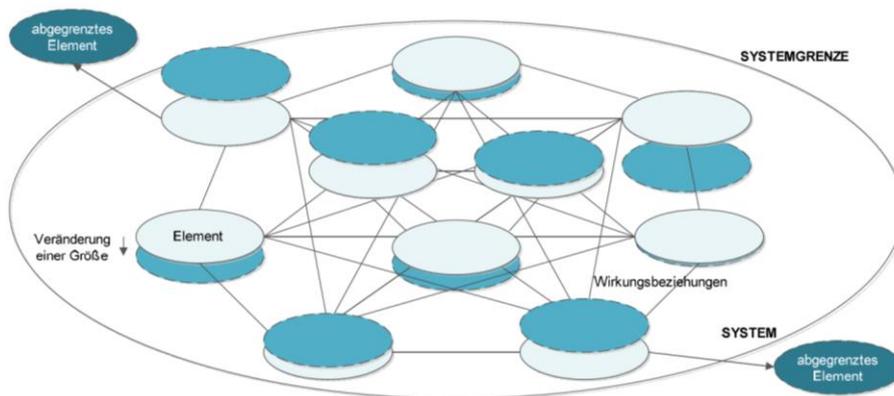


Bild 2.4 Systemisches Wirkungsprinzip³¹

Bei dieser ganzheitlichen Betrachtung übertragen sich die Auswirkungen von Eingriffen, die an einer Stelle des Systems geschehen, durch ein Netz von Wirkungsbeziehungen an andere Stellen des Systems und

²⁷ Vgl. SCHÜTZ, M.: Anwendung des Systems Engineering auf die Arbeitsvorbereitung von Bauprojekten; Masterarbeit. S. 8ff

²⁸ Vgl. SCHÜTZ, M.: Anwendung des Systems Engineering auf die Arbeitsvorbereitung von Bauprojekten; Masterarbeit. S. 7

²⁹ Vgl. SCHÜTZ, M.: Anwendung des Systems Engineering auf die Arbeitsvorbereitung von Bauprojekten; Masterarbeit. S. 32

³⁰ Vgl. SCHÜTZ, M.: Anwendung des Systems Engineering auf die Arbeitsvorbereitung von Bauprojekten; Masterarbeit. S. 10

³¹ Weiterentwickelt aus: SCHÜTZ, M.: Anwendung des Systems Engineering auf die Arbeitsvorbereitung von Bauprojekten; Masterarbeit. S. 10; aus HABERFELLNER R.: Projekt-Management auf Basis des Systems Engineering

sorgen dort für oft unerwartete oder nicht berücksichtigte und damit häufig unerwünschte Auswirkungen, wie es Bild 2.4 zeigt.³²

Überträgt man nun diese Charakteristik, wie sie in Bild 2.4 schematisch dargestellt ist auf den Bauprozess, so kann die Änderung eines Elements, welches bspw. für die Anzahl der Arbeitskräfte auf der Baustelle stehen kann, für abweichende Effekte bei anderen Elementen wie der Krankkapazität, dem Fassungsvermögen der Unterkünfte, der täglichen Arbeitsleistung und damit auch der Kosten sorgen. Die zufällige Änderung des Zustands eines Elements kann also weitreichende Folgen auf das weitere Baugeschehen nach sich ziehen. Dabei soll die Problembetrachtung umfassend und global geschehen sowie Interdependenzen zwischen den Elementen analysiert werden.

Zusammenfassend wird hier festgehalten, dass der Problemlösungsprozess in dieser Arbeit mit dem Entscheidungsprozess gleichgesetzt wird und sich eine systematische Betrachtungsweise als adäquate Abhandlungsstrategie erweist. Von essentieller Bedeutung ist aber, das Ziel stets im Blickwinkel zu halten, dabei sollen große Ziele in kleinere Teilzielpakete zerlegt werden, um nicht schon an der Größe des Problems bereits zu scheitern. Im Folgenden werden Methoden zur Entscheidungsfindung und zur Vorbereitung der selbigen erläutert.

2.2 Intuitive Methoden zur Entscheidungsfindung

In vielen Büchern zum Thema Denken und Entscheiden wird oftmals angeführt, dass vernünftiges Denken auf den Gesetzen der Logik, der Wahrscheinlichkeitsrechnung oder der Maximierung des erwarteten Nutzens basiert, doch diese Systeme beschreiben nicht, wie das „Strickmuster Mensch“ wirklich funktioniert und schlussendlich eine Situation beurteilt und eine Entscheidung trifft.³³ Gigerenzer geht dem Phänomen der Bauchentscheidung auf die Spur, wie Menschen oft unbewusste Entscheidungen treffen, die jedoch im Widerspruch zum bewussten Handeln stehen.³⁴

Nachfolgend wird dazu eine Vorgehensweise erläutert, die sich Menschen tagtäglich bedienen.

³² Vgl. BALLIN, D.: Systemdenken und Simulation mit HERAKLIT. www.vernetzt-denken.de/media/docs/systemdenken-und-simulation.pdf. Datum des Zugriffs: 12.05.2014

³³ Vgl. https://www.psychologie.uni-heidelberg.de/ae/allg/enzykl_denken/Enz_06_Heuristiken.pdf. Datum des Zugriffs: 05.04.2014

³⁴ Vgl. GIGERENZER, G.: Die Intelligenz des Unbewussten und die Macht der Intuition. In: Bauchentscheidungen 4. Auflage. S. 13

2.2.1 Heuristiken

Der Begriff Heuristik lässt sich auf das altgriechische Verb „heuriskein“ zurückführen, was so viel wie „finden“ bedeutet und wird heutzutage oft im Sinne von „leitet Entdeckung“ oder „verbessert Problemlösen“ verwendet.³⁵ Wenn nun Algorithmen nicht in Reichweite sind, dann bedienen sich Problemlöser meist der Methode der Heuristik, unter der allgemein das Anwenden von Faustregeln oder einer Daumenregel verstanden wird.³⁶ Eine weitere Definition lautet:

„Eine Heuristik ist eine Strategie, welche mit nur wenig Information arbeitet und den Rest ignoriert.“³⁷

Oftmals wird eine heuristische Vorgehensweise mit einer Sinnesempfindung, wie es bspw. das „Bauchgefühl“ oder die „Bauchentscheidung“ darstellt, gleichgestellt.³⁸

Laux et. al. benennt das Lösen von Problemen, bei denen keine geeigneten oder überhaupt keine Berechnungsalgorithmen vorliegen, als ein Suchen durch „systematisches Probieren“, eine „gute/ansprechende Lösung“ zu finden, als ein heuristisches Suchverfahren.³⁹

Gerrig/Zimbardo führen in ihrem Werk weiters an, dass bei zusätzlich wenig verfügbarer Zeit und nicht genügend Informationen die Urteile von Menschen auf Heuristiken und nicht auf formalen Analysemethoden beruhen.⁴⁰ Legt man diese Aussage nun auf die vorherrschende Situation am Bausektor um, so lässt sich aufgrund eines oft eng gestrickten Zeitplans und des anfänglichen Informationsdefizits erahnen, dass das heuristische Urteilen breite Anwendung findet. Der Heuristik kann also eine wesentliche Bedeutung im Beurteilen, also in der Meinungsbildung einer Variante und dem anschließenden Entscheiden, bezeichnet den Prozess des Wählens zwischen zwei Alternativen, zugeschrieben werden.⁴¹ Der Begriff der Heuristik beinhaltet, nach dem Verständnis des Autors, die Elemente des Suchens, Findens und der Meinungsbildung einer Problemstellung. Es stellt sich schließlich aber die Frage, wie Menschen Heuristiken einsetzen? Dazu können vier grundlegende Heuristiken unterschieden werden.

Verfügbarkeitsheuristik oder Rekognitionsheuristik:

³⁵ Vgl. https://www.psychologie.uni-heidelberg.de/ae/allg/enzykl_denken/Enz_06_Heuristiken.pdf. Datum des Zugriffs: 05.04.2014

³⁶ Vgl. GERRIG, R. J.; ZIMBARDO, P. G.: Psychologie; 18., aktualisierte Auflage. S. 304

³⁷ GIGERENZER, G.: Einfache Heuristiken für komplexe Entscheidungen. In: Mathematisierung der Natur, BBAW / Schriftenreihe / Debatte / Heft 4/2007. S. 39

³⁸ Vgl. GIGERENZER, G.: Die Intelligenz des Unbewussten und die Macht der Intuition. In: Bauchentscheidungen 4. Auflage. S. 1ff

³⁹ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 52f

⁴⁰ Vgl. GERRIG, R. J.; ZIMBARDO, P. G.: Psychologie; 18., aktualisierte Auflage. S. 312

⁴¹ Vgl. GERRIG, R. J.; ZIMBARDO, P. G.: Psychologie; 18., aktualisierte Auflage. S. 311

Der Verfügbarkeitsheuristik bedienen sich Menschen dann, wenn sie Urteile auf Basis von leicht verfügbaren Informationen aus deren Gedächtnis fällen müssen.⁴² Jedoch können durch gemütsbefindliche Zustände, die sich auf den Verstand in spezieller Weise verzerrend auswirken (glückliche und unglückliche Ereignisse) und durch eine nicht adäquate Datengrundlage, der im Gedächtnis gespeicherten Informationen, Probleme bei dieser Art der Heuristik entstehen.⁴³ Gerrig/Zimbardo führen als Anwendung der Verfügbarkeitsheuristik das Beispiel an, bei dem eine Personengruppe nach der Häufigkeit von Wörtern, in einem Buchabschnitt, die mit dem Buchstaben K (z.B. Känguru) beginnen und Wörtern, bei denen ein K (z.B. Imker) an dritter Stelle steht einschätzen mussten.⁴⁴ Die Teilnehmer dieser Studie gaben an, dass das K am Wortanfang häufiger vorkommt, als an dritter Stelle, tatsächlich sind aber Wörter mit einem K an der dritten Stelle häufiger.⁴⁵ Dieses Phänomen der Verfügbarkeitsheuristik lässt sich auch insofern erklären, als dass es für Menschen einfacher ist, über Wörter im Gedächtnis zu verfügen, die ein K am Wortanfang, als an dritter Stelle haben.⁴⁶ Ähnlich verhält es sich, wenn man eine Personengruppe nach der chronologischen Einteilung über die Bevölkerungszahlen bestimmter Länder befragt.⁴⁷ Die Probanden greifen zur Urteilsbildung auf Informationen zurück, die sie über das jeweilige Land schon irgendwo mal gehört, oder im Gedächtnis gespeichert haben und entscheiden nach diesem Wissensstand, obwohl zwischen diesen Merkmalen keine Korrelation besteht.^{48 49}

Repräsentativitätsheuristik:

Bedient man sich dieser Heuristik, so urteilt man auf Basis einer Wechselseitigkeit zwischen der Eigenschaft einer Sache und der Kategorie, der sie angehört.⁵⁰ Betrachtet man das Beispiel, bei dem gefragt wurde, welchen Lieblingssport ein Anwalt ausübt, so erscheint für die meisten das stereotypische Bild, ihn mit Tennis bzw. einem übergeordneten Ballsport zu verbinden.⁵¹ In diesem Zusammenhang kann auch die Besonderheit bei der Zusammenstellung von Lottozahlen beobachtet werden, wodurch für Menschen eine chronologische Anordnung mit 1, 2, 3, 4, 5 und 6 als nicht so sehr repräsentativ als bspw. 12, 19, 23, 34, 37 und 44

⁴² Vgl. GERRIG, R. J.; ZIMBARDO, P. G.: Psychologie; 18., aktualisierte Auflage. S. 312f

⁴³ Vgl. GERRIG, R. J.; ZIMBARDO, P. G.: Psychologie; 18., aktualisierte Auflage. S. 313

⁴⁴ Vgl. GERRIG, R. J.; ZIMBARDO, P. G.: Psychologie; 18., aktualisierte Auflage. S. 312

⁴⁵ ebd.

⁴⁶ Vgl. GERRIG, R. J.; ZIMBARDO, P. G.: Psychologie; 18., aktualisierte Auflage. S. 313

⁴⁷ ebd.

⁴⁸ ebd.

⁴⁹ Vgl. GIGERENZER, G.: Die Intelligenz des Unbewussten und die Macht der Intuition. In: Bauchentscheidungen 4. Auflage. S. 15

⁵⁰ Vgl. GERRIG, R. J.; ZIMBARDO, P. G.: Psychologie; 18., aktualisierte Auflage. S. 314

⁵¹ Vgl. GERRIG, R. J.; ZIMBARDO, P. G.: Psychologie; 18., aktualisierte Auflage. S. 314f

erscheint, obwohl die Wahrscheinlichkeit in beiden Fällen exakt gleich hoch ist.⁵² Ein weiteres Beispiel für die Anwendung einer Repräsentativitätsheuristik kann auch allgemein die Beschilderung im Straßenverkehr gesehen werden, bei der bspw. ein Stoppschild in einer fremden, nicht lesbaren Sprache ausgeführt sein kann, und man trotzdem, allein aufgrund der typischen Form des Schildes, auf dessen Aussagekraft rückschließen kann.

Ankerheuristik:

Zur Erklärung der Ankerheuristik sei wiederum ein kleines Gedankenexperiment nach Gerrig/Zimbardo angeführt, bei dem man in 5 Sekunden zunächst die Zahlen aufsteigend von 1 bis 9 und dann wiederum die Zahlen absteigend von 9 bis 1 multiplizieren muss.⁵³ Die Resultate der Studie zeigten, dass bei der ersten Zahlenreihe wesentlich niedriger Ergebnisse folgten als bei der zweiten, da die Teilnehmer die Aufgabe erwartungsgemäß nicht in der vorgegebenen Zeit erledigen konnten und die Lösung auf Grundlage der letzten errechneten Zahl hochrechneten.⁵⁴ Menschen, die sich der Ankerheuristik bedienen, „verankern“ ihr Schätzurteil stark an der ursprünglichen Schätzung und lassen sich dadurch stark in der Urteilsbildung beeinflussen.⁵⁵ Im Konnex zur Bauwirtschaft kann aus dieser Darlegung der Schluss gezogen werden, dass bei der Bestimmung bzw. Festlegung von Aufwands- bzw. Leistungswerten auch vorausgehende Ansätze nachfolgende, darauf aufbauende Schätzurteile beeinflussen.

Blickheuristik:

Gigerenzer⁵⁶ führt in seiner Arbeit zudem eine weitere Art der Heuristik – jene der Blickheuristik – an. Dieser bedienen sich Menschen, wenn sie bspw. einen Ballsport ausüben. Ein Baseballspieler, genauer gesagt ein Fänger, verhält sich beim Fangen des Balles, als ob er die parabolische Flugbahn des Balles durch ein komplexes Differentialgleichungssystem in kurzer Zeit gelöst hätte, um ihn schlussendlich an der richtigen Stelle aufzufangen.⁵⁷ In Wahrheit folgte er aber der Blickheuristik, durch die der Spieler seinen Blick auf den Ball richtet und seine Geschwindigkeit so anpasst, dass der Blickwinkel zum Ball konstant bleibt.⁵⁸

⁵² Vgl. GERRIG, R. J.; ZIMBARDO, P. G.: Psychologie; 18., aktualisierte Auflage. S. 315

⁵³ Vgl. GERRIG, R. J.; ZIMBARDO, P. G.: Psychologie; 18., aktualisierte Auflage. S. 315

⁵⁴ Vgl. GERRIG, R. J.; ZIMBARDO, P. G.: Psychologie; 18., aktualisierte Auflage. S. 316

⁵⁵ ebd.

⁵⁶ Vgl. GIGERENZER, G.: Die Intelligenz des Unbewussten und die Macht der Intuition. In: Bauchentscheidungen 4. Auflage. S. 19

⁵⁷ Vgl. GIGERENZER, G.: Die Intelligenz des Unbewussten und die Macht der Intuition. In: Bauchentscheidungen 4. Auflage. S. 17

⁵⁸ Vgl. GIGERENZER, G.: Die Intelligenz des Unbewussten und die Macht der Intuition. In: Bauchentscheidungen 4. Auflage. S. 18

Zunächst erscheinen solche Bauchentscheidungen als unprofessionell und planlos obgleich sie bei Routineentscheidungen, bei denen es irrsinnig wäre eine umfassende Analyse durchzuführen, eine große Berechtigung besitzen und in vielen Situationen zu akzeptablen Ergebnissen führen.⁵⁹ Es gibt viele Studien, verschiedene Prüfungsanordnungen und vielfältige Gedankenexperimente, wie sie Gerrig/Zimbardo beschreiben, aus denen hervorgeht, dass heuristische Urteile meist recht gute bzw. brauchbare Ergebnisse hervorrufen.⁶⁰ Je komplexer sich die Sachverhalte gestalten und je mehr Menschen an dem Entscheidungsprozess beteiligt sind, desto bedeutungsvoller wird es aber die Entscheidung gründlich vorzubereiten und methodisch durchzuführen.⁶¹

2.2.2 Versuch und Irrtum (Trial and Error)

Eine weitere Methode, die sich der Heuristik bedient, ist das Trial and Error-Prinzip. Es entstammt der Wortherkunft aus dem englischen Sprachgebrauch und ist nach der Übersetzung gleichbedeutend mit der Versuch und Irrtum-Methode, die durch das Beschreiten verschiedener Lösungswege den besten Weg zur Lösung eines Problems findet und dadurch nach und nach die aufgetretenen Fehler ausschaltet.⁶²

2.3 Qualitativ analytische Methoden zur Entscheidungsfindung

Im Vergleich zu der heuristischen Vorgehensweise besitzen qualitative Entscheidungsverfahren eine nachvollziehbare Systematik zur Urteilsbildung, dabei werden aber noch keine mathematischen Werkzeuge eingesetzt.⁶³ Die einfachste Form einer Gegenüberstellung ist die Anwendung einer Argumentenbilanz wobei man meist die Konsequenzen einer Handlungsalternative mit jenen einer anderen vergleicht, indem man die Vor- bzw. Nachteile einander gegenüberstellt.⁶⁴ Zur Frage: Soll eine Firma gewisse Bereiche aus der bestehenden Struktur auslagern und Outsourcing betreiben? So könnte man nun eine Tabelle mit Pro und Contra anlegen und je nach der Anzahl der Nennungen auf „positiv“ oder „negativ“ entscheiden (siehe dazu Tabelle 2.1).⁶⁵

⁵⁹ Vgl. JAKOBY, W.: Projektmanagement für Ingenieure 2. Auflage. S. 64

⁶⁰ Vgl. GERRIG, R. J.; ZIMBARDO, P. G.: Psychologie; 18., aktualisierte Auflage. S. 302

⁶¹ Vgl. JAKOBY, W.: Projektmanagement für Ingenieure 2. Auflage. S. 64

⁶² Vgl. http://www.duden.de/rechtschreibung/Trial_and_Error_Methode. Datum des Zugriffs: 19.05.2014

⁶³ Vgl. JAKOBY, W.: Projektmanagement für Ingenieure 2. Auflage. S. 64

⁶⁴ ebd.

⁶⁵ Vgl. GERRIG, R. J.; ZIMBARDO, P. G.: Psychologie; 18., aktualisierte Auflage. S. 311f

Tabelle 2.1 Demonstrative Argumentenbilanz zur Philosophieentscheidung „Outsourcing“⁶⁶

Kriterien für Outsourcing	Kriterien- gruppe STRATEGIE	Kriterien wider Outsourcing
Vorteile überschaubarer, schlanker, flexibler Organisationen		Unterschiedliche Unternehmenskulturen
Kooperationen in strategischen Allianzen statt vertikaler Hierarchien		Störung zusammengehörender Prozesse
Konzentration auf das Kerngeschäft		Risiken aus der Zusammenarbeit
Verbesserte Führbarkeit des Bereiches		Vertraulichkeit von Geschäftsprozessen und -daten
Standardisierung der eingesetzten Systeme		Verlust von IT Know-how
Governance und Compliance-Nachweise durch den Outsourcing-Leistungserbringer		Entstehen irreversibler Abhängigkeiten

Diese qualitativen Beurteilungskriterien, wie sie Tabelle 2.1 zeigt, treten jedoch in keiner allgemeinen, absolut messbaren Einheit auf, sodass sich daraus das Problem entwickelt, dass sie schwer oder nicht miteinander zu vergleichen sind.⁶⁷ Es kann daher nur die Möglichkeit des paarweisen Vergleichens der einzelnen Argumente stattfinden, wobei daraus Relativunterschiede subjektiv herausgefiltert und dadurch in eine Rangordnung gebracht werden. Um das Ergebnis weiter zu präzisieren, könnte man den aufgelisteten Varianten der Bilanz, bestimmte Punkte durch eine Gewichtung nach ihrer Bedeutsamkeit bewerten, was bereits den Übergang zur quantitativen Entscheidungsfindung darstellt.⁶⁸

2.4 Quantitativ analytische Methoden zur Entscheidungsfindung

Durch die Bildung von Vergleichskriterien kann die Beurteilung objektiviert und die Durchgängigkeit des Entscheidungsprozesses gewährleistet werden.⁶⁹ Als gängige Methode kann dazu die Methode der Nutzwertanalyse angeführt werden, bei der Kriterien, die aus einem Ideenfindungsprozess heraus entstanden sind, durch ein festgelegtes Zielsystem

⁶⁶ Weiterentwickelt aus: <http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/wi-enzyklopaedie/lexikon/uebergreifendes/Globalisierung/Outsourcing>. Datum des Zugriffs: 14.02.2015

⁶⁷ Vgl. MÜLLER-HERBERS, S.: Methoden zur Beurteilung von Varianten; Arbeitspapier. S. 8

⁶⁸ Vgl. GERRIG, R. J.; ZIMBARDO, P. G.: Psychologie; 18., aktualisierte Auflage. S. 312

⁶⁹ Vgl. JAKOBY, W.: Projektmanagement für Ingenieure 2. Auflage. S. 64

zunächst bewertet, dann nach Priorität gewichtet, um daraus vergleichbare Nutzenwerte jeder Alternative zu errechnen.⁷⁰ Dazu zeigt Bild 2.5 einen Ausschnitt einer Entscheidungsmatrix, die dem Wesen einer Nutzwertanalyse nachempfunden ist, in der die Kriterien bewertet, gewichtet und schließlich miteinander verglichen werden können.

Entscheidungsmatrix														
Kriterien			Gewichtung		Verfahren/System									
			4	5	6		7		8		9		10	
1	2	3	Gesamt	Einzel	Verfahren A		Verfahren B		Verfahren C					
			[%]	[%]	Punkte	Gesamt	Punkte	Gesamt	Punkte	Gesamt				
Ausscheidungskriterien	Ästhetische Kriterien	Kriterium 1	15	50	1	0,075	1	0,075	0	0				
		Kriterium 2		30	1	0,045	1	0,045	1	0,045				
		Kriterium 3		10	2	0,03	2	0,03	2	0,03				
		Kriterium 4		5	2	0,015	2	0,015	2	0,015				
		Kriterium i		5	2	0,015	2	0,015	2	0,015				
	Punkteanzahl - Teilkriterium			100			0,18		0,18			0,105		
	Bauwerks-spezifische Kriterien	Kriterium 1	15	30	2	0,09	2	0,09	5	0,225				
		Kriterium 2		30	2	0,09	3	0,135	3	0,135				
		Kriterium 3		30	2	0,09	4	0,18	2	0,09				
		Kriterium 4		5	2	0,015	2	0,015	2	0,015				
		Kriterium i		5	2	0,015	2	0,015	2	0,015				
	Punkteanzahl - Teilkriterium			100			0,3		0,435			0,48		
	Sicherheits-technische Kriterien	Kriterium 1	15	30	2	0,09	2	0,09	2	0,09				
		Kriterium 2		30	2	0,09	2	0,09	2	0,09				
		Kriterium 3		30	2	0,09	2	0,09	3	0,135				
		Kriterium 4		5	2	0,015	2	0,015	4	0,03				
		Kriterium i		5	2	0,015	2	0,015	2	0,015				
	Punkteanzahl - Teilkriterium			100			0,3		0,3			0,36		
	Technische Kriterien	Kriterium 1	15	30	2	0,09	2	0,09	2	0,09				
		Kriterium 2		30	2	0,09	3	0,135	2	0,09				
		Kriterium 3		30	2	0,09	5	0,225	2	0,09				
		Kriterium 4		5	2	0,015	2	0,015	2	0,015				
		Kriterium i		5	2	0,015	2	0,015	2	0,015				
	Punkteanzahl - Teilkriterium			100			0,3		0,48			0,3		
Umwelt- u. Umweltspezifische Kriterien	Kriterium 1	40	20	2	0,16	2	0,16	2	0,16					
	Kriterium 2		20	2	0,16	2	0,16	2	0,16					
	Kriterium 3		20	2	0,16	2	0,16	2	0,16					
	Kriterium 4		30	2	0,24	2	0,24	2	0,24					
	Kriterium i		10	2	0,08	2	0,08	2	0,08					
Punkteanzahl - Teilkriterium			100			0,8		0,8			0,8			
			100			1,88		2,20			2,05			

Ausscheidungsfaktor (multiplikativ: 1 alle Kriterien erfüllt, 0 zumindest ein Kriterium nicht erfüllt): 1 1 0

Punkteanzahl der Ausscheidungskriterien: 1,88 2,20 0,00

Bild 2.5 Entscheidungsmatrix zur Auswahl eines Systems oder Verfahrens⁷¹

Der Erfüllungsgrad eines Kriteriums kann durch eine Zielvariable, hier durch eine Punkteverteilung innerhalb einer vorgegebenen Bandbreite, bewertet werden.⁷² Darüber hinaus kann der Zielvariablen noch zusätzlich eine Nutzenfunktion zugeteilt werden, durch die die Einzelbewertung auf einen übergeordneten Nutzenmaßstab gehoben werden kann.⁷³ Da-

⁷⁰ Vgl. MÜLLER-HERBERS, S.: Methoden zur Beurteilung von Varianten; Arbeitspapier. S. 41f

⁷¹ HOFSTADLER, C.: Schararbeiten. S. 348

⁷² Vgl. JAKOBY, W.: Projektmanagement für Ingenieure 2. Auflage. S. 66

⁷³ ebd.

bei tritt aber das Problem der Scheingenaugigkeit auf, indem durch die unsicheren Eingabedaten der Punktbewertungen der einzelnen Kriterien das Entscheidungsproblem zu sehr verfeinert wird und dadurch ein vorgetäushtes Ergebnis resultieren kann.⁷⁴ Diesem kann insofern begegnet werden, als dass durch den Einbezug der Wahrscheinlichkeitsrechnung ein stochastisches Modell gebildet wird, um daraus mit Hilfe statistischer Methoden, eine quantitative Aussage über die Risiken und Chancen der jeweiligen Auswahl zu erhalten.⁷⁵

Bei diesen qualitativen Methoden müssen im Allgemeinen zunächst formale Theorien und Modelle entwickelt werden, auf dessen Grundlage messbare Größen, bzw. Werte implementiert werden, die über Rechenoperatoren miteinander in Beziehung gesetzt werden. Die Eingabedaten in das Modell können aus Befragungen, Erfahrungen oder aus allgemein anerkannten Quellen herrühren. Als Ergebnis kann eine quantitative Aussage über Risiko und Chance eines Betrachteten Ergebnisses gebildet werden.

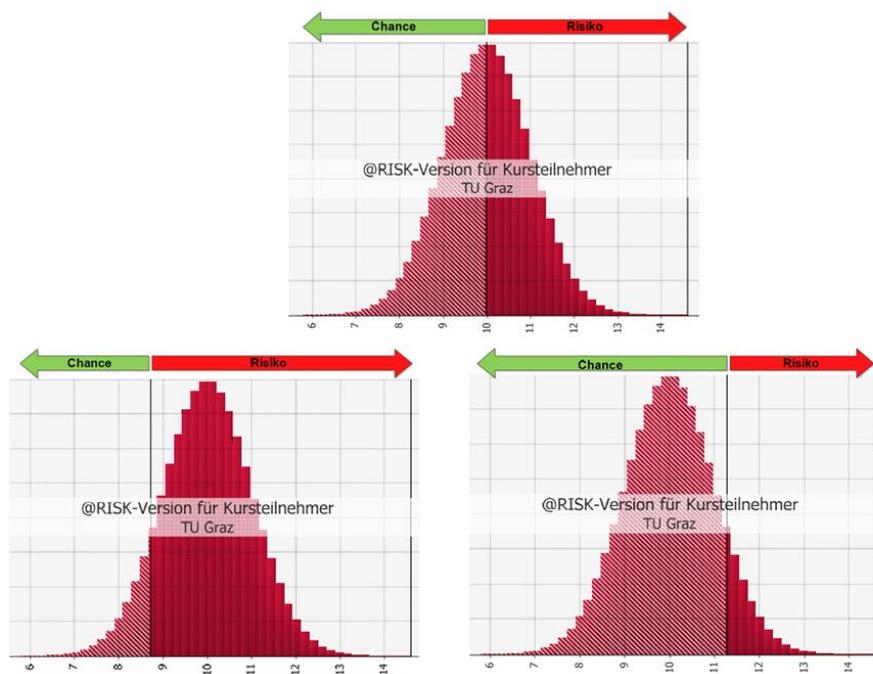


Bild 2.6 Schematische Darstellung von Chancen und Risiken ⁷⁶

⁷⁴ Vgl. MÜLLER-HERBERS, S.: Methoden zur Beurteilung von Varianten; Arbeitspapier. S. 50

⁷⁵ Siehe dazu WAGENDORFER, M.: Bauwirtschaftliche und Baubetriebliche Risiko-Chancen-Analyse eines differenzierten Schalungsvergleichs in Form einer Entscheidungsmatrix mit @Risk; Masterprojekt. S. 1ff

⁷⁶ WAGENDORFER, M.: Bauwirtschaftliche und Baubetriebliche Risiko-Chancen-Analyse eines differenzierten Schalungsvergleichs in Form einer Entscheidungsmatrix mit @Risk; Masterprojekt. S. 4; aus KUMMER, M. K.; HOFSTADLER, C.: Einsatz der Monte-Carlo-Simulation zur Berechnung von Baukosten. In: Bauaktuell, 4. Jahrgang, September Nr. 5/2013. S. 178-188

So stellt Bild 2.6 eine schematische Gegenüberstellung zur Beurteilung von Risiko und Chance bei der Auswahl eines betrachteten Parameters dar. Durch diese Entscheidungsvorbereitung ist der Entscheider nun in der Lage, Wahrscheinlichkeitsniveaus zu definieren, die er bereit ist einzugehen oder die er bei seiner Wahl vermeiden will. Es lässt sich nun eine quantitative Aussage über die Wahrscheinlichkeit einzelner Werte bilden. Generell kann gesagt werden, dass bei Optimierungsproblemen die Anwendung von stochastischen Methoden, wie bspw. der Monte-Carlo-Simulation ein probates Mittel zu einer fundierten Entscheidungsvorbereitung, darstellt.

Der Einsatz quantitativer Methoden steht auch in dieser Arbeit im Blickpunkt. Im Speziellen werden die entscheidungstheoretischen Fragestellungen unter Unsicherheit am Beispiel einer in der Einleitung erläuterten baubetrieblichen Problemstellung beleuchtet. Dazu folgt eine ausführliche Beschreibung in Kapitel 5.

Der Autor weist an dieser Stelle darauf hin, dass es neben den hier angeführten gebräuchlichsten Methoden noch eine Vielzahl weiterer gibt, die hier aus abgrenzenden Gründen nicht weiter diskutiert werden.

2.5 Mathematische Optimierungsverfahren

In Vorausschau der stetigen Fortschritte auf dem Sektor der Informatik und der Programmierung können Optimierungsprobleme durch mathematische Algorithmen näherungsweise gelöst werden. Optimierungsprobleme mit einer Vielzahl an Unbekannten, scheitern oft an der Komplexität der Problemstellung. So können bspw. die Abläufe an einem Flughafen nicht exakt gelöst bzw. optimiert werden, da das Verhalten der Einzelelemente untereinander nicht fassbar ist und damit das gesamte System zu komplex erscheint.

So stellt etwa das Travelling-Salesman-Problem⁷⁷ ein bekanntes Problem dar, die kürzeste Route zwischen einer Ansammlung an Punkten zu finden. Dieses Optimierungsproblem findet aber breite Anwendung vor allem in der Elektronikindustrie, etwa beim Bohrprozess von Leiterplatten.⁷⁸ Bei diesem Prozessablauf bewegt sich der Bohrkopf über die Platte, die über tausend Bohrlochstellen aufweist, dessen Weg es zu optimieren gilt, da dieser Ablauf auch genau getimt sein muss.⁷⁹ Man beachte dabei, dass mit der Anzahl der Bohrlöcher, die Anzahl der Möglichkeiten, wie die Punkte abgefahren werden könnten, nicht linear, sondern

⁷⁷ Die Fragestellung zu diesem Problem lautet: Finde den kürzesten Weg zwischen einer beliebigen Anzahl an Punkten (Städten), die jeweils nur einmal durchkreuzt (bereist) werden dürfen.

⁷⁸ Vgl. GRÖTSCHHEL, M.: Schnelle Rundreisen: Das Travelling Salesman-Problem. S. 96

⁷⁹ Vgl. GRÖTSCHHEL, M.: Schnelle Rundreisen: Das Travelling Salesman-Problem. S. 97

fakultätsgemäß ansteigen. D.h., dass es bei n -Punkten $n!$ Möglichkeiten der Weganordnung gibt. Betrachtet man das Punkteschema in Bild 2.7, so kann man 12 Stationen erkennen. Fragt man sich nun wie viele Möglichkeiten an Wegen es gibt, so stellt man fest, dass über 479 Millionen Eventualitäten der Anordnung auftreten können. Bei jedem weiteren Punkt, steigt die Anzahl der Möglichkeiten faktoriell an. Aus dieser Ansammlung an Alternativen gilt es nun noch jenen Weg herauszufiltern, der am kürzesten ist.

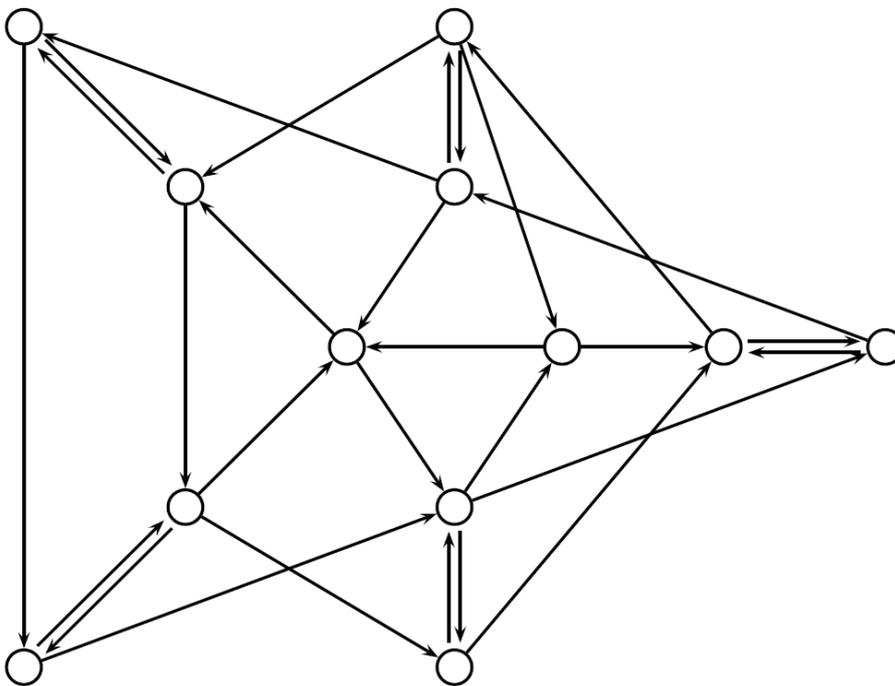


Bild 2.7 Schematische Darstellung des Travelling-Salesman-Problems⁸⁰

Mit dem Aufkommen von Computerprogrammen wurde klar, dass selbst Computer die Antworten auf klar definierte Probleme wie etwa Schach, das klassische Computerspiel Tetris oder das Travelling-Salesman-Problem, nicht geben können, da man weder die optimale Lösung noch eine Methode kennt, sie exakt zu lösen.⁸¹ Diese Aufgaben können nur auf endliche Stellen gelöst oder numerisch angenähert werden. In diesem Zusammenhang sei auch das Operations Research erwähnt, unter der man das praktische Problemlösen mit wissenschaftlichen Methoden versteht.⁸²

⁸⁰ GRÖTSCHEL, M.: Schnelle Rundreisen: Das Travelling Salesman-Problem. S. 95

⁸¹ Vgl. https://www.psychologie.uni-heidelberg.de/ae/allg/enzykl_denken/Enz_06_Heuristiken.pdf. Datum des Zugriffs: 05.04.2014

⁸² Vgl. SCHÜTZ, M.: Anwendung des Systems Engineering auf die Arbeitsvorbereitung von Bauprojekten; Masterarbeit. S. 8

Eine weitere Forschungsrichtung stellt die Entwicklung genetischer Lösungsalgorithmen, zur Suche eines Optimums dar, die sich der in der Natur vorherrschenden Wirkungsmechanismen, die wiederum auf die evolutionären Thesen von Darwin zurückzuführen sind, bedienen.⁸³ Die Überlegungen gehen dahin, dass unser gesamtes (Anm. u. a. wirtschaftliches, soziales, ...) Handeln in einer natürlichen Umgebung stattfindet die sich auszeichnet auf die beherrschenden Lebensbedingungen, wie wir anhand der erdgeschichtlichen Entwicklung nachvollziehen können, einstellen und immer wieder neu ausrichten kann.⁸⁴ Sie ist getrieben von einer ständigen Entwicklung, beeinflusst durch Selektion und Mutation.

Charles Robert Darwin (1809-1882) gilt als Begründer der Evolutionstheorie

Durch diese sogenannten Evolutionären Algorithmen (EA) wird nun versucht, die Evolution im Computer nachzubilden, indem die Lösung nicht durch eine analytische Rechenoperation sondern nach den Prinzipien der Evolution „herangezüchtet“ wird.⁸⁵ Angefangen von einer zufälligen Startpopulation wird eine „Partnerwahl“ bei der, Wertekombinationen generiert werden, vorgenommen wobei daraus wieder neue „Nachkommen“ entstehen, die durch eine Akzeptanzregel „selektiert“ werden.⁸⁶ Daraufhin erfolgt eine weitere Rekombination, die „mutieren“ kann um damit den Kreislauf wieder von Neuem zu beginnen. Dabei wird eine „Generation“ mit einer Iteration gleichgesetzt.

Demgegenüber stehen lernfähige Systeme, die aus dem Input entsprechender Daten lernen und sich als „Black-Box-System“ ständig weiterentwickeln. Demzufolge kann das Softwaretool der Neuronalen Netze von Palisade, ein weiterer Bestandteil der Decision Tools Suite, das sich dieser Systematik bedient, genannt werden.

2.6 Expertenbefragungen, Erfahrung, Fachwissen

Das Kapitel wird mit dem letzten Punkt, der Expertenbefragung bzw. mit der Informationsspeicherung von Wissen, abgeschlossen. Sie stellt im Bauwesen auch eine wichtige Art der Informationsbeschaffung und in weiterer Folge zur Urteilsbildung dar. Das Zurückgreifen auf bestehende, personenbezogene Informationen kann als eine Art der Rationalisierung gesehen werden, indem Erfahrungen nicht wie bisher verloren gehen, sondern für nachfolgende Generationen zur Verfügung stehen. Es können somit folgende Fragen gestellt werden:

⁸³ Vgl. <http://www.iai.kit.edu/www-extern/index.php?id=237>. Datum des Zugriffs: 15.02.2015

⁸⁴ ebd.

⁸⁵ ebd.

⁸⁶ ebd.

- Gab es in der Vergangenheit bereits ähnliche Bauaufgaben bzw. Erkenntnisse von Mitarbeitern, die an einem vergleichbaren Projekt Erfahrungen sammeln, auf die man zurückgreifen kann?
- Kann man aus den Erfahrungen von Mitarbeitern bedeutungsvolle Schlüsse ziehen?
- Welche Spezialisten können zur Entscheidungsvorbereitung herangezogen bzw. mit eingebunden werden?
- Welche Systeme haben sich in der Vergangenheit bewährt und sind die Arbeitskräfte damit schon vertraut?

In diesem Zusammenhang kann die Bildung von Wissensdatenbanken in Unternehmungen als eine Art der Entscheidungshilfe darstellen, indem man aus einem Pool an spezifischen Projektinformationen auswählt und daraus Vergleiche für gegenwärtige Aufgaben ziehen kann.

Mit diesen Ausführungen zur Entwicklung von Problemlösungsstrategien und der damit verbundenen Entscheidungsvorbereitung, erfolgt die Überleitung zur Risiko- und Chancendefinition als Ergebnisbewertung.

3 Deutungen von Unsicherheiten

Risikobewusstes treffen von Entscheidungen sollte nicht nur in der Bauwirtschaft, sondern auch in anderen Bereichen – man suche sich nur einige Beispiele für risikoreiches Handeln in den Sektoren von Versicherungsgesellschaften, Ölfördergesellschaften und Banken heraus – das Ziel einer jeden Unternehmung sein, um langfristig kostendeckende Strukturen zu erzeugen, um das eigene Standing zu untermauern, als auch eine nachhaltige Grundlage für spätere Generationen sicherzustellen. Im allgemeinen Sprachgebrauch wird bei Unsicherheit die Verwendung von Risiko wie etwa ein riskanter Fahrstil, ein riskanter Ballwechsel etc. eher mit einem negativen Ausgang in Verbindung gebracht, als mit der Chance einer positiven Auswirkung, so wie auch eine Expertenbefragung, die durch das Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft an der TU Graz durchgeführt wurde, zeigte.⁸⁷

Aufgrund der vielfältigen Auslegungen, Definitionen und Verwendungen des Begriffes, wird vorab zum besseren Verständnis, sowie zur generellen und in dieser Arbeit gültigen Bezeichnung, das „Risiko“ und die entgegengesetzt auftretende „Chance“ wie folgt in Bild 3.1 definiert.

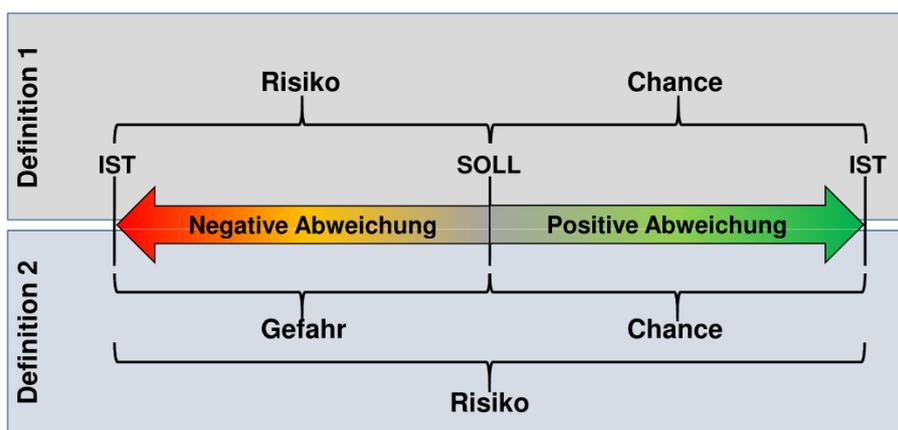


Bild 3.1 Definition des Risikobegriffs⁸⁸

Nach Bild 3.1 und der darin enthaltenen Definition 2 wird das Risiko als Gefahr und auch als Chance gleichermaßen verstanden, was tendenziell auch nachfolgend aus den Normen zu entnehmen ist. Umgekehrt dazu zeigt die Definition 1, dass das Risiko selbst nur als negative und im Gegensatz die Chance als positive Zielabweichung verstanden werden

⁸⁷ Vgl. HOFSTADLER, C.; KUMMER, M. K.: Systematischer Umgang mit Produktivitätsverlusten in der Auftragskalkulation. In: Tagungsband 2014; Risiken im Bauvertrag. S. 55

⁸⁸ HOFSTADLER, C.; KUMMER, M. K.: Systematischer Umgang mit Produktivitätsverlusten in der Auftragskalkulation. In: Tagungsband 2014; Risiken im Bauvertrag. S. 56

kann. Für diese Arbeit gilt auch die letztgenannte Definition 1, durch die das Risiko und die Chance auf gleicher Ebene anzusehen sind.

Nachfolgend werden die Definitionen aus den einschlägigen Normen angeführt.

3.1 Bezeichnungen negativer Erwartungshaltungen

Zum besseren Verständnis und um synonymhaften Verwechslungen vorzubeugen wird an dieser Stelle auf die Begrifflichkeiten Gefahr, Wagnis und Risiko eingegangen.

3.1.1 Wagnis

Das Wagnis wird in der ÖNORM B 2061 1999 Preisermittlung von Bauleistungen als „Gefahr eines Verlustes oder einer Fehlentscheidung“ beschrieben.⁸⁹ Damit besitzt das Wagnis einen negativen Charakter, der eine negative Zielabweichung beinhaltet.

Unter dem Wagnis wird laut dieser Norm bspw. das Kalkulationswagnis, das Ausführungswagnis und das Gewährleistungswagnis genannt. Unwägbarkeiten, die über diese üblichen Wagnisse hinausgehen bedürfen einer gesonderten Versicherung.⁹⁰ Unter einer Versicherung kann hier die Weitergabe des bewusst genannten Risikos an eine externe Stelle oder an einen Protagonisten mit einer damit verbundenen zu bürgenden Risikoprämie verstanden werden. Besteht nun die Möglichkeit, dass während der Ausführung eines Bauprojektes, Hindernisse auftreten die den Bauablauf stören, so besteht des Weiteren die Möglichkeit, diese, soweit sie kalkulierbar sind, bewusst anzunehmen, oder sie auf andere Beteiligte abzuwälzen.

3.1.2 Gefahr und Risiko

In der ÖNORM B 1801-Teil1 2009 Bauprojekt und Objektmanagement wird der Risikobegriff wie folgt definiert:

„Unwägbarkeiten und Unsicherheiten bei Planungen, Ermittlungen und Prognosen.“⁹¹

Dies impliziert wiederum den Gedanken, dass in dieser Norm das Risiko als Gefahr und auch als Chance zugleich gesehen werden kann. So wird

⁸⁹ ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT: Preisermittlung von Bauleistungen ÖNORM B 2061. S. 7

⁹⁰ Vgl. ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT: Preisermittlung von Bauleistungen ÖNORM B 2061. S. 11

⁹¹ ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT: Bauprojekt- und Objektmanagement ÖNORM B 1801-1 2009. S. 4

auch in der internationalen Norm ISO 31000 „Risikomanagement“ von einem Risiko gesprochen, das Gefahren und Chancen gleichermaßen beinhaltet.⁹²

Eine weitere Definition von Risiko kann auch wie folgt lauten:

„Das Konzept des Risikos hat seinen Ursprung in unserer Unfähigkeit, in die Zukunft sehen zu können, und weist auf einen gewissen Grad der Unbestimmtheit hin, der unsere Aufmerksamkeit erfordert.“⁹³

Zusammengefasst kann festgemacht werden, dass das Verständnis von Risiko breit gefächert ist und es dazu auch keine eindeutige Erklärung gibt. Deshalb sollte der Begriff bei jeder neuen Aufgabe unter den Parteien speziell präzisiert und definiert werden.

In diesem Zusammenhang kann auch versucht werden, das Risiko einer Entscheidung zu Berechnen. Alber und Werkl führen dazu an, dass das Risiko als Erwartungswert, siehe dazu Gleichung 5.2, eines Produktes aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Auswirkung angegeben werden kann, weisen aber auch darauf hin, dass die Verwendung solch einer trivialen Rechenoperation keine reelle Aussage über das Risiko zulässt.^{94 95} Dabei sei erwähnt, dass die in dieser Arbeit im Fokus stehende Entscheidungsbaumtheorie nach diesem Rechenmechanismus ausgerichtet ist, dazu folgt Genaueres in den weiteren Kapiteln.

3.2 Bezeichnungen positiver Erwartungshaltungen

Neben dem Risiko als negative Erwartungshaltung kann auch zur Vervollständigung, die Chance als günstige Gelegenheit mit der Aussicht auf Erfolg bzw. auch als ein Glücksfall bezeichnet werden.⁹⁶ Demnach entstammt die Wortherkunft aus dem französischen „chance“ (altfranzösisch: cheance) was so viel wie ein glücklicher Wurf beim Würfelspiel bedeutet.⁹⁷ Aus diesem Ursprung lässt sich auch die Bezeichnung eines Glücksfalls, als positiver Effekt und als Pendant dazu das Pech, als negative Auswirkung ableiten.

Im Folgenden kann eine grundlegende Strukturierung, von Erwartungshaltungen unter Unsicherheit, getroffen werden.

⁹² Vgl. LULEI, F.: Fehler und Risiken einmal anders betrachtet. In: Tagungsband 2014; Risiken im Bauvertrag. S. 134

⁹³ PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 222

⁹⁴ Vgl. ALBER, A.: Risikomanagement in Bauunternehmen; Eine Analyse von Theorie und Praxis; Masterarbeit. S. 13

⁹⁵ Vgl. WERKL, M.: Risiko- und Nutzenverhalten in der Bauwirtschaft; Eine Entscheidungstheoretische Betrachtung im institutionenökonomischen Kontext; Dissertation. S. 73

⁹⁶ Vgl. <http://www.duden.de/rechtschreibung/Chance>. Datum des Zugriffs: 15.02.2015

⁹⁷ ebd.

3.3 Erwartungsstruktur unsicherer Ereignisse

Das Bauen im allgemeinen Sinn wird auch oftmals als das „Managen von Unsicherheiten“ bezeichnet. Als Gegenstück zur Unsicherheit kann die Sicherheit genannt werden, bei der dem Entscheider bekannt ist, welcher Zustand eintreten und welches Ergebnis sich daraus ergibt.⁹⁸ Diese Situation ist aber erst nach Abschluss der Bauarbeiten gegeben und ist für die Kalkulation ex ante noch nicht bekannt. Wegen des Prognosecharakters des Kostenanschlages, ist man gezwungen, sich mit der Unsicherheit und der damit verbundenen Auswirkungen des Risikos und der Chance auseinanderzusetzen. So stellt Bild 3.2 die Struktur der Unsicherheiten dar. Beim Beurteilen einer Chance oder eines Risikos müssen somit die Auswirkungen, als auch die subjektive oder die objektive Wahrscheinlichkeit bekannt sein.⁹⁹

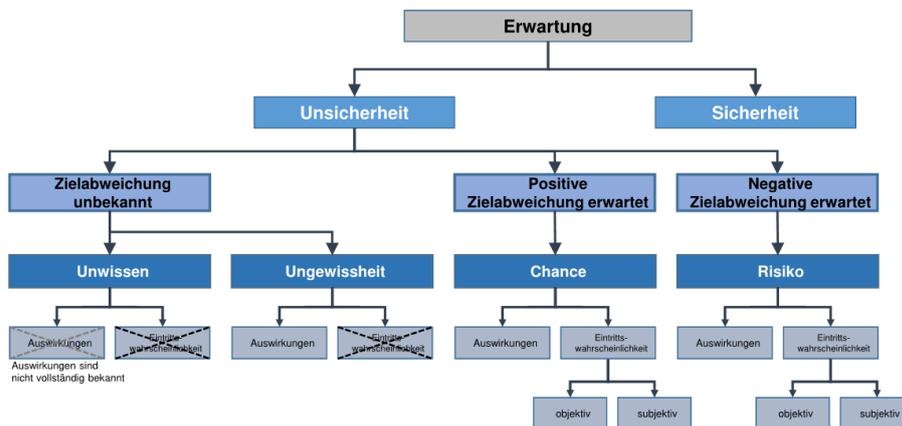


Bild 3.2 Mögliche Erwartungsstruktur – Messbarkeit von Unsicherheit¹⁰⁰

Anders verhält es sich bei Unwissen, wo keines der beiden Elemente vollständig bestimmt werden kann, oder aber bei der Ungewissheit, wo lediglich die Auswirkung bekannt aber die Eintrittswahrscheinlichkeit nicht gegeben ist.¹⁰¹ Auf die Bewertung von Ereignissen wird in Kapitel 5 eingegangen, wo auch eine weitere Einteilung der Wahrscheinlichkeiten angeführt wird. Genau durch diesen unsicheren Ausgang ist man angehalten, sich über die möglichen Auswirkungen einer Entscheidung bewusst zu sein und diese in den Entscheidungsfindungsprozess mit einfließen zu lassen.

⁹⁸ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 33

⁹⁹ Vgl. HOFSTADLER, C.; KUMMER, M. K.: Systematischer Umgang mit Produktivitätsverlusten in der Auftragskalkulation. In: Tagungsband 2014; Risiken im Bauvertrag. S. 56

¹⁰⁰ HOFSTADLER, C.; KUMMER, M. K.: Systematischer Umgang mit Produktivitätsverlusten in der Auftragskalkulation. In: Tagungsband 2014; Risiken im Bauvertrag. S. 56

¹⁰¹ Vgl. HOFSTADLER, C.; KUMMER, M. K.: Systematischer Umgang mit Produktivitätsverlusten in der Auftragskalkulation. In: Tagungsband 2014; Risiken im Bauvertrag. S. 56

Als Entscheidungsperson hat man die verantwortungsvolle Aufgabe, Handlungen unter mangelndem Informationsstand, die zu unsicheren Umständen führen, zu treffen. Dabei stellt sich aber auch die Frage, welche Ursachen zu diesem Mangel führen, so führt Lulei drei Kategorien als Risikoquellen an.

3.4 Risikoquellen

Zum einen nennt Lulei die Ungewissheit, die aus einer Informationsknappheit heraus entsteht, unvorhersehbare Gegebenheiten wie die Beschaffenheit des Baugrundes, die Wetterbedingungen, als auch Preisschwankungen am Markt herbei zu ahnen, obwohl sie langfristig statistische Regelmäßigkeiten entwickeln, aber für den Einzelfall des Bauprojekts keine Aussagekraft besitzen, wie es bspw. beim Roulette der Fall ist.¹⁰²

Als zweiten wesentlichen Baustein spricht er die Komplexität an, die im Allgemeinen ein nicht vorhersehbares Systemverhalten beschreibt, selbst wenn alle nötigen Parameter bekannt sind, da die Interaktionen der Systemelemente unbekannt sind, als Beispiel kann ein Schachspiel angeführt werden.¹⁰³

Zuletzt sieht er den Opportunismus als Resultat dessen, dass durch die vielen individuellen Interessen der am Bau Beteiligten eine ständige Kontroverse betreffend der Informationsweitergabe und der bewussten Zurückhaltung strategischer Ausrichtungen besteht und kann mit einem Pokerspiel verglichen werden.¹⁰⁴

3.5 Allgemeine Berechnungsansätze/Berechnungsmethoden

Die uralte Spielekultur zeigt, dass Menschen dem Reiz des Ungewissen erliegen und das Risiko des Verlustes, wegen der Chance des Gewinns, bewusst oder auch meist unbewusst bereit sind einzugehen.¹⁰⁵

Im Baugewerbe zeigt sich der Umgang mit der Unsicherheit in der Form, dass versucht wird, Risiko vertraglich auf andere zu übertragen, es zu vermeiden (kein Angebot zu legen), es zu akzeptieren und entsprechende Maßnahmen zu setzen oder es durch Risikoprämien zu versichern.¹⁰⁶

¹⁰² Vgl. LULEI, F.: Fehler und Risiken einmal anders betrachtet. In: Tagungsband 2014; Risiken im Bauvertrag. S. 134f

¹⁰³ Vgl. LULEI, F.: Fehler und Risiken einmal anders betrachtet. In: Tagungsband 2014; Risiken im Bauvertrag. S. 135

¹⁰⁴ Vgl. LULEI, F.: Fehler und Risiken einmal anders betrachtet. In: Tagungsband 2014; Risiken im Bauvertrag. S. 136

¹⁰⁵ Vgl. LULEI, F.: Fehler und Risiken einmal anders betrachtet. In: Tagungsband 2014; Risiken im Bauvertrag. S. 134

¹⁰⁶ Vgl. WERKL, M.: Risiko- und Nutzenverhalten in der Bauwirtschaft; Eine Entscheidungstheoretische Betrachtung im institutionenökonomischen Kontext; Dissertation. S. 104

Aus dieser Ungewissheit heraus ergeben sich Berechnungsansätze, sowie Rechenmodelle (siehe Kapitel 5), durch die die Erwartungsstruktur bei Unsicherheit in eine Risiko-Chancen-Betrachtung umgemünzt werden kann. Dazu müssen jedoch Auswirkung und Eintrittswahrscheinlichkeit, seien sie subjektiv oder objektiv, vorhanden sein. Im Berechnungsmodell können nun Werte als Variablen definiert werden, die unterschiedliche Eigenschaften, so wie in Bild 3.3 dargestellt, aufweisen. Unveränderliche Wertetypen, die sich im Modellzeitrahmen nicht mehr ändern, bzw. bereits bekannt sind, werden vorbestimmte, deterministische Variablen, mit denen die Anwendung PrecisionTree arbeitet, genannt.¹⁰⁷ Hingegen bilden unbestimmte, zufällig veränderliche und durch Verteilungsfunktionen nach deren Häufigkeit des Auftretens definierte Variablen, die Grundlage für eine Simulation in @Risk.¹⁰⁸

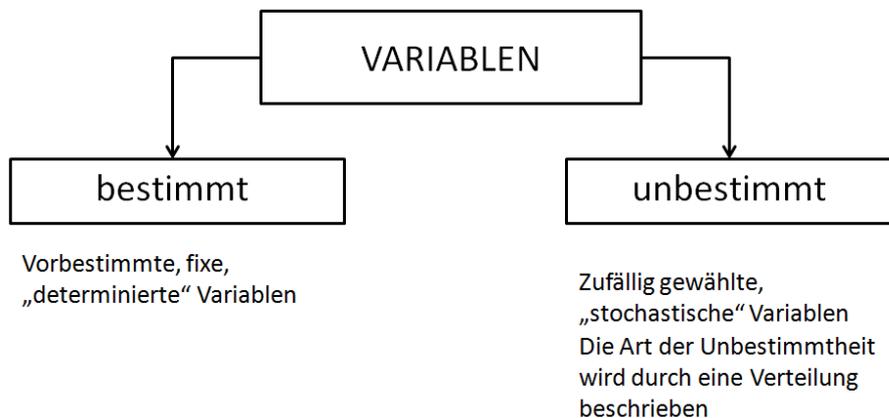


Bild 3.3 Einteilung von Variablen

Werden unbestimmte Variablen eingesetzt, so muss die Art der Unbestimmtheit durch eine Wahrscheinlichkeitsverteilung (in dieser Arbeit werden Dreiecksverteilungen zugewiesen) angenommen werden, durch die der Wertebereich definiert wird.¹⁰⁹ In der Praxis erweist sich diese realitätsgetreue Abbildung als schwierig, da die wertmäßige Verteilung der Umweltzustände unterschiedliche Formen annehmen kann.

Im Bauwesen, sei es im konstruktiven Bereich mit Lasten als Einwirkungen oder in der Wirtschaft mit dem Risikomanagement, ist man mit einer Vielzahl an Unsicherheiten konfrontiert, durch die die Einführung von stochastischen und wahrscheinlichkeitstheoretischen Methoden erforderlich werden. Zur Bestimmung von bspw. Kosten, Zeit, Aufwands- und

¹⁰⁷ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch für @Risk. S. 31

¹⁰⁸ ebd.

¹⁰⁹ ebd.

Leistungswerten, kann somit nachfolgend die deterministische von der probabilistischen Berechnungsmethode unterschieden werden.

3.5.1 Determinismus

Unter Determinismus wird im Allgemeinen die Lehre, bzw. die Auffassung verstanden, nach der alle Handlungen oder Geschehnisse vorbestimmt seien.¹¹⁰ Dies impliziert den Gedanken, dass eine exakte Berechnung zukünftiger Ereignisse möglich sei, was aber aufgrund der ständigen und zugleich nicht vorhersehbaren Einflüsse auf der Baustelle als eine nicht adäquate Problembetrachtung im Baugewerbe darstellt. Gleichwohl deswegen, weil die Kostenkalkulation ex ante einen Prognosecharakter aufweist und die wirklichen Kosten erst ex post gefasst werden können. Die Informationen aus deterministischen Berechnungsmethoden entstammen zudem häufig aus empirischen Gesichtspunkten.

In der Praxis werden häufig deterministische Methoden zur Berechnung von Baukosten, oder zur Berechnung der Bauzeit angegeben, obwohl durch sie keine Aussage über die Streuung dieser Zahlen getroffen werden kann und damit auch keine Risiken bzw. Chancen quantifiziert werden können.¹¹¹ Mit der Wahrscheinlichkeitsaussage erweitert man die derzeitige deterministische Darstellung von Vergleichen unter den Prämissen der Kosten und der Bauzeit um eine weitere Dimension.

3.5.2 Probabilismus/Stochastik

Durch eine probabilistische Betrachtungsweise kann der deterministischen, eine weitere Facette als Aussagekraft beigefügt werden, um dadurch die Vorhersage in Kombination mit einer zugehörigen Eintrittswahrscheinlichkeit zu stärken.¹¹² Die Stochastik kann wiederum als die Lehre von mathematischen Gesetzmäßigkeiten des Zufalls benannt werden und umfasst auch die Wahrscheinlichkeitstheorie.¹¹³

Mit Hilfe von Zufallsexperimenten lassen sich auch verschiedene mathematische Grundzahlen näherungsweise errechnen. So wird an dieser Stelle die zufallsbasierte Ermittlung der Zahl π kurz dargebracht. Man stelle sich ein Quadrat, das in vier orthogonale Sektoren geteilt wird und in das ein Kreis eingeschrieben wird, wie es Bild 3.4 zeigt, vor.¹¹⁴

¹¹⁰ Vgl. <http://www.duden.de/rechtschreibung/Determinismus>. Datum des Zugriffs: 17.02.2015

¹¹¹ Vgl. KUMMER, M. K.: Einsatz der Monte-Carlo Simulation zur Berechnung der Baukosten und Bauzeit; Masterarbeit. S. 3

¹¹² Vgl. KUMMER, M. K.: Einsatz der Monte-Carlo Simulation zur Berechnung der Baukosten und Bauzeit; Masterarbeit. S. 41

¹¹³ Vgl. <http://www.math.kit.edu/stoch/de>. Datum des Zugriffs: 17.02.2015

¹¹⁴ Vgl. HINTZ, N.: Pi und e: Zwei faszinierende Zahlen. S. 17

Die Flächen des Viertelkreissektors und des zugehörigen Quadrates lassen sich aus den Gleichungen 3.1 und 3.2 ermitteln.¹¹⁵

$$A_{\text{Viertelkreis}} = \frac{r^2 * \pi}{4} \quad (3.1)$$

$$A_{\text{Quadrat}} = r^2 \quad (3.2)$$

Lässt man nun zufällig „Regentropfen“ gleichmäßig auf die Teilfläche fallen, so kann man über das Verhältnis der Anzahl der Tropfen im Viertelkreis zu den Tropfen im gesamten Viertelquadrat, nach Gleichung 3.3, die Zahl PI errechnen.¹¹⁷

$$P = \frac{\frac{r^2 * \pi}{4}}{r^2} \rightarrow \pi = 4 * P \quad (3.3)$$

Über die Simulation in einem Computerprogramm, das das zufällige Auftreffen simuliert, kann die Wahrscheinlichkeit P errechnet werden.¹¹⁸ Mit bspw. 196 334 Punkten im Kreissektor und insgesamt 250 000 Punkten kann ein P von 0,785336 errechnet werden, was zu einer Näherungslösung von π zu 3,141344 führt.

Um nun aber Risiken und Chancen systematisch in den Entscheidungsprozess einfließen zu lassen, müssen Rechenmodelle gebildet werden. Dazu werden im nächsten Kapitel die Grundzüge der Modellierung dargestellt.

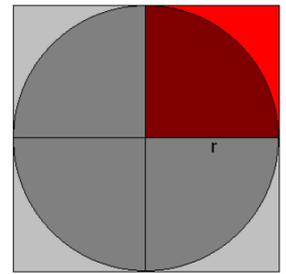


Bild 3.4 Versuchsanordnung zur Ermittlung der Kreiszahl π ¹¹⁶

¹¹⁵ Vgl. HINTZ, N.: Pi und e: Zwei faszinierende ZahlenS. 17

¹¹⁶ HINTZ, N.: Pi und e: Zwei faszinierende ZahlenS. 17

¹¹⁷ Vgl. HINTZ, N.: Pi und e: Zwei faszinierende ZahlenS. 18

¹¹⁸ ebd.

4 Grundzüge der Modellierung

Im Bauwesen sind Ingenieure und Konstrukteure stets auf die Bildung von realitätsnahen Modellen angewiesen, mit denen sie die Umwelt, in der das Bauwerk letztendlich errichtet wird, sowie die Bedingungen, denen es während der Nutzungsdauer ausgesetzt ist, so gut wie möglich nachzubilden versuchen. Es gilt dabei, die mit Unsicherheiten behafteten Einflussgrößen, in ein Modell zu packen, um damit die Realität wahrheitsgetreu abbilden zu können und deren Auswirkungen zu determinieren. So beeinflussen bspw. die Einwirkungen von Schnee, zusätzlichen Verkehrslasten, oder auch von Wind die Lastannahmen, zur Berechnung und Dimensionierung eines modellierten Einfeldträgers. Mit diesem vereinfachten Nachbau des Tragsystems und den zugehörigen Lastannahmen, werden Lastfälle generiert und Szenarien durchgespielt, um somit die Tragfähigkeit und Standfestigkeit von Bauwerken sicherzustellen. Auf Grundlage dieser Berechnungen und Simulationen sollen Ingenieure Entscheidungen unter den Rahmenbedingungen der Gewährleistung der Sicherheit für Personen, Umwelt und Güter vor natürlichen und menschengemachten Gefahren sowie der Wirtschaftlichkeit treffen.¹¹⁹

4.1 Abbildung der Realität

Die Schwierigkeit, all diese Phänomene durch ein physikalisches bzw. mathematisches Modell zu beschreiben, liegt darin, dass der Zustand der realen Welt von Unsicherheiten geprägt ist, wie es Bild 4.1 zeigt.



Bild 4.1 Modellierungsproblem der realen Welt¹²⁰

¹¹⁹ Vgl. KÖHLER, J.: Seminar "Risiko und Sicherheit im Bauwesen"; Skriptum. Vorlesungspräsentation 1. Einführung. S. 5ff

¹²⁰ KÖHLER, J.: Seminar "Risiko und Sicherheit im Bauwesen"; Skriptum. Vorlesungspräsentation 1. Einführung. S. 15ff

Die Gründe für diese Unsicherheiten liegen darin, dass die Informationen über die Einflussgrößen, in deren wertmäßigen Höhe und deren Eintrittswahrscheinlichkeit nur sehr vage bekannt sind, zukünftige Ereignisse dem Zufall unterliegen und die Modelle meist nur grobe Vereinfachungen der Wirklichkeit sind.¹²¹ Nichtsdestotrotz muss auf eine bestimmte Realitätstreue geachtet werden, da ansonsten aus den Berechnungen keine qualitativen Aussagen der Wirklichkeit ableitbar sind. Trotzdem erscheint eine präzise Beschreibung der Umwelt, durch nachfolgende Punkte als unzweckmäßig, da:

- die realitätsgetreue Abbildung, empirisches meist nicht vorhandenes Wissen voraussetzt,
- das Modell übersichtlich gestaltet und einfach gehalten werden soll und
- eine zu genaue Nachbildung zu unverhältnismäßig hohen Kosten führen kann.¹²²

Des Weiteren werden Modellierungssituationen in der Bauwirtschaft, sowie in anderen wissenschaftlichen Gebieten kurz dargebracht. Die Modellbildung ist in nahezu allen Wissenschaftsbereichen ein essentielles Mittel, um berechnungsfähige Nachbildungen der Wirklichkeit zu erstellen. Jedoch liegt das Hauptaugenmerk in dieser Arbeit auf die Modelle der Ingenieurwissenschaften.

4.2 Modellbildung im konstruktiven Ingenieurbau

Im konstruktiven Ingenieurbau werden einfache Tragwerke als Knoten und Stäbe modelliert und mit den erwarteten Lastkombinationen beaufschlagt, um die Querschnitte zu bemessen. Bei flächigen oder komplexeren Konstruktionen mit höheren statisch unbestimmten Freiheitsgraden, wie bspw. bei 3-D-Simulationen der Spannungsverteilung in Decken, kommen Computerprogramme zur Anwendung.

¹²¹ Vgl. KÖHLER, J.: Seminar "Risiko und Sicherheit im Bauwesen"; Skriptum. Vorlesungspräsentation 1. Einführung. S. 17ff

¹²² Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 53

Die Nachweisführung für die Trag- und Gebrauchstauglichkeit wird in den Verfahrensnormen der Eurocodes 1 bis 9 geregelt.¹²⁴

Mit dieser Einführung, in Österreich ab 2003, wurde das bis dahin verwendete deterministische Sicherheitskonzept (globaler Sicherheitsbeiwert γ_0) von dem semi-probabilistischem Sicherheitskonzept (gesplittete Sicherheitsbeiwerte auf Material und Lastseite) abgelöst.¹²⁵ Diese neue Konzeption besagt, dass nach Gleichung 4.1, der charakteristische Wert auf der Lasteinwirkungsseite, mit einem Sicherheitsfaktor $\gamma_F > 1,0$ multipliziert und dem charakteristischen Widerstand der Materialseite, der mit einem weiteren Sicherheitsfaktor $\gamma_M > 1,0$ vermindert wird, gegenübergestellt werden soll.¹²⁶

$$(\gamma_F * \text{Lasteinwirkung}) [S_d] \leq \left(\frac{\text{Widerstand}}{\gamma_M} \right) [R_d] \quad (4.1)$$

Die Sicherheitsfaktoren berücksichtigen die Streuungen der Beanspruchungen auf der Last- sowie die Streuungen der Materialfestigkeit und der Beanspruchbarkeit auf der Widerstandsseite.¹²⁷

Die Eurocodes, die als europäische Normen (EN), in Österreich als ÖNORM EN, veröffentlicht werden, müssen durch entsprechende gesetzliche Regelungen, in nationales Recht umgewandelt werden.¹²³

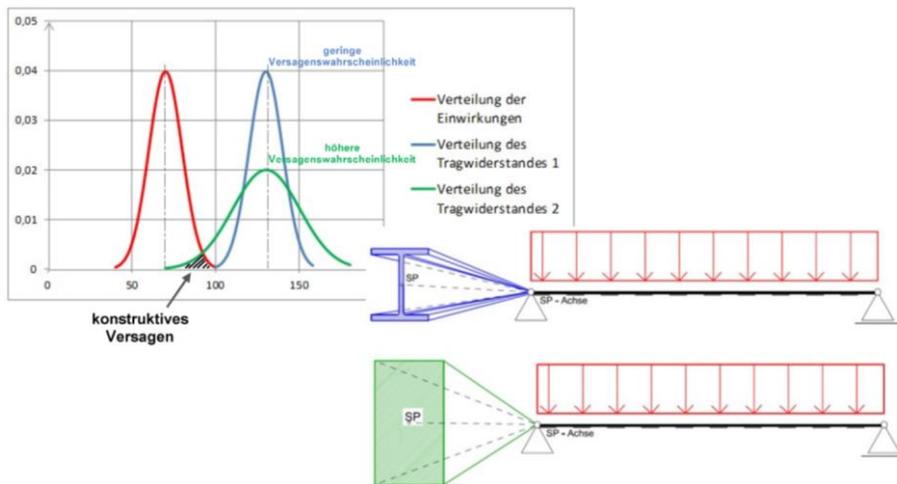


Bild 4.2 Wahrscheinlichkeitstheoretischer Zusammenhang zwischen Einwirkung und Widerstand nach dem semi-probabilistischem Sicherheitskonzept

Mit diesem semi-probabilistischem Sicherheitskonzept können Wahrscheinlichkeitsaussagen, wie in Bild 4.2 schematisch dargestellt, bezüglich des Eintretens und der Streuung einer Einflussgröße auf der Last-

¹²³ Vgl. <https://www.austrian-standards.at/infopedia-themencenter/infopedia-artikel/eurocodes/>. Datum des Zugriffs: 25.04.2014

¹²⁴ Vgl. UNTERWEGER, H.; GREINER, R.: Baustatik 2, Bauwerkssicherheit; Skriptum. S. 4

¹²⁵ Vgl. <https://www.austrian-standards.at/infopedia-themencenter/infopedia-artikel/eurocodes/>. Datum des Zugriffs: 25.04.2014

¹²⁶ Vgl. UNTERWEGER, H.; GREINER, R.: Baustatik 2, Bauwerkssicherheit; Skriptum. S. 6

¹²⁷ ebd.

bzw. eines Materialkennwertes auf der Widerstandsseite getroffen werden.

Aus Bild 4.2 geht hervor, dass Holzfabrikate, symbolisiert durch den in grün gehaltenen Rechteckquerschnitt, einer größeren Streuung, als bspw. Stahlerzeugnisse, dargestellt als I-Träger in blau, unterworfen sind. Diese Streuung rührt aus den anisotropen und inhomogenen Eigenschaften des Werkstoffes und stellt u.a. auch einen der Gründe, warum Holzkonstruktionen massiger dimensioniert werden müssen, dar. Daraus kann sich ein Überschneidungsbereich ergeben, dessen Schnittmenge die Versagenswahrscheinlichkeit der Konstruktion beschreibt. Der Grundsatz dieser Theorie lautet also, einen ausreichenden Sicherheitsabstand zwischen Einwirkung und Widerstand zu gewährleisten. Tritt ein Überschneidungsbereich auf, so ist man angehalten, diesen zu bestimmen, bzw. zu berechnen. Dies kann mit der Bildung der Sicherheitsmarge geschehen, wie sie im Masterprojekt¹²⁸ sowie nachfolgend noch einmal kurz dargebracht wird.

Mit dem Mittelwert beider Verteilungen

$$\mu_M = \mu_R - \mu_S \quad (4.2)$$

und der beiden Standardabweichungen

$$\sigma_M = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2} \quad (4.3)$$

kann mit Hilfe von Microsoft Excel die Versagenswahrscheinlichkeit durch die Formel: $\text{NORMVERT}(0; \mu_M; \sigma_M; 1)$, die nur für Normalverteilungen gilt, berechnet werden.¹²⁹ Mit den Ergebnissen aus den Gleichungen 4.2 und 4.3 kann zusätzlich der Sicherheitsindex β aus

$$\beta = \frac{\mu_M}{\sigma_M} \quad (4.4)$$

gebildet werden.¹³⁰

Im Allgemeinen kann aus der Differenz des Widerstands [R_d = Resistance] und der Einwirkung [S_d = Stress], unter der Voraussetzung, dass beide normalverteilt sind, die Sicherheitsmarge [M = Marge], wie aus Gleichung 4.5 errechnet und in Bild 4.3 dargestellt, gebildet werden.

131

$$M = R_d - S_d \quad (4.5)$$

Das Bild 4.3 zeigt, in der oberen Hälfte eine geringere Versagenswahrscheinlichkeit, da sich die Verteilungen nur in einem kleinen Bereich

¹²⁸ Verweis zum Masterprojekt WAGENDORFER, M.: Bauwirtschaftliche und Baubetriebliche Risiko-Chancen-Analyse eines differenzierten Schalungsvergleichs in Form einer Entscheidungsmatrix mit @Risk; Masterprojekt. S. 32ff

¹²⁹ Vgl. KUMMER, M. K.: Unveröffentlichtes Arbeitspapier. S. 2f

¹³⁰ Vgl. KUMMER, M. K.: Unveröffentlichtes Arbeitspapier. S. 2

¹³¹ KUMMER, M. K.: Unveröffentlichtes Arbeitspapier. S. 2ff

überschneiden. Anders verhält es sich bei der unteren Darstellung, bei der sich die Verteilungen nahezu überdecken und somit die Sicherheitsmarge annähernd bis zur Hälfte im negativen Bereich zu liegen kommt. Das bedeutet, dass die Versagenswahrscheinlichkeit gegenüber der Verteilung B höher wird und sich bei 100 %iger Überdeckung der beiden Verteilungen eine 50-50-Aufteilung der Sicherheitsmarge einstellt.

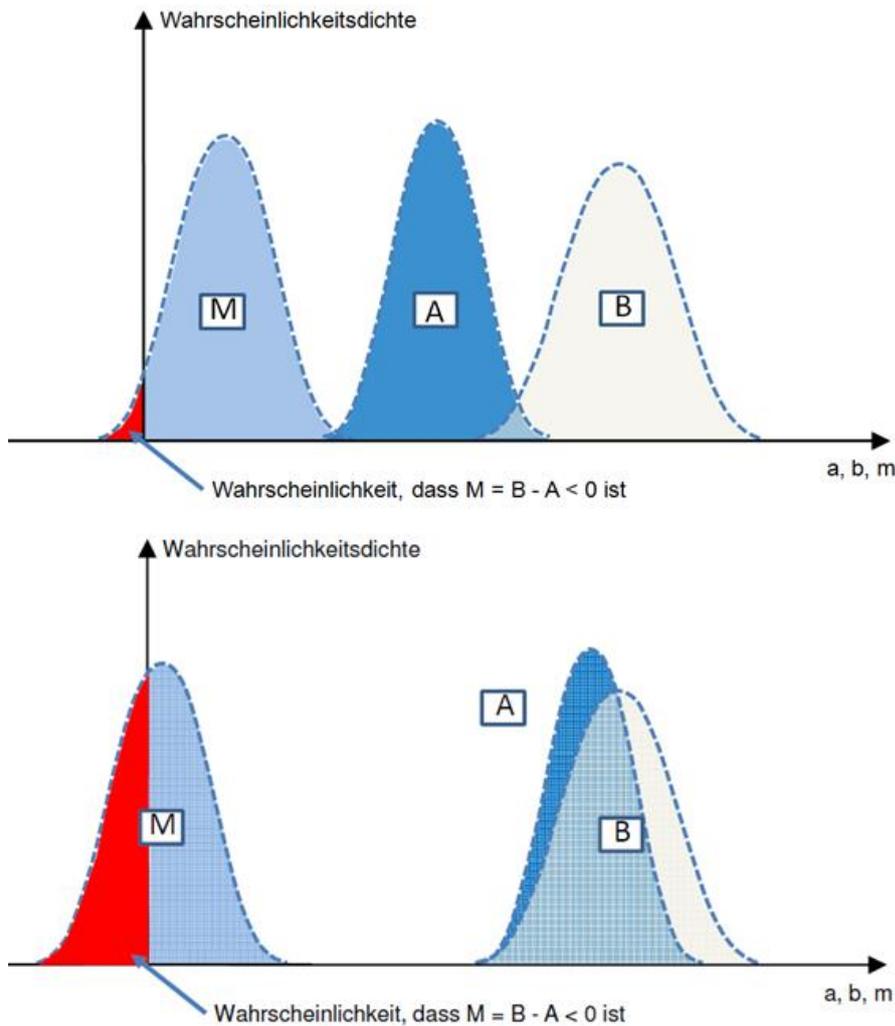


Bild 4.3 Schematische Darstellung der Sicherheitsmarge M ¹³²

Eine weitere Möglichkeit, diese Schnittmenge zu berechnen besteht darin, das Integral der Normalverteilungsfunktion [M], wie es Gleichung 4.6 zeigt aufzustellen und die Fläche von $-\infty$ bis 0 zu berechnen.¹³³

¹³² Weiterentwickelt aus KUMMER, M. K.: Unveröffentlichtes Arbeitspapier. S. 2ff

¹³³ Vgl. LIU, Q.: Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik für Bauingenieure; Skriptum. S. 105

$$f_{(x)} = \int_{-\infty}^0 \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} * e^{-\frac{1}{2} * \left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (4.6)$$

Für eine bessere Verständlichkeit sei ein kurzes, in Tabelle 4.1 dargestelltes, fiktives Beispiel, bei dem zwei Widerstände, beschrieben durch deren statistischen Werte μ und σ auf deren Versagen gegen eine Einwirkung, ebenfalls gegeben durch μ und σ , geprüft werden, angeführt.

Tabelle 4.1 Beispiel zur Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit

Einwirkung [kN]	Widerstand 1 [kN]	Widerstand 2 [kN]	Schnitt der Verteilungen Widerstand 1 mit Einwirkung	Schnitt der Verteilungen Widerstand 2 mit Einwirkung
μ [kN]	70	130	130	60,00
σ [kN]	10	10	20	14,14
Versagen [%]			$1,105 \cdot 10^{-5} \approx 0,0011 \%$	$3,645 \cdot 10^{-3} \approx 0,37 \%$
Sicherheitsindex β [-]			4,24	2,68

Es ist zu erkennen, dass der Widerstand 2 eine größere Standardabweichung, also Streuung als Widerstand 1, aufweist. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Versagenswahrscheinlichkeit des Widerstands 2, mit rund 0,4 %, errechnet aus Gleichung 4.6 mit $f_{(x)} = \int_{x=-\infty}^0 \frac{1}{22,36 \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} * e^{-\frac{1}{2} * \left(\frac{x-60}{22,36}\right)^2} = 0,4 \%$, höher als jene von Widerstand 1 mit 0,001 %, errechnet aus $f_{(x)} = \int_{x=-\infty}^0 \frac{1}{14,14 \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} * e^{-\frac{1}{2} * \left(\frac{x-60}{14,14}\right)^2} = 0,001 \%$ ist. Trotzdem kann aber die Beständigkeit von Widerstand 2 zu 99,6 % sichergestellt werden. Der Sicherheitsindex, je größer, desto sicherer, fungiert zusätzlich noch als ein weiteres Bestimmungsinstrument des Sicherheitsniveaus.

Wie man sieht, geht man im Ingenieurbau verhältnismäßig pragmatisch mit dem Modellieren und dem Erfassen von Einflussgrößen um, da im Grunde jede Konstruktion unterschiedlichen Lasten und somit auch mannigfaltigen Lastkombinationen ausgesetzt ist.

Dasselbe situationsbedingte Schema kann auch auf baubetriebliche und bauwirtschaftliche Fragestellungen umgelegt bzw. angewandt werden, da dort ebenso Bauabläufe, die durch terminplanerische Methoden dargestellt werden, von verschiedensten Baustelleneinflüssen, die einen streuenden Charakter aufweisen, beeinflusst werden.

4.3 Modellbildung in der Bauwirtschaft

Man kann die Modellierung einer Bauaufgabe im übertragenen Sinn so verstehen, als dass man das Bauwerk an sich durch ein Leistungsverzeichnis und durch Planunterlagen als modelliert betrachten kann und durch den Wettbewerb, unter den Baunehmern, verschiedenste Ergebnisse zur preislichen Dimensionierung entstehen.

Die Unsicherheiten, die aufgrund von unvollständigem Wissen und natürlicher Variabilität unweigerlich auftreten, müssen erkannt und durch eine Risikoanalyse berücksichtigt werden, um so quantifizierte Aussagen über

ein vermeintliches Risiko oder eine bestehende Chance treffen zu können.¹³⁴ Die in der Baupraxis bis dato vorherrschenden deterministischen Methoden bieten jedoch keine Möglichkeit Unsicherheiten in die Berechnung einzubeziehen.¹³⁵ Entscheidungsträger vergleichen meist das erwartete Ergebnis mit einem Standard- bzw. einem Mindestwert und befinden den Wert, solange er dem „normalen Standard“ entspricht, für akzeptabel und multiplizieren schlussendlich einen globalen, manipulativen Unbestimmtheitsfaktor, der alle Unsicherheiten fassen soll, hinzu.¹³⁶ Dieses Vorgehen ist von einer subjektiven Entscheidungsfindung geprägt und stellt keinen nachhaltigen objektiven Urteilsprozess über das gegenwärtige Risiko dar.

Mit der Einführung von probabilistischen Berechnungsmethoden können quantitative Aussagen, betreffend der Eintrittswahrscheinlichkeit von Aufwands- und Leistungswerten sowie in letzter Konsequenz von Kosten, mit Hilfe von Sicherheitsniveaus getätigt werden, wie es bspw. Kummer in seiner Arbeit vorangetrieben hat.¹³⁷

Kummer beschreibt, dass sich dieser Sicherheitsgedanke, des semi-probabilistischen Konzepts aus dem konstruktiven Ingenieurbau, Hinsichtlich von Baukosten, die eine weit streuende Charakteristik haben können, und Budgetvorgaben, sowie Bauzeiten und Fertigstellungstermine umlegen lassen kann.¹³⁸

¹³⁴ Vgl. KÖHLER, J.: Seminar "Risiko und Sicherheit im Bauwesen"; Skriptum. Vorlesungspräsentation 1. Einführung. S. 21

¹³⁵ Vgl. KUMMER, M. K.: Einsatz der Monte-Carlo Simulation zur Berechnung der Baukosten und Bauzeit; Masterarbeit. S. 3

¹³⁶ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch für @Risk. S. 39

¹³⁷ Vgl. KUMMER, M. K.; HOFSTADLER, C.: Einsatz der Monte-Carlo-Simulation zur Berechnung von Baukosten. In: Bauaktuell, 4. Jahrgang, September Nr. 5/2013. S. 1ff

¹³⁸ Vgl. KUMMER, M. K.: Unveröffentlichtes Arbeitspapier. S. 2ff

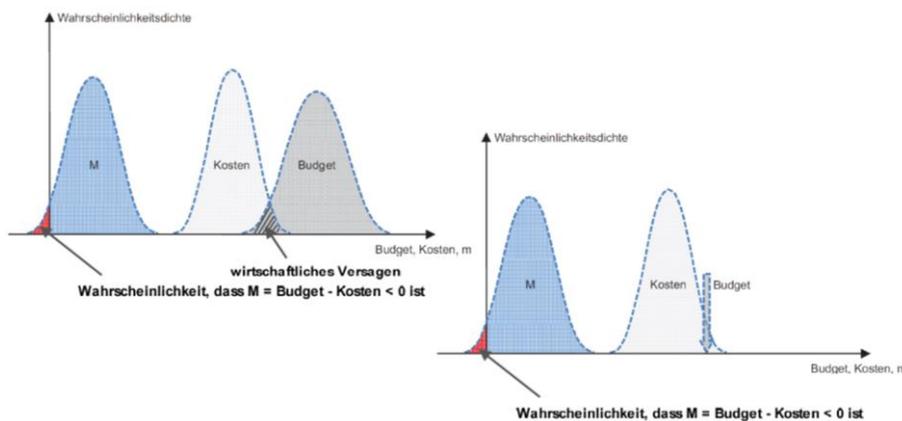


Bild 4.4 Wahrscheinlichkeitstheoretischer Zusammenhang von Kosten und Budgetvorgaben in der Bauwirtschaft¹³⁹

In Bild 4.4 wird ein vorgegebenes Budget – dargestellt als eine konkrete Zahl, die es nicht zu überschreiten gilt – mit der streuenden Charakteristik der Kosten für ein Bauvorhaben verglichen. Dabei lässt sich ebenfalls ein Überschneidungsbereich, der die Wahrscheinlichkeit für ein wirtschaftliches Versagen angibt, bei dem die Baukosten höher als das Budget sind, erkennen. Aus dieser Darstellung heraus lassen sich sogenannte Sicherheitsniveaus ableiten durch die man schlussendlich eine quantifizierbare Aussage über Risiken und Chancen erhält. Darüber hinaus lassen sich weitere Modellierungshilfen zur Darstellung des Bauablaufs wie das Arbeitskräftemodelle, wie es Bild 4.5 zeigt, oder Terminpläne, wie in Bild 4.6, festmachen.

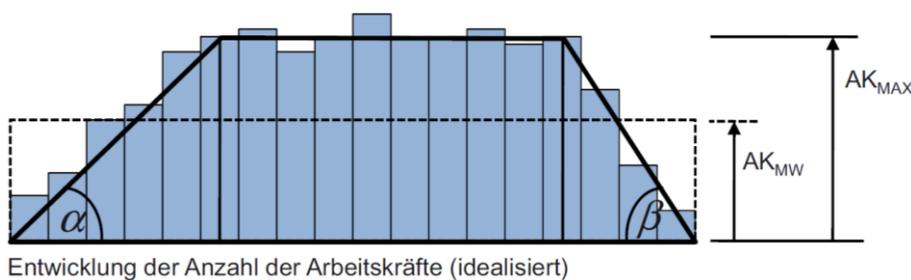


Bild 4.5 Entwicklung der Anzahl der Arbeitskräfte (idealisiert) über die Bauzeit¹⁴⁰

Die Verteilung der Arbeitskräfte über die Bauzeit kann, wie es Bild 4.5 zeigt, als Trapezform idealisiert werden und stellt auch eine Form der Modellbildung dar, aus der die Anzahl der Arbeitskräfte berechnet wird.

¹³⁹ Weiterentwickelt aus KUMMER, M. K.: Unveröffentlichtes Arbeitspapier. S. 3

¹⁴⁰ Vgl. HOFSTADLER, C.: Einfluss der Bauzeit auf die Produktivität - Neueste Erkenntnisse im Vergleich zur Literatur. In: Tagungsband Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste, 11. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium/2013. S. 42

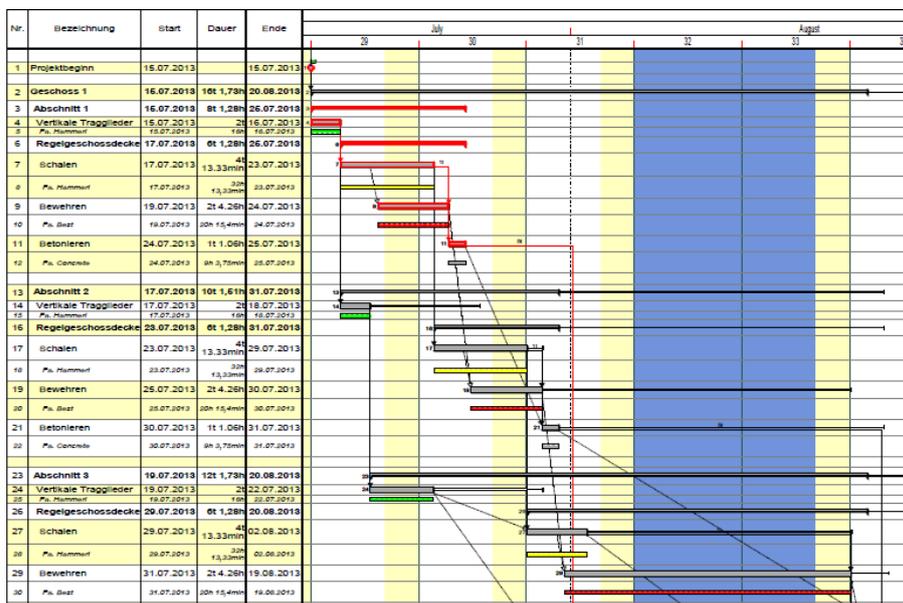


Bild 4.6 Feinterminplan für schalen, bewehren und betonieren

In einem Feinterminplan, wie es Bild 4.6 zeigt, lassen sich Fertigungsprozesse darstellen, geordnet nach deren Chronologie und auch deren einzelnen Abhängigkeiten, abbilden.

4.4 Modellierung in weiteren Wissenschaftsbereichen

Die Bildung von Modellen ist in jeder forschenden bzw. wissenschaftlichen Sparte von essentieller Bedeutung. Aus dem täglichen Sprachgebrauch ist die Bezeichnung der Wetterkartenmodelle bekannt. Hier geschieht prinzipiell nichts anderes, als dass man anhand der vorherrschenden Tief- und Hochdruckgebiete Schlüsse auf den weiteren Verlauf der Luftmassenbewegung ziehen kann und daraus schlussendlich das Wetter vorherzusagen versucht. Dabei ist aber die Qualität der Voraussagen nur so gut wie der Modellinput zu Beginn. Jedoch lassen sich naturgegebene Unwägbarkeiten nie restlos in ein Modell aufnehmen und auch nicht eliminieren, somit bleibt auch bei noch so sicheren Parametern noch eine gewisse Eintrittsunsicherheit.

Daneben wird noch der Begriff von Finanzierungsmodellen bzw. Investitionsmodellen aufgeworfen, wobei mit Finanzierung die Mittelaufwendung und mit Investition die Mittelverwendung gemeint ist.¹⁴¹ In beiden Bereichen sind mögliche Szenarien zu entwerfen und Entscheidungen unter Unsicherheit zu treffen. Zur Bewertung der Alternativen dienen

¹⁴¹ Vgl. VEIT, P.: Betriebswirtschaftslehre - Bau Kostenrechnung, Investition; Skriptum. S. 106

Modelle der Wirtschaftlichkeitsrechnung wie die Kapitalwertmethode, Annuitäten-Methode oder die Rentabilitätsrechnung.¹⁴²

4.5 Modellierung von Entscheidungsproblemen

Befindet man sich nun in einer Situation, bei der man zwischen verschiedenen Szenarien, die beste, also risikoärmste Entscheidung treffen muss, so erweist sich der Einsatz von Entscheidungsbäumen, die auch im Fokus dieser Arbeit stehen und nachfolgend eingehend erklärt werden, als praktikabel. Diese Art der Modellierung bietet eine übersichtliche Darstellung des Entscheidungsproblems und bildet mögliche Szenarien bzw. Wege, die im Laufe des Entscheidungsprozesses entstehen, zur Zielerreichung ab. Als Grundlage aller entscheidungstheoretischen Ausgangssituationen muss zunächst ein Modell entwickelt werden.

4.5.1 Grundsätze eines Basisentscheidungsmodells

In ein Entscheidungsmodell fließen einerseits gesicherte Erkenntnisse und andererseits intuitive Urteile bzw. der Erfahrungsschatz des Entscheiders mit ein, jedoch dient das Entscheidungsmodell lediglich als Hilfsmittel zur Vorbereitung der Entscheidung, die ja schlussendlich der Mensch selbst treffen und vertreten muss.¹⁴³ Daraus folgt, dass das Entscheidungsmodell ein Instrument darstellt, dessen Anwendung zu einer Alternative führen soll, die „optimal“ oder wenigstens „gut“ auf die Zielvorstellungen des Entscheiders zutrifft.¹⁴⁴

Ein Entscheidungsmodell setzt sich im Allgemeinen aus einem Entscheidungsfeld und der Entscheidungsregel zusammen, wobei sich das Entscheidungsfeld aus den erwogenen Alternativen, den durch Eintrittswahrscheinlichkeiten gewichteten Umweltzuständen sowie den jeweiligen Ergebnissen zusammensetzt.¹⁴⁵

Die Alternativen $[A_i]$ werden durch Werte, bzw. Kosten beschrieben, die vom Entscheider innerhalb bestimmter Grenzen als variabel angenommen werden können. Jede Alternative im Modell ist mit Konsequenzen verbunden und verursacht weitere Möglichkeiten, die schlussendlich in einen Vergleich aller für die Bewertung relevanten Zielgrößen als Wertekonstellation jeder Alternative münden.¹⁴⁶ Dieses Endprodukt wird als Ergebnis $[x_{i,j}]$, an dem sich der Entscheider orientieren kann, bezeichnet

¹⁴² Vgl. VEIT, P.: Betriebswirtschaftslehre - Bau Kostenrechnung, Investition; Skriptum. S. 108

¹⁴³ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 54

¹⁴⁴ ebd.

¹⁴⁵ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 30

¹⁴⁶ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 31

und kann für einen Gewinn, einen Umsatz oder auch für ein Optimum stehen.¹⁴⁷ Als drittes Element sind die Umweltzustände $[S_j]$ anzuführen, durch die mögliche Eintrittszustände bzw. Eintrittswahrscheinlichkeiten $[w(S_j)]$ in Entscheidungsverläufen berücksichtigt werden können.¹⁴⁸ Hier liegt es am Entscheider und an der Erwartungsstruktur der jeweiligen Zustände (siehe dazu Bild 3.2). Vereinfacht können diese Elemente in einer Ergebnismatrix, wie sie Tabelle 4.2 zeigt, zusammengefasst werden.

Tabelle 4.2 Entscheidungsmatrix bei Risiko¹⁴⁹

	$w(S_1)$	$w(S_2)$	...	...	$w(S_s)$
	S_1	S_2	...	...	S_s
A1	x11	x12	...	...	x1s
A2	x21	x22	...	...	x2s
...
...
Aa	xa1	xa2	...	...	xas

Bei der Entscheidungsregel handelt es sich um einen festgelegten Mechanismus, durch den jene Alternative ausgewählt wird, die dem fixierten Ziel am besten entspricht.¹⁵⁰ Diese Regel folgt einer rationalen Entscheidung in der Auswahl jener Alternative, die ein größtmögliches Maß an Bedürfnisbefriedigung für den Entscheider verspricht.¹⁵¹

4.5.2 Systematisierung von Entscheidungsmodellen

Entscheidungsmodelle lassen sich verschiedenartig einteilen. Dabei können unter anderem graphische von mathematischen sowie deterministische von stochastischen Modellen unterschieden werden.¹⁵² Mathematische Modelltypen, sogenannte Programmierungsmodelle, können zur Vorbereitung einer Entscheidung konstruiert werden, auf dessen Grundlage eine optimale Lösung generiert werden kann.¹⁵³ Demgegenüber zeichnen sich graphische Entscheidungsmodelle durch deren Anschaulichkeit aus, jedoch finden sie nur bei einfachen Problemstrukturen Anwendung.¹⁵⁴ Deterministische Entscheidungsmodelle zeigen jeweils nur eine Ausprägung der entscheidungsrelevanten Daten, sodass ange-

¹⁴⁷ ebd.

¹⁴⁸ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 32

¹⁴⁹ In Anlehnung an LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 38

¹⁵⁰ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 33

¹⁵¹ ebd.

¹⁵² Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 50f

¹⁵³ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 51

¹⁵⁴ ebd.

nommen wird, dass sie quasi sicher sind.¹⁵⁵ Bei stochastischen Modellen können darüber hinaus mehrwertige Erwartungen über die entscheidungsrelevanten Daten in die Berechnung mit aufgenommen werden, indem verschiedene Wertekonstellationen mit Eintrittswahrscheinlichkeiten bzw. Verteilungsfunktionen belegt werden können.¹⁵⁶

Wie bereits erwähnt, steht die Typologie des Entscheidungsbaums, die im Kapitel 6 näher erläutert wird, im Zentrum dieser Arbeit, die sich zu einen graphisch-deterministischen Modelltypus zuordnen lässt. Als Ausgangsmodell steht klarerweise ein mathematisches Kalkül, durch das gewisse Berechnungsoperationen geschehen. Davon ausgehend werden die zunächst deterministischen Ergebnisse in eine graphische Darstellung als Entscheidungsbaum eingetragen. Zusätzlich können diesen Ergebnissen, Eintrittswahrscheinlichkeiten bzw. Verteilungsfunktionen zugewiesen werden, durch die das Ergebnis gewichtet bzw. durch Zufallsoperatoren schlussendlich eine probabilistische Aussage über das Ergebnis getroffen werden kann.

Um dieses Vorgehen kurz vorzustellen, wird nun folgendes Beispiel, in Bild 4.7 als Entscheidungsbaum dargestellt, angeführt:¹⁵⁷

Ein Unternehmer vermutet auf seinem Land ein Ölvorkommen und schätzt die Bohrkosten auf rund 400.000 €. Bei einem möglichen Ölfund wird der Gewinn mit 5 Millionen € erwartet. Bei diesem Entscheidungsproblem gilt es die Unsicherheiten betreffend:

- wie viel Öl ist überhaupt vorhanden und demzufolge
- welche Porosität und Qualität weist das Gestein auf sowie
- gibt es Komplikationen während des Bohrprozesses

zu fassen. Für dieses Beispiel wurden aber absichtlich sehr vereinfachte subjektive Wahrscheinlichkeiten für ein Ölvorkommen mit 10 % und für kein Öl mit 90 % vergeben.

¹⁵⁵ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 52

¹⁵⁶ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 52f

¹⁵⁷ Vgl. KÖHLER, J.: Seminar "Risiko und Sicherheit im Bauwesen"; Skriptum. Vorlesungspräsentation 1. Einführung. S. 22ff

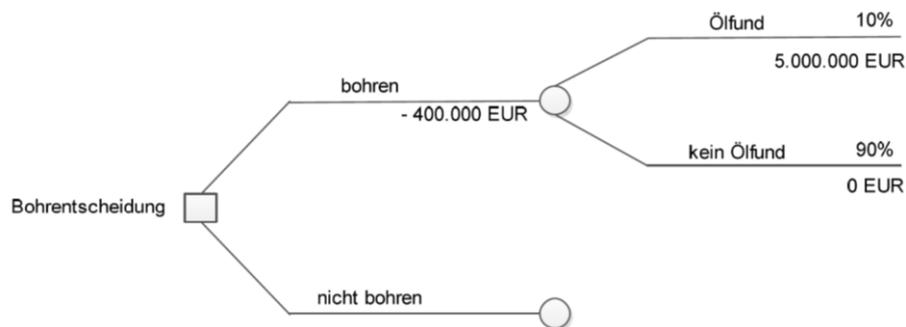


Bild 4.7 Entscheidungsbaum einer Bohrentscheidung¹⁵⁸

Wie man aus Bild 4.7 erkennt, können unterschiedliche, monetär bewertete Szenarien eintreten. So kann es im besten Fall passieren, dass gebohrt und tatsächlich Öl gefunden wird und sich somit ein Reingewinn von 4.600.000 € = 5.000.000 € - 400.000 € ergibt. Andererseits kann es passieren, dass bei einem Bohrversuch kein Öl gefunden wird und sich somit ein Verlust von 400.000 € ergibt. Als Entscheidungsregel bei Entscheidungsbäumen wird der nachfolgend erklärte Erwartungswert herangezogen. Dieser errechnet sich zu:

$$4.600.000 \text{ €} * 10 \% + (- 400.000 \text{ €}) * 90 \% = 100.000 \text{ €}.$$

Demzufolge ist er positiv und man könnte aus diesem Kriterium eine Entscheidung fällen. Jedoch ist dies eine recht oberflächliche Betrachtung des Entscheidungsproblems. Vielmehr praktikabler erscheinen daher Methoden, wie bspw. Unterlegung der Ergebnisse durch Nutzenfunktionen, durch die ein möglicher Verlust bzw. ein etwaiger Gewinn in Abhängigkeit der Risikobereitschaft des Entscheiders bewertet werden kann. Jedoch müssen bei der Entwicklung solcher Nutzenfunktionen, die in Kapitel 6 näher beleuchtet werden, die Funktionsverläufe kritisch hinterfragt werden.

Entscheidungsmodelle sind stets einer bestimmten Subjektivität unterworfen. Durch sie können zwar Entscheidungen vorbereitet und vom Entscheider als Orientierungshilfe verwendet werden, jedoch liefern sie auch nur jenes optimale Ergebnis, das im Bezug auf das Zielkriterium als optimal erscheint.¹⁵⁹ Folgedessen wird im nächsten Kapitel auf entscheidungstheoretische Kalküle näher eingegangen.

Nichtsdestotrotz erscheint allein die Abwägung verschiedener Alternativen gegeneinander als sinnvoll, darüber hinaus zwingt ein solches Modell den Entscheider, sich mit den Beziehungen der einzelnen Modellas-

¹⁵⁸ Weiterentwickelt aus: KÖHLER, J.: Seminar "Risiko und Sicherheit im Bauwesen"; Skriptum. Vorlesungspräsentation 1. Einführung. S. 23ff

¹⁵⁹ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 55

pekte näher auseinanderzusetzen, sodass er ein besseres Gefühl für das allgemeine Systemverhalten entwickelt.¹⁶⁰

¹⁶⁰ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 55f

5 Grundsätze der Entscheidungstheorie

„Unser Entscheiden reicht weiter als unsere Erkenntnis.“ (Kant)¹⁶¹

Mit anderen Worten soll dies bedeuten, dass Entscheidungen oftmals weitreichendere Folgen besitzen, als dass sie sich Entscheidungsträger anfänglich ausmalen bzw. bewusst sind. Alltägliche Entscheidungen besitzen oft nicht die Tragweite, als dass sie eines aufwendigen analytischen Entscheidungsfindungsprozesses bedürfen. Anders verhält es sich bei schwerwiegenden Entscheidungen wie etwa einer Firmenstrukturierung bzw. Neuausrichtung einer Produktpalette, oder einer Investitionsentscheidung. Entscheidungen werden von jedem Menschen tagtäglich bewusst oder unbewusst getroffen, jedoch spiegelt sich die Wichtigkeit dieser, in der Konsequenz der Sache wieder.

Entscheidungsträger der Baubranche sehen sich gleichermaßen mit Situationen konfrontiert, in denen sie in kurzer Zeit eine Auswahl treffen sollen, wobei aber über Einzelkomponenten eines Systems und deren Interaktionen ein geringer Informationsstand herrscht. Deshalb bedienen sie sich bestimmten Entscheidungsfindungsprozessen wie sie im Kapitel 2 angeführt sind. Wird einer Entscheidung höhere Priorität eingeräumt und besteht auch die Zeit, sich mit einem umfassenden Problemlösungsprozess auseinanderzusetzen, so können unterschiedliche Analyseinstrumente zur Beurteilung des Problems eingesetzt werden.

5.1 Entscheidungsbegriff

Unter dem Begriff der Entscheidung wird im Allgemeinen ein Wahlproblem von besonderer Bedeutung, von dessen Ausgang weitere, schwerwiegende Ereignisse abhängen, verstanden.¹⁶² Diese Wahlsituationen können auch Veränderungen mit sich bringen, die zunächst schwer abzuschätzen sind. Gerade dieser Umstand, über Ereignisse die in der Zukunft liegen in der Gegenwart zu urteilen, macht es notwendig sich mit Methoden auseinanderzusetzen, durch die diese Unbestimmtheit der künftigen Umweltentwicklung in den Entscheidungsprozess mit aufgenommen werden kann.

Im Speziellen kann der gesamte Entscheidungsfindungsprozess in eine Entscheidungsvorbereitung, in der die Problemformulierung, die Zieldefinition und die Entwicklung von Alternativen im Mittelpunkt steht, sowie in die Entschlussfassung, bei der man (der Entscheidungsträger) sich letzten Endes für eine Variante entscheidet, aufgetrennt werden. Durch die-

¹⁶¹ Immanuel Kant (1724 – 1804) deutscher Philosoph; aus JAKOBY, W.: Projektmanagement für Ingenieure 2. Auflage. S. 63

¹⁶² Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 3

se Separierung kann die deskriptive von der präskriptiven Entscheidungstheorie unterschieden werden.¹⁶³

5.1.1 Deskriptive Aussagesysteme

Bei der deskriptiven (beschreibenden) Entscheidungstheorie geht es im Wesentlichen darum, empirisch fundierte Hypothesen über das Verhalten von Personen in Entscheidungssituationen zu formulieren, um daraus Entscheidungen prognostizieren zu können.¹⁶⁴ Es steht hier das Individuum, d.h. das subjektive Empfinden bzw. Urteilen eines Entscheiders im Vordergrund. Dabei wird versucht zu klären, wie Menschen oder aber auch ganze Gruppen von Entscheidungsträgern, Entscheidungen treffen, seien sie rational oder aber auch irrational, um daraus typische Handlungsgrundsätze abzuleiten.¹⁶⁵

5.1.2 Präskriptive Verhaltensempfehlungen

Als zweite Entscheidungstheorie kann die präskriptive Verhaltensempfehlung angeführt werden. Dabei wird das Entscheidungsproblem, ausgehend von einem Zielsystem, unter Einbezug von rechnerischen und logischen Hilfsmitteln gelöst, indem diejenige Alternative bestimmt wird, die sich im Bezug auf dieses Zielsystem als optimal erweist.¹⁶⁶ Diese mathematisch herbeigeführte Lösungsstrategie bedient sich wiederum Entscheidungsmodellen, die abhängig von den Zielvorstellungen und Lösungswegen recht unterschiedlich gestaltet sein können.¹⁶⁷ Damit wird eine Entscheidungshilfe entworfen, die als Lösung zum Ausdruck bringen soll, welche der Handlungsalternativen gewählt werden soll.¹⁶⁸

Es sei festgehalten, dass durch präskriptive Entscheidungstheorien objektive Handlungsalternativen vorgegeben werden, die am Besten dem Zielsystem entsprechen. Demgegenüber beschreiben deskriptive Theorien wie sich Menschen in Entscheidungssituationen verhalten, sei es rational oder aber auch irrational.

Diese Arbeit setzt sich mit Methoden der präskriptiven Entscheidungstheorie auseinander, durch die primär nur eine Entscheidungsvorbereitung als Orientierungshilfe des Entscheiders stattfindet.

¹⁶³ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 16ff

¹⁶⁴ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 17

¹⁶⁵ ebd.

¹⁶⁶ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 18

¹⁶⁷ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 19

¹⁶⁸ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 20

5.2 Entscheidungskriterien als Entscheidungshilfen bei unsicherer Erwartungsstruktur

Als Ziel in der Entscheidungslogik wird üblicherweise die Maximierung oder aber auch die Minimierung als Optimierungskriterium verstanden.¹⁶⁹ Es wird schließlich eine Rangordnung der Alternativen impliziert, die als Präferenzordnung bezeichnet wird.¹⁷⁰ Das Ergebnis dieser Ordnung kann bei Sicherheit als eindeutig angesehen werden, umgekehrt dazu existieren bei Unsicherheit mehrere mögliche Ergebnisse, aus denen im Allgemeinen keine augenscheinliche Präferenz für eine Alternative ausdrücken lassen.¹⁷¹ Vielmehr erlaubt es diese Art der Präferenzierung eine Aussage über die Chancen und über die Risiken der jeweiligen Variante zu treffen.¹⁷² Eine Regel ist demnach eine globale Bewertungsart der Alternativen, an der sich der Entscheider mit Bedacht richten kann. So können einige Analyseinstrumente zur Beurteilung von Alternativen kurz angeführt werden.

5.2.1 Maximin- Maximax-Regel

Diese Entscheidungsregel besagt, dass aus einer Ergebnismatrix, das größte Zeilenminimum aller Alternativen, also das pessimistische Mindestergebnis gewählt werden soll.¹⁷³ Umgekehrt dazu besagt die Maximax-Regel, dass jene Alternative gewählt werden soll, die das maximale Ergebnis liefert.¹⁷⁴ Die Ermittlung der jeweils schlechtesten bzw. besten Alternative geschieht durch paarweises Vergleichen, bei dem der Entscheider alle Alternativen auf eine reduziert.¹⁷⁵ Unterliegen die Ergebnisse jedoch einer Unsicherheit, so kann durch das Hurwicz-Prinzip, beschrieben durch Gleichung 5.1, eine gewichtete Mittelung zwischen dem niedrigsten und dem höchsten Ergebnis durchgeführt werden.¹⁷⁶

$$\Phi_{(A)} = \alpha * x_a^{max} + (1 - \alpha) * x_a^{min} , \text{ mit } 0 < \alpha < 1 \quad (5.1)$$

Die Präferenz einer Alternative $\Phi_{(A)}$ lässt sich aus der Multiplikation des Maximums der Alternative x_a^{max} , mit einem Faktor $0 < \alpha < 1$, plus dem Minimum der selben Alternative, multipliziert mit dem gegengerichteten α -Faktor, errechnen. Durch dieses Vorgehen kann der Entscheider mit

¹⁶⁹ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 34

¹⁷⁰ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 34ff

¹⁷¹ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 35

¹⁷² Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 36

¹⁷³ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 83

¹⁷⁴ ebd.

¹⁷⁵ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 83f

¹⁷⁶ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 84

dem α -Faktor, einen subjektiven Gewichtungs- bzw. auch Wahrscheinlichkeitsparameter mit einfließen lassen.

Tabelle 5.1 Gegenüberstellung verschiedener Entscheidungskriterien¹⁷⁷

Alternativen	mögliche Zustände mt Wahrscheinlichkeiten			Entscheidungskriterien		
	Z1 (w=30%)	Z2 (w=45%)	Z3 (w=25%)	Maximin	Maximax	Erwartungswert
A1	10.000,00	45.000,00	55.000,00	10.000,00	55.000,00	37000
A2	20.000,00	30.000,00	41.000,00	20.000,00	41.000,00	29750
A3	30.000,00	40.000,00	45.000,00	30.000,00	45.000,00	38250
A4	35.000,00	38.000,00	40.000,00	35.000,00	40.000,00	38000

Die Tabelle 5.1 weist nun vier Alternativen aus, die jeweils drei Zustände, bzw. Ergebnisse aufweisen können. Zusätzlich sind diesen Zuständen noch Eintrittswahrscheinlichkeiten zugewiesen. Im zweiten Teil der Tabelle sind die Entscheidungskriterien nach unterschiedlichen Entscheidungsregeln aufgelistet. Bei Maximin, soll der Entscheider das minimalste aller Alternativen auswählen, was dazu führt, dass Alternative A 4 zu bevorzugen ist. In der zweiten Spalte wurde das Maximum aller Handlungsalternativen herangezogen, was zur Präferenz der Alternative A 1 führt. Schlussendlich wurde der Erwartungswert nach Gleichung 5.2 aller Handlungsalternativen errechnet, der dazu führt, dass die Alternative A 3 als Beste hervor ging. Man sieht schon bei diesem einfach gehaltenem Beispiel, dass durch den Einsatz unterschiedlicher Entscheidungsregeln, sehr unterschiedliche Ergebnisse zum Vorschein treten.

5.2.2 Niehans-Savage-Regel

Bei der Anwendung der Niehans-Savage-Regel werden aus einer Ergebnismatrix zunächst die Spaltenmaxima herausgefiltert, um des Weiteren von diesen, die jeweiligen Einzelergebnisse zu subtrahieren.¹⁷⁸ Konkret bedeutet dies aus Tabelle 5.2, dass sich für den Zustand 1, der Alternative A 1 ein Bedauernswert von $35\ 000 - 10\ 000 = 25\ 000$ ergibt. In gleicher Weise lässt sich derselbe Wert für Alternative A 2 zu $35\ 000 - 20\ 000 = 15\ 000$ errechnen. Als Ergebnis können sogenannte Bedauernswerte errechnet werden, von denen schlussendlich die maximalen Werte miteinander verglichen werden, aus denen wiederum der niedrigste, also jene Alternative, mit dem geringsten Nachteil, ausgewählt werden kann.¹⁷⁹

¹⁷⁷ In Anlehnung an: LANG, W.: Verfahrensvergleiche zur optimalen Auswahl von Bauverfahren; Diplomarbeit. S. 149ff

¹⁷⁸ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 85

¹⁷⁹ ebd.

Tabelle 5.2 Darstellung der Niehans-Savage-Regel¹⁸⁰

Alternativen	mögliche Zustände			Berechnung der Bedauernswerte			max. Nachteil
	10.000,00	45.000,00	55.000,00	25.000,00	0,00	0,00	
A1	10.000,00	45.000,00	55.000,00	25.000,00	0,00	0,00	25.000,00
A2	20.000,00	30.000,00	41.000,00	15.000,00	15.000,00	14.000,00	15.000,00
A3	30.000,00	40.000,00	45.000,00	5.000,00	5.000,00	10.000,00	10.000,00
A4	35.000,00	38.000,00	40.000,00	0,00	7.000,00	15.000,00	15.000,00

Aus Tabelle 5.2 geht nun die Alternative A3 mit dem niedrigsten Nachteil der jeweiligen Entscheidungen hervor. Aus den vorangestellten Tabellen können somit aus vier unterschiedlichen Alternativen mit je drei in Betracht zu ziehenden Zuständen, mit Hilfe der vorgestellten Berechnungsverfahren, auch drei unterschiedliche Ergebnisse ermittelt werden. Die Alternative A 3 kann sich aber durch einen größeren Erwartungswert und durch den geringsten Bedauernswert der Niehans-Savage-Regel zweimal durchsetzen. Es zeigt, dass die Anwendung eines Entscheidungskriteriums kein „Allheilmittel“ als Entscheidungshilfe darstellen kann. Laux et.al. weisen in diesem Zusammenhang auch darauf hin, dass der Einsatz einer dieser Entscheidungskriterien erheblich von dem jeweiligem Entscheidungsproblem abhängen.¹⁸¹

5.2.3 Erwartungswert

Wie schon in Tabelle 5.1 angeführt, kann bei Entscheidungen unter Risiko, der Erwartungswert berechnet werden. Dieser unterscheidet sich aber grundlegend von dem erwarteten Wert, oder auch Modus genannt, wie er nachfolgend definiert wird. Der Erwartungswert selbst, ist ein statistischer Kennwert und kann durch Gleichung 5.2 ermittelt werden.¹⁸² Er kann zudem bei diskreten Verteilungen auch als der Mittelwert, einer Ansammlung von Merkmalsausprägungen, bezeichnet werden wenn das jeweilige Experiment unendlich oft durchgeführt werden würden.¹⁸³

$$E(X) = \sum_{s=1}^{\infty} w_{(S_s)} * x_s \quad (5.2)$$

Dabei bezeichnet das w die Wahrscheinlichkeit in [%] der möglichen Umweltzustände, der zugehörigen Ausprägungen x in [€]. Über die Summe aller Merkmale kann schließlich der Erwartungswert gebildet werden. Dabei kann der Erwartungswert, bei diskreten Verteilungen, auch Größen annehmen, die in Wirklichkeit jedoch so nie auftreten.

Neben der Bildung eines Wahrscheinlichkeitsurteiles einer künftigen Situation muss auch noch geklärt werden, welche Einstellung der Entscheider letztlich zum Risiko hat.¹⁸⁴ Die Rollen von Chancen und Risiken

¹⁸⁰ In Anlehnung an: LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 83ff

¹⁸¹ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 86

¹⁸² Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 93

¹⁸³ Vgl. <http://matheguru.com/stochastik/166-erwartungswert.html>. Datum des Zugriffs: 08.03.2015

¹⁸⁴ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 92

sind demnach so verteilt, als dass bei riskanten Entscheidungen, das Ergebnis mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit vom Erwartungswert abweicht.¹⁸⁵ Für die Unterscheidung von Chancen und Risiken, sei an das Kapitel 3 erinnert, indem eine positive Zielabweichung als Chance und eine negative als Risiko deklariert wurde. Es stellt sich dabei nur noch die Frage in welche Richtung (positiv oder negativ) sich die letztendliche Entscheidung bewegt. Dazu können die sogenannten Risikopräferenzen wie Risikoneutralität, Risikoaversion und Risikofreude, die im nachfolgenden Kapitel 6 eingehend erklärt werden, unterschieden werden.¹⁸⁶ Wenn der Entscheider bspw. ein sicheres Ergebnis in der Höhe des Erwartungswertes, einem riskantem Ergebnis strikt vorzieht, so handelt er risikoavers.¹⁸⁷ Genau umgekehrt verhält es sich, wenn der Entscheider risikofreudig agiert.

Das Entscheidungskriterium des Erwartungswertes findet auch bei der, in dieser Arbeit thematisierten Entscheidungsbaumtheorie, breite Anwendung.

Durch den Erwartungswert können auf einfache Weise Wahrscheinlichkeitsurteile in den Entscheidungsprozess berücksichtigt werden, jedoch muss das Anwendungsgebiet durch die Eigenheit des Erwartungswertes, dass er nur für Probleme mit häufigen Wiederholungen ein probates Mittel darstellt, eingeschränkt werden.¹⁸⁸ Aufgrund dieses Umstandes muss die Gründung einer Entscheidung auf den Erwartungswert relativiert werden, da zudem auch keine Aussagen über die Quantifizierung des Risikos, über die Standardabweichung, und auch keine Präferenzfunktionen, die das Entscheidungsverhalten des Entscheiders berücksichtigen, gebildet werden können.¹⁸⁹ Auch Laux et.al. sieht den Erwartungswert alleine als kritisches Entscheidungselement und führt dazu das „Petersburger Spiel“¹⁹⁰ an, da die Orientierung an einen einzigen Wert, dem Entscheider, den Umgang mit Gewinnchancen und Risikoverlusten nicht abnehmen kann.¹⁹¹ Daher kann im Folgenden das σ - μ -Prinzip angeführt werden.

¹⁸⁵ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 93

¹⁸⁶ ebd.

¹⁸⁷ ebd.

¹⁸⁸ Vgl. WERKL, M.: Risiko- und Nutzenverhalten in der Bauwirtschaft; Eine Entscheidungstheoretische Betrachtung im institutionenökonomischen Kontext; Dissertation. S. 81f

¹⁸⁹ Vgl. WERKL, M.: Risiko- und Nutzenverhalten in der Bauwirtschaft; Eine Entscheidungstheoretische Betrachtung im institutionenökonomischen Kontext; Dissertation. S. 82

¹⁹⁰ Beim Petersburger Spiel kann ein Spielteilnehmer einen beliebigen Geldbetrag setzen und diesen durch werfen einer Münze (Kopf oder Zahl) so oft vermehren, bis das erste Wurfresultat Zahl zeigt. Bei jedem Wurf besteht eine 50%ige Wahrscheinlichkeit, für Kopf und Zahl. Der Erwartungswert ergibt sich durch die Durchführung von n -Versuchen zu: $\text{Geldeinsatz} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^n = \infty$. Man erkennt, dass der Erwartungswert auch bei noch so großem Geldeinsatz immer höher wird und daher die Teilnehmer, bei strenger Auslegung der Entscheidungsregel der Maximierung des Erwartungswertes, immer investieren würde.

¹⁹¹ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 102f

5.2.4 σ - μ - Prinzip

Durch diesen Grundsatz kann im Allgemeinen das Risiko als Maß der Standardabweichung σ , die zeigt wie stark die möglichen Zielgrößenwerte um den Erwartungswert μ abweichen, beurteilt werden.¹⁹² Aus diesem Entscheidungskriterium entstehen verschiedene Entscheidungsprinzipien, in Abhängigkeit der jeweiligen Handlungen der Entscheider.¹⁹³ Risikoscheue Menschen achten bei ihrer Entscheidung auf eine geringe Streubreite bei gleichen Erwartungswerten, wogegen risikofreudigere Menschen eher ihre Chance in der größeren Streubreite mit möglichen Variationen in der Ergebnisverteilung sehen.¹⁹⁴ Zum einen besteht die Möglichkeit, eine Zielgröße zu wählen, die einen geringeren Wert als den Erwartungswert annimmt, als Chance zu sehen, höhere Werte zu erzielen. Zum anderen kann umgekehrt dazu eine Zielgröße gewählt werden, die größer als der Erwartungswert ist, die damit das Risiko verkörpert, dass ein geringerer Wert auftritt.¹⁹⁵ Dadurch kann je nach Erwartungshaltung des Entscheiders eine „sichere“ von einer „unsicheren“ Alternative differenziert werden.

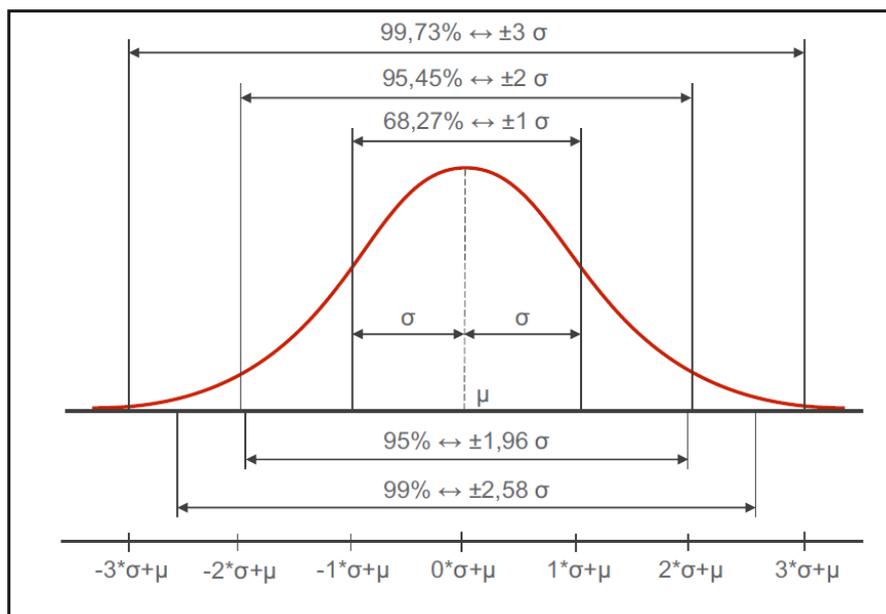


Bild 5.1 Parameter einer Standardnormalverteilung¹⁹⁶

¹⁹² Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 103

¹⁹³ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 104

¹⁹⁴ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 223

¹⁹⁵ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 104

¹⁹⁶ HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb; Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 100

So stellt Bild 5.1 eine Normalverteilung in einer allgemeinen Form dar, die den Mittelwert μ , sowie die einzelnen Stufen der Standardabweichungen σ zeigt. Die Streuung kann nun als Maß für Risiko und Chance angesehen werden. Aus diesen Ausführungen können schließlich unterschiedliche, der Entscheidung angepasste „Sicherheitsniveaus“ definiert werden.

5.2.5 Erwartungswert des Nutzens über Bernoulli-Prinzip

Als drittes Instrument kann das Bernoulli-Prinzip, bei dem der Erwartungswert des Nutzens durch die Gewichtung der einzelnen Ergebnisse, mittels der Einstellung des Entscheiders (risikoavers bzw. risikofreudig siehe dazu auch Kapitel 6) ausgedrückt werden kann, angeführt werden.¹⁹⁷ Dieser Erwartungswert des Nutzens kann somit über die Gleichung 5.3 ermittelt werden.¹⁹⁸

$$\Phi_{(A)} = \sum_{s=1}^{\infty} w_{(S_s)} * U_{(E(x))} \quad (5.3)$$

Über die Wahrscheinlichkeit der einzelnen Zustände $w_{(S_s)}$, multipliziert mit der jeweiligen Nutzenfunktion $U_{(E(x))}$ in Abhängigkeit des statistischen Erwartungswertes, kann sodann durch die Kumulation der Einzelergebnisse ein neuer Erwartungswert des Nutzens errechnet werden. Dadurch kann nun jedem Ergebnis ein (subjektiver) Nutzen zugeordnet werden (siehe dazu Nutzenfunktionen in Kapitel 6).¹⁹⁹ Dieses Entscheidungsinstrument beinhaltet alle voran angestellten Entscheidungskriterien (Erwartungswert [μ], Standardabweichung [σ] und Risikoeinstellung des Entscheiders durch Präferenzfunktion). Dabei stellt aber die Bestimmung der „richtigen“ Nutzenfunktion eine wesentliche Hürde dar, mit der sich Werkl in seiner Arbeit eingehend auseinandersetzt.²⁰⁰

Um den Begriff des Erwartungswertes einzugrenzen wird kurz die Charakteristik des Modalwertes eingegangen.

5.2.6 Modalwert

Der Modalwert oder auch Modus genannt, ist der am häufigsten vorkommende Wert einer Verteilung.²⁰¹ Er stellt jenen Wert in einer kontinu-

¹⁹⁷ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 109

¹⁹⁸ Vgl. WERKL, M.: Risiko- und Nutzenverhalten in der Bauwirtschaft; Eine Entscheidungstheoretische Betrachtung im institutionenökonomischen Kontext; Dissertation. S. 83; und LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 111

¹⁹⁹ Vgl. WERKL, M.: Risiko- und Nutzenverhalten in der Bauwirtschaft; Eine Entscheidungstheoretische Betrachtung im institutionenökonomischen Kontext; Dissertation. S. 83

²⁰⁰ Vgl. WERKL, M.: Risiko- und Nutzenverhalten in der Bauwirtschaft; Eine Entscheidungstheoretische Betrachtung im institutionenökonomischen Kontext; Dissertation. S. 84

²⁰¹ Vgl. HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb; Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 99

ierlichen bzw. auch diskreten Verteilung dar, der am Wahrscheinlichsten ist, jedoch muss dieser nicht zwingend mit dem Mittelwert $[\mu]$ zusammenfallen – kann aber in Ausnahmesituationen durchaus der Fall sein.

5.3 Systematisierung der Wahrscheinlichkeitsaussagen

Bei Entscheidungen, die unter Risiko zu treffen sind, kann der Entscheider über Wahrscheinlichkeitsurteile der denkbaren Zustände verfügen, die bei der Abwägung der Alternativen, durch das Instrument der Wahrscheinlichkeitsrechnung, mit einbezogen werden können.²⁰² Nachstehend lassen sich einige Wahrscheinlichkeitsaussagen kategorisieren.

5.3.1 Klassische Wahrscheinlichkeiten

Der klassische Wahrscheinlichkeitsbegriff lässt sich auf den Bereich des Glückspiels zurückführen, bei dem Elementarereignisse immer dieselbe Wahrscheinlichkeit, wie etwa bei einem Würfelspiel eine bestimmte Zahl zu würfeln, ergeben.²⁰³ Ein Beispiel dafür ist das Experiment des Münzwurfes, wo bei jedem Wurf eine objektive, also klassische Wahrscheinlichkeit von 50% für „Kopf“ oder „Zahl“ errechnet werden kann. Von einer klassisch objektiven Wahrscheinlichkeit kann aber auch dann ausgegangen werden, wenn auf Basis der Theorie eines Rechenmodells, die Wahrscheinlichkeit für Risiko und Chance genau beschrieben werden kann.²⁰⁴ Demgegenüber lassen sich Eintrittswahrscheinlichkeiten in ökonomischen Entscheidungssituationen nicht so einfach auf gleichwahrscheinliche Elementarereignisse zurückführen, da einerseits die Informationen über Verhaltensweisen von Personen, andererseits Systemeinflüsse nicht hinreichend bekannt sind, sowie die Interaktionen dieser in einer komplexen²⁰⁵ Umwelt geschehen.²⁰⁶

5.3.2 Statistische Wahrscheinlichkeiten

Die statistische Wahrscheinlichkeit lässt sich aus einer empirisch geleiteten Studie ableiten. Dabei wird aus Beobachtungen, von im Kollektiv auftretenden Ereignissen, eine relative Häufigkeit gemessen, bzw. errechnet.²⁰⁷ Um den Aussagegehalt dieser Häufigkeit so hoch wie mög-

²⁰² Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 88

²⁰³ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 88f

²⁰⁴ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 222

²⁰⁵ Unter Komplexität wird hier jener Zustand beschrieben, bei dem alle Systemelemente bekannt, jedoch deren Interaktion nicht hinreichend feststellbar sind, verstanden.

²⁰⁶ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 89

²⁰⁷ ebd.

lich zu halten muss jedoch das jeweilige Zufallsexperiment ausreichend häufig (am Besten unendlich oft) und unter den gleichen Bedingungen durchgeführt werden, was jedoch gerade bei bauwirtschaftlichen und finanztechnischen Entscheidungssituationen selten bzw. fast nie der Fall sein wird, da es sich dabei meist um Einzelfallereignisse handelt.²⁰⁸ Werkl zieht dazu in seiner Arbeit den Vergleich mit der Versicherungsbranche, die durch ihre Klienten auf eine große Anzahl an „Experimenten“, im Sinne der Ermittlung der statistischen Wahrscheinlichkeit, zurückgreifen können, um daraus ihre Häufigkeitsverteilungen zur Berechnung der Risikoprämie, generieren zu können.²⁰⁹ In der Baubranche, kann man sich aber nur auf ein Projekt stützen, bei dem die Urteilsbildung einer Wahrscheinlichkeit durch Subjektivität, heuristischem Bauchgefühl und nicht zuletzt der Erfahrung geprägt ist.

Dieses klassische Wahrscheinlichkeitskonzept aus der Glücksspielkultur sowie jenes aus empirisch durchgeführten Zufallsexperimenten lassen sich als objektive Wahrscheinlichkeiten zusammenfassen.

5.3.3 Stochastische Wahrscheinlichkeiten

Laux et.al. sprechen davon, dass beim Einsatz stochastischer Entscheidungsmodelle zum Einen rein objektive, als auch andererseits subjektive Wahrscheinlichkeiten einfließen können.²¹⁰ Die Inputgrößen, gegenwärtiger Entscheidungsprobleme stellen aber subjektive Glaubensvorstellungen der Entscheider dar, die im Zuge der Rechenoperation eines stochastischen Modells weitgehend objektiviert werden können. Somit stellt bereits jede Wahrscheinlichkeitsaussage über reale Entscheidungssituationen, in der Grundstruktur eine subjektive Aussage dar.

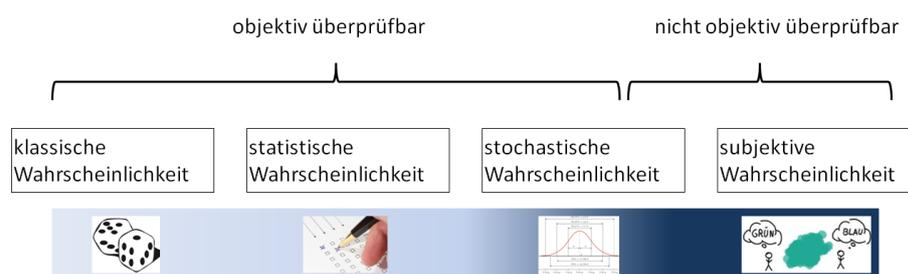


Bild 5.2 Einteilung der Wahrscheinlichkeitsaussagen

²⁰⁸ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 89f

²⁰⁹ Vgl. WERKL, M.: Risiko- und Nutzenverhalten in der Bauwirtschaft; Eine Entscheidungstheoretische Betrachtung im institutionenökonomischen Kontext; Dissertation. S. 75

²¹⁰ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 90

Bild 5.2 fasst die dargelegten Ausführungen in jener Weise zusammen, als dass die klassische, wie auch die statistische Wahrscheinlichkeit auf deren Objektivität überprüfbar sind. Demgegenüber fließen bei der stochastischen Wahrscheinlichkeit subjektive Eingangsparameter ein, die im Rechenzyklus weitgehend objektiviert, d.h. überprüfbar werden. Im nebulösen Bereich sind schließlich die rein subjektiven Wahrscheinlichkeiten angesiedelt, die mit keinen Elementarereignissen als auch mit keinen objektiven Maßstäben verglichen werden können.

5.3.4 Subjektive Wahrscheinlichkeiten

Deshalb spricht man bei der Bildung einer subjektiven Wahrscheinlichkeit von einem intuitiven Vorgehen oder einem unvollkommenen Modell, dass durch weitere Informationen und Meinungen anderer Personen modifiziert und verbessert werden kann.²¹¹ Diese auf persönlicher Erfahrung und heuristischen Methoden aufbauende Glaubwürdigkeitsvorstellung ist in den meisten wirklichkeitsnahen Entscheidungssituationen anzunehmen.²¹² Zur Feststellung einer subjektiven Wahrscheinlichkeit kann einerseits die direkte, bei der der Entscheider unmittelbar zu einer Situation ein Urteil fällt, von der indirekten, bei der sich die Wahrscheinlichkeit aus den Handlungen des Entscheiders ergeben, unterschieden werden.²¹³ Zudem sind auch Wahrscheinlichkeitsurteile von Person zu Person, über gleichartige Entscheidungssituationen unterschiedlich, da sie möglicherweise über einen divergierenden Informationsgehalt verfügen oder andere Rückschlüsse ziehen.²¹⁴ Aus diesen Erklärungen heraus könnte angenommen werden, dass der Entscheider aus dieser Subjektivität heraus regelmäßig eine Fehlentscheidung trifft, deshalb fließt in die Bildung eines Wahrscheinlichkeitsurteils der Informationsstand der jeweiligen Person bzw. des Personenkreises, wenn im Plenum entschieden werden soll, wesentlich mit ein.²¹⁵ Resultierend aus dieser Hypothese ergibt sich die Frage: Wie viel Aufwand (Kosten) erfordert ein zusätzlicher Informationszugewinn, im Vergleich zum sich daraus ergebendem Nutzen?²¹⁶

Mit der Erläuterung der Entscheidungsbaumtypologie wird im nächsten Kapitel versucht, jedes Kriterium, über eine subjektive Wahrscheinlichkeitszuweisung, einer deterministischen Risikobetrachtung zu unterziehen.

²¹¹ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 222

²¹² Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 91

²¹³ ebd.

²¹⁴ ebd.

²¹⁵ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 91f

²¹⁶ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 92

6 Entscheidungsbaumtheorie

Die Konzeption eines Entscheidungsbaumes entwickelte sich daraus, dass sich aufgrund von gegenwärtigen Entscheidungen unter Unsicherheit, weitere zukünftige Entscheidungssituationen, durch enge gegenseitige Abhängigkeiten ergeben können.²¹⁷ Die Planung zukünftiger Maßnahmen stellt also die Basis für die Beurteilung gegenwärtiger Entscheidungen dar.²¹⁸ In diesem Zusammenhang ist es von zentraler Bedeutung, diese künftigen Aktionsmöglichkeiten zu erfassen und zu bewerten. Deshalb wird an dieser Stelle das Systems Engineering, eine Methodik des systemischen Denkens, aufgegriffen, da letztendlich diese eine gezielte Vorgehensweise zur Variantenbildung und der Analyse von Lösungen gewährleisten kann.

6.1 Konzipierung eines Entscheidungsbaumes

Grundsätzlich wird in Zustands- und in Entscheidungsbäume unterschieden, wobei letztere neben der Erwartungsstruktur des Entscheiders auch die möglichen Aktionen sowie die Endergebnisse aller Aktionsfolgen darstellen und damit als Erweiterung der Zustandsbäume gesehen werden.²¹⁹

Laux et al. sprechen von einem *Konzept der flexiblen Planung*, wodurch zukünftige Möglichkeiten, auch Pläne genannt, in Abhängigkeit der eingetretenen Umweltentwicklungen realisiert werden.²²⁰ Damit wird dieser Theorie eine fixe Chronologie aufgezwungen, in der Entscheidungen mit fortschreitendem Informationsgewinn (von links nach rechts) getroffen werden können. Mit dem Konzept der flexiblen Planung werden in Form von bedingten Plänen (Entscheidungsbaumstrukturen wie in Bild 6.1 dargestellt) künftige, ungewisse Aktionsmöglichkeiten (Ereignisse $x_{(ai,j; si,j)}$) und die zugehörigen Umweltentwicklungen (durch Wahrscheinlichkeitsbewertung) vorweggenommen.²²¹ Dies soll aber im Umkehrschluss nicht heißen, dass damit zukünftige Ereignisse determiniert, also vorbestimmt werden, sondern vielmehr als ein Aktionsspielraum zur Umsetzung optimaler Teilpläne, in Abhängigkeit der möglichen oder bereits eingetretenen Umweltbedingungen, gesehen werden kann.²²²

²¹⁷ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 261

²¹⁸ ebd.

²¹⁹ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 268

²²⁰ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 261ff

²²¹ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 262

²²² Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 267

Der in Bild 6.1 demonstrativ angeführte Entscheidungsbaum setzt sich aus einem Stammknoten S_0 von dem zwei Möglichkeiten ($a_{0,1}$, $a_{0,2}$), im Folgenden als Äste bezeichnet, ausgehen und in jeweils einen Verzweigungsknoten münden, der des Weiteren als Zufallsknoten bezeichnet wird, zusammen.²²³ An diesem Zufallsknoten können beide weiterfolgenden Äste zutreffen, da zum Zeitpunkt der Entscheidung S_0 noch ungewiss ist, welches der Ergebnisse tatsächlich eintritt. Deshalb werden die Möglichkeiten mit subjektiven Wahrscheinlichkeiten belegt, die die Eintrittswahrscheinlichkeit repräsentieren sollen.

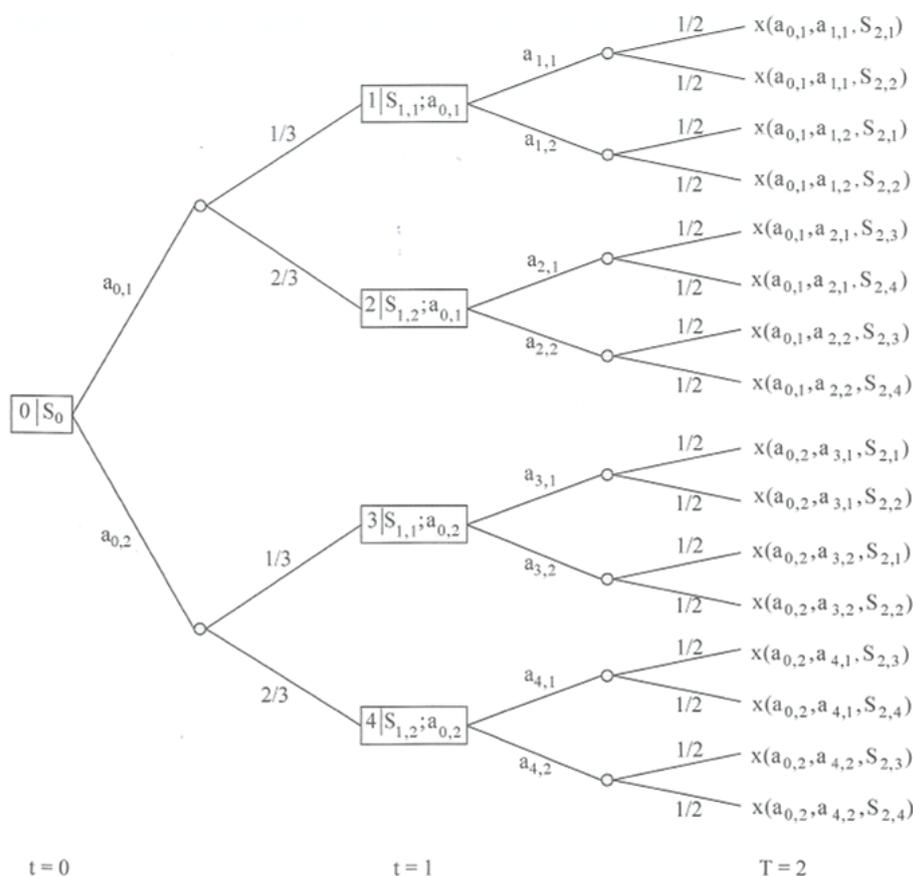


Bild 6.1 Allgemeine Darstellung eines Entscheidungsbaumes für zwei Entscheidungsebenen ($T = 2$)²²⁴

In Bild 6.1 werden diese Wahrscheinlichkeitsbewertungen in der ersten Stufe durch 1/3 bzw. 2/3, also 33,33 % und 66,67 % getroffen und müssen zusammen 100 % ergeben. Diese münden auf dem Entscheidungsweg, auch Pfad genannt, in einen Entscheidungsknoten, von dem aus immer nur ein optimaler Ast weiterverfolgt wird. An der Spitze bzw. der

²²³ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 269

²²⁴ LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 269

letzten Stufe ($T = 2$) des Baumes befinden sich nun die Ergebnisverteilungen in Form der summierten erwarteten Werte X mit den über die Pfadwahrscheinlichkeiten multiplizierten Wahrscheinlichkeiten, für jeden Pfad.

6.2 Berechnung der optimalen Strategie

Durch diese entstandene Baumstruktur können nun mehrstufige Entscheidungen, sogenannte Entscheidungsebenen, dargestellt werden.²²⁵

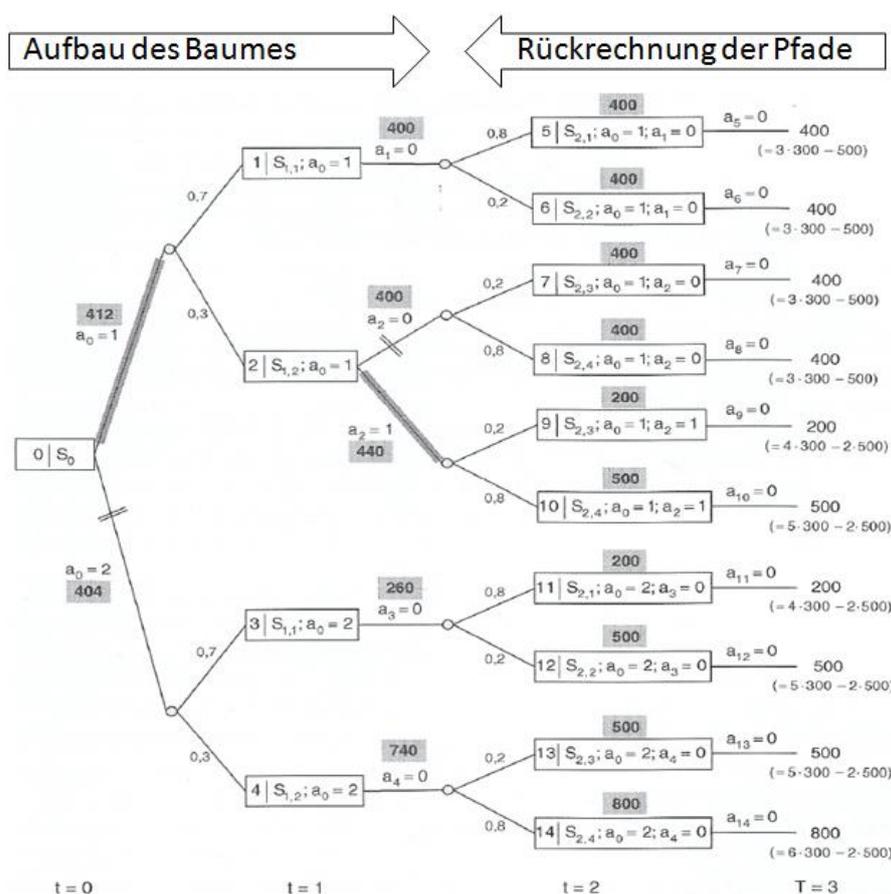


Bild 6.2 Konkretisierte Darstellung eines Entscheidungsbaumes für drei Entscheidungsebenen ($T = 3$)²²⁶

Schließlich kann daraus eine Kette von Handlungsalternativen, wie in Bild 6.2 durch starke Linien dargestellt, zusammen mit den damit verbundenen Umweltzuständen gebildet werden, die zu einem bestimmten

²²⁵ Vgl. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/entscheidungsbaum.html>. Datum des Zugriffs: 10.12.2014

²²⁶ Weiterentwickelt aus: LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 279

Ergebnis führen und damit eine optimale Strategie ausweisen.²²⁷ Diese kann durch retrogrades, stufenweises aufrollen des Entscheidungsproblems ermittelt werden.²²⁸ Das bedeutet, dass der Entscheidungsbaum von hinten, also von rechts nach links nach dem sogenannten Roll-Back-Verfahren rückaufgewickelt bzw. neu berechnet wird.²²⁹ Mit dem Roll-Back-Verfahren wird eine Rückwärtsrechnung vom letzten Entscheidungszeitpunkt zur Ausgangsentscheidung benannt, bei der die optimale Alternative in jeder Entscheidungsstufe ermittelt wird.²³⁰ Diese Erwartungswerte bilden wiederum die Grundlage für die Berechnung der nächsten Stufen, bis schließlich der Stammknoten erreicht wird. Dort wird dann die optimale Alternative auf Grundlage dieser Erwartungswerte gewählt, die zugleich die insgesamt optimale Wahl verkörpert.²³¹ Für das Beispiel in 6.2 bedeutet dies, dass sich ausgehend von den Knoten 9 und 10 mit den erwarteten Werten 200 und 500 durch die Gewichtung der Eintrittswahrscheinlichkeit von 20 % und 80 % ein Erwartungswert von 440 ergibt, der gegenüber jenem der Knoten 7 und 8 (400) höher ausfällt und somit weiterverfolgt wird. Bei der Stufe 1 wird dann mit den Erwartungswerten der Knoten 1 und 2 ein weiterer Erwartungswert der Stufe 1 berechnet ($400 \cdot 0,3 + 400 \cdot 0,7 = 412$). Dieser wird schlussendlich mit dem anderen aus dem Nebenast verglichen und daraus ein optimaler Pfad bestimmt.

In dieser Arbeit wurde eine spezielle Entscheidungsfindungssoftware der Palisade Corporation, mit der Entscheidungsbäume konstruiert und berechnet werden können, die nachfolgend vorgestellt wird, verwendet.

6.3 Verwendete Software zur Bildung von Entscheidungsbäumen

PrecisionTree²³³ ist ein Teil der Decision Tools Suite, ein Produkt der Palisade Corporation und funktioniert als Microsoft Excel Add-In. Die Decision Tools Suite beinhaltet einen umfangreichen Risiko- und Entscheidungsanalyse-Werkzeugsatz, bestehend aus den Programmen @Risk, PrecisionTree, Evolver, TopRank, StatTools und NeuronalTools. Mit Hilfe dieser Programme können zuvor erstellte Excel-Rechenmodelle

Die Palisade Corporation wurde 1984 in Ithaca, New York gegründet und ist Marktführer von Risikoanalyse- und Entscheidungsfindungssoftware,²³² neben dem Hersteller von Crystal Ball

²²⁷ Vgl. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/entscheidungsbaum.html>. Datum des Zugriffs: 10.12.2014

²²⁸ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 278

²²⁹ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 270ff

²³⁰ Vgl. KÜSTER SIMIC, A.: Theorie und Praxis der Unternehmensbewertung. <http://www1.uni-hamburg.de/Kapitalmaerkte/download/UnternehmensbewertungSoSe2004FolieH.pdf>. Datum des Zugriffs: 11.12.2014

²³¹ ebd.

²³² Vgl. LAMPENIUS, N.: Monte-Carlo-Simulation mit @Risk. Präsentation. S. Folie 3

²³³ Programmbezeichnung der Palisade Corporation; bedeutet in der wörtlichen Übersetzung Präzisionsbaum.

Des Weiteren wird in dieser Arbeit unter dem Begriff „PrecisionTree“ das Programm selbst und unter der Bezeichnung „Entscheidungsbaum“ die allgemeine Theorie der Baumstruktur verstanden.

auf spezielle Fragestellungen unter Unsicherheit analysiert werden. Durch das Programm PrecisionTree können Entscheidungs bäume, die die chronologischen und numerischen Einzelheiten einer Entscheidung darstellen sowie Zusammenhangsdiagramme, durch die spezielle Beziehungen zwischen den möglichen Ereignissen angezeigt werden können, angefertigt werden.²³⁴

6.3.1 Herkunft und bisherige Verwendung von PrecisionTree

Den Ursprung nahm die Anwendung „PrecisionTree“ in den Industriebranchen der staatlichen Verteidigung durch Kriegsspielmodellierung, der Technik, der Finanz- und Wertpapierwelt sowie im Versicherungswesen.²³⁵ Als weitere Anwendungsgebiete können der Energiesektor für Ölbohrentscheidungen oder aber auch die Gesundheitsbranche zur Neuproduktanalyse genannt werden.²³⁶ Dabei dient es als Hilfsmittel um vielschichtige und komplexe Entscheidungen visuell aufzugliedern und in weiterer Folge zu analysieren, sodass aus dieser Grundlage Entscheidungen unter mehr oder minder quantifizierten, meist subjektiven Wahrscheinlichkeiten, getroffen werden können.²³⁷ Diese Software bietet die Möglichkeit neben Entscheidungsbäumen auch sogenannte Zusammenhangsdiagramme anzufertigen. In dieser Arbeit liegt der Fokus auf die Erstellung von Entscheidungsbäumen und nicht auf die Erstellung von Zusammenhangsdiagrammen, da diese für die vorliegende Fragestellung als nicht praktikabel erachtet wurden. PrecisionTree eignet sich vor allem, um Entscheidungen besser zu strukturieren, detaillierter und damit nachvollziehbarer darzustellen und anderen gegenüber leichter erklärbar zu machen.²³⁸ Die Grundlage einer solchen Analyse basiert auf einem Ausgangsmodell, welches verschiedene Szenarien mit möglichen Auswirkungen beinhaltet und monetär bewertet.

6.3.2 Modellbildung in PrecisionTree

Wie in Kapitel 4 bereits eingehend dargebracht, stellt die Modellierung eine vereinfachte Nachbildung einer realen Situation dar und entspricht hier einem herkömmlichen Rechenmodell als Kalkulationstabelle in Excel. Dabei ist es von essentieller Bedeutung, die Ausgangsfragestellung sowie das Ziel präzise festzulegen, um das Modell korrekt ausrich-

²³⁴ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. ii

²³⁵ Vgl. <http://www.palisade.com/precisiontree/de/>. Datum des Zugriffs: 21.08.2014

²³⁶ ebd.

²³⁷ ebd.

²³⁸ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 21

ten zu können, sodass damit alle möglichen Entscheidungsoptionen berücksichtigt werden.

6.4 Einsatz von PrecisionTree

Im Zuge dieses Kapitels wird das Programm durch die Zuhilfenahme eines fiktiven Investitionsbeispiels erklärt.

6.4.1 Kalkulationstabelle in Excel

Die Kalkulationstabelle bildet den Ausgang einer jeden PrecisionTree-Simulation und im Allgemeinen auch jeder methodisch durchgeführten Entscheidungssituation.

Tabelle 6.1 Kalkulationsmodell der Investition A.I

Investition A.I	Jahre	Restwert	Einnahmen	Zahlungsstrom
Anfangsinvestition	9.200.000,00 €	0 -9.200.000,00 €	780.000,00 €	0,00 €
Eigenkapital	2.000.000,00 €	1 -9.200.000,00 €	783.900,00 €	764.294,19 €
Verzinsung Eigenkapital	1,00%	2 -8.435.705,81 €	787.819,50 €	748.904,63 €
Fremdkapital	7.200.000,00 €	3 -7.686.801,18 €	791.758,60 €	733.824,95 €
Verzinsung Fremdkapital	3,00%	4 -6.952.976,23 €	795.717,39 €	719.048,91 €
Mischzinssatz	2,57%	5 -6.233.927,32 €	799.695,98 €	704.570,39 €
VPI p.a.	0,50%	6 -5.529.356,93 €	803.694,46 €	690.383,41 €
		7 -4.838.973,53 €	807.712,93 €	676.482,09 €
		8 -4.162.491,44 €	811.751,49 €	662.860,68 €
		9 -3.499.630,76 €	815.810,25 €	649.513,55 €
		10 -2.850.117,21 €	819.889,30 €	636.435,17 €
		11 -2.213.682,04 €	823.988,75 €	623.620,13 €
		12 -1.590.061,91 €	828.108,69 €	611.063,14 €
		13 -978.998,77 €	832.249,24 €	598.758,98 €
		14 -380.239,78 €	836.410,48 €	586.702,58 €
Kapitalwert nach 15 Jahren:	781.351,74 €	15 206.462,80 €	840.592,54 €	574.888,94 €

Die Tabelle 6.1 zeigt das Ausgangsmodell einer Investitionsentscheidung Investition A.I auf Basis der Kapitalwertmethode. Das Ziel dieser Methode ist die Ermittlung des Kapitalwerts am Ende der Nutzungsdauer [n]. Dieser errechnet sich nach Gleichung 6.1, aus der Anfangsinvestition [I_0] (in der Berechnung meist als negativer Wert berücksichtigt) plus den Einnahmenüberschüssen jeder Periode $\{\sum_{i=1}^n (Einnahmen - Ausgaben)\}$ (hier durch Einnahmen bezeichnet), multipliziert mit einem Diskontierungssatz, der aus den Zinssätzen i herrührt, um damit den realen niedrigeren Zahlungsströmen in der Zukunft Rechnung zu tragen. Allgemein gilt die Gleichung:

$$\text{Kapitalwert} = I_0 + \sum_{i=1}^n (Einnahmen - Ausgaben) * (1 + i)^{-n} \quad (6.1)$$

Zur Vervollständigung seien auch in Tabelle 6.2 die Daten der Investitionsalternative B.I, die demselben Rechenschema folgen, angeführt.

Tabelle 6.2 Kalkulationsmodell der Investition B.I

Investition B.I		Jahre	Restwert	Einnahmen	Zahlungsstrom
Anfangsinvestition	7.200.000,00 €	0	-7.200.000,00 €	630.000,00 €	0,00 €
Eigenkapital	1.500.000,00 €	1	-7.200.000,00 €	633.150,00 €	617.205,52 €
Verzinsung Eigenkapital	1,00%	2	-6.582.794,48 €	636.315,75 €	604.670,89 €
Fremdkapital	5.700.000,00 €	3	-5.978.123,59 €	639.497,33 €	592.390,81 €
Verzinsung Fremdkapital	3,00%	4	-5.385.732,78 €	642.694,82 €	580.360,13 €
Mischzinssatz	2,58%	5	-4.805.372,65 €	645.908,29 €	568.573,77 €
VPI p.a.	0,50%	6	-4.236.798,87 €	649.137,83 €	557.026,78 €
		7	-3.679.772,09 €	652.383,52 €	545.714,30 €
		8	-3.134.057,79 €	655.645,44 €	534.631,56 €
		9	-2.599.426,23 €	658.923,66 €	523.773,89 €
		10	-2.075.652,35 €	662.218,28 €	513.136,73 €
		11	-1.562.515,62 €	665.529,37 €	502.715,59 €
		12	-1.059.800,03 €	668.857,02 €	492.506,09 €
		13	-567.293,94 €	672.201,31 €	482.503,94 €
		14	-84.790,00 €	675.562,31 €	472.704,91 €
Kapitalwert nach 15 Jahren:	851.019,81 €	15	387.914,91 €	678.940,12 €	463.104,90 €

Die Eingangsparameter werden durch die Anfangsinvestition selbst, dem Fremdfinanzierungs- und Eigenfinanzierungsanteil, sowie von dessen Verzinsung bestimmt. Aus diesen streuenden Zinssätzen wird der Mischzinssatz, mit der in 6.2 angeführter Gleichung, errechnet, der zur Diskontierung der Einnahmen, die im ersten Jahr mit 780.000 € für Szenario A und 630.000 € für Alternative B angenommen wurden, herangezogen wird.

$$\text{Mischzinssatz} = \frac{\text{EK} \cdot \text{Verzinsung EK} + \text{FK} \cdot \text{Verzinsung FK}}{\text{Gesamtkapital}} \quad (6.2)$$

Im Folgenden werden jeweils drei Szenarien nach diesem Schema für Investition A 9.200.000 € und drei für die Investitionsalternative B 7.200.000 €, mit der Variation der Zinssätze, entworfen. Tabelle 6.3 stellt eine Ergebnismatrix dar, in der die einzelnen Strategien, aufgelistet sind.

Tabelle 6.3 Tabellarische Zusammenstellung der Ausgangssituation (Ergebnismatrix)

Investition	Verzinsung EK	Verzinsung FK	Mischzins	Summe Zahlungsströme	Kapitalwert
Investition A.I	1,00%	3,00%	2,57%	9.981.351,74 €	781.351,70 €
Investition A.II	2,00%	3,00%	2,78%	9.821.996,94 €	621.996,90 €
Investition A.III	1,00%	4,00%	3,35%	9.424.618,81 €	224.618,80 €
Investition B.I	1,00%	3,00%	2,58%	8.051.019,81 €	851.019,80 €
Investition B.II	2,00%	3,00%	2,79%	7.927.853,46 €	727.853,50 €
Investition B.III	1,00%	4,00%	3,38%	7.597.242,39 €	397.242,40 €

Wie aus Tabelle 6.3 zu entnehmen ist, weist jede der Investitionsszenarien einen positiven Kapitalwert nach 15 Jahren aus. Dies bedeutet, dass sich nach dieser Zeit das Eigenkapital um den jeweils gewählten Zinssatz verzinst und die Investition insgesamt zu einem Gewinn geführt hat. Das Ergebnis dieser Methode hängt jedoch wesentlich von den angenommenen Zinssätzen ab, die aber einen weitstreuenden Charakter aufweisen.

Auf Grundlage dieser Berechnung würde man sich ohne eine weitere Betrachtung der vorherrschenden Situation einfach für die Variante mit

dem höchsten Kapitalwert also Investition B entscheiden. Diese Entscheidungsbildung ist jedoch unter unsicheren Annahmen entstanden und kann sich unter Umständen durch abweichende Parameter, als nachteilig entpuppen.

PrecisionTree bietet in dieser Wahlsituation daher die Möglichkeit, die Entscheidungsoptionen als Baumstruktur darzustellen und mit Wahrscheinlichkeiten zu gewichten um daraus Erwartungswerte zu generieren.

6.4.2 Entscheidungsbaumstruktur in PrecisionTree

In PrecisionTree können Werte einer Kalkulationstabelle mit dem Modell referenziert und somit verknüpft werden sodass bei einer etwaigen wertmäßigen Änderung das Modell stets aktualisiert wird. Durch diese Vielzahl an möglichen Optionen entsteht ein verzweigter Aufbau, der der Gestalt eines Baumes ähnelt. Die gesamte Struktur besteht aus Knoten und Zweigen, die im Dialogfenster in Bild 6.3, bearbeitet werden können. Bei den Knoten können die drei gebräuchlichsten Haupttypen:

- Entscheidungsknoten, dargestellt als grüne Quadrate,
- Zufallsknoten, dargestellt als rote Kreise und
- End- bzw. Ablaufknoten, dargestellt als blaue Dreiecke,

unterschieden werden.²³⁹

²³⁹ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 27

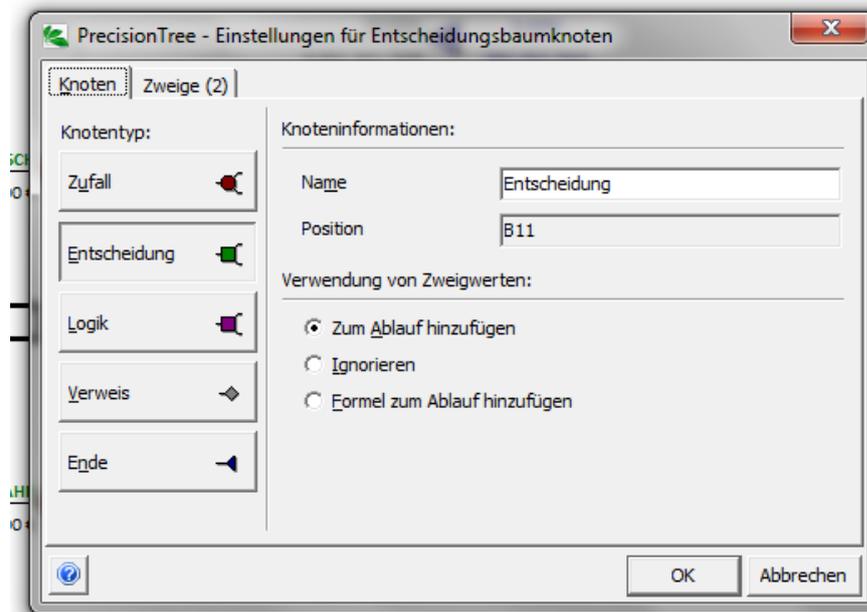


Bild 6.3 Benutzeroberfläche und Knoteneinstellungsfenster von PrecisionTree

Bei einem Entscheidungsknoten wird nur ein Pfad aller vorkommenden Zweige ausgewählt. Im Gegensatz dazu können bei einem Zufallsknoten alle Ereignisse bzw. weiteren Pfadzweige zutreffen. Mit dem Ablaufknoten wird der Baum beendet und zeigt den berechneten Wert und die zugehörige Wahrscheinlichkeit des jeweiligen Pfades an. Daneben gibt auch jeder Knoten den erwarteten Wert und/oder die entsprechende Bestimmtheit durch eine Wahrscheinlichkeit zurück.²⁴⁰

Des Weiteren findet auch der Logikknoten seine Anwendung darin, dass alle weiteren Entscheidungen, die vom Knoten ausgehen, durch die vom Nutzer eingegebenen Bedingungen wie bspw. „ist gleich“ oder „größer gleich“ getroffen werden.²⁴¹

Als fünfte Knotenart stellt der Verweisknoten eine Referenz von einem Unterbaum zu einem bestehenden, vom Aufbau her gleichen Baum her. Damit kann die Größe und die daraus resultierende Unübersichtlichkeit etwas eingedämmt bzw. der Baum dadurch vereinfacht werden indem er auf weitere Tabellenblätter in Excel aufgeteilt wird.²⁴²

²⁴⁰ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 64

²⁴¹ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 96

²⁴² Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 98

Darüber hinaus gibt es die Möglichkeit, Unterbäume bzw. gewisse Knoten auszublenden, um dadurch wichtigere Baumbereiche besser hervorzuheben.²⁴³

Als zusätzliche Option können bestimmte Zweige, unabhängig davon welchen Pfad PrecisionTree als optimal ansieht, vom Anwender erzwungen werden, auch wenn sie nicht als die beste Entscheidung angesehen wird.²⁴⁴

Die sogenannten Zweige verbinden die einzelnen Knoten in der gewünschten Chronologie miteinander. So stellt Bild 6.4 den Entscheidungsbaum des Demobeispiels dar. Man erkennt den Entscheidungsknoten, der mit den jeweiligen Investitionskosten belegt ist. Der weitere Pfad führt dann zu einem Zufallsknoten, bei dem verschiedene Zinssätze zu unterschiedlichen Zahlungsrückflüssen und somit zu unterschiedlichen Renditen führen.

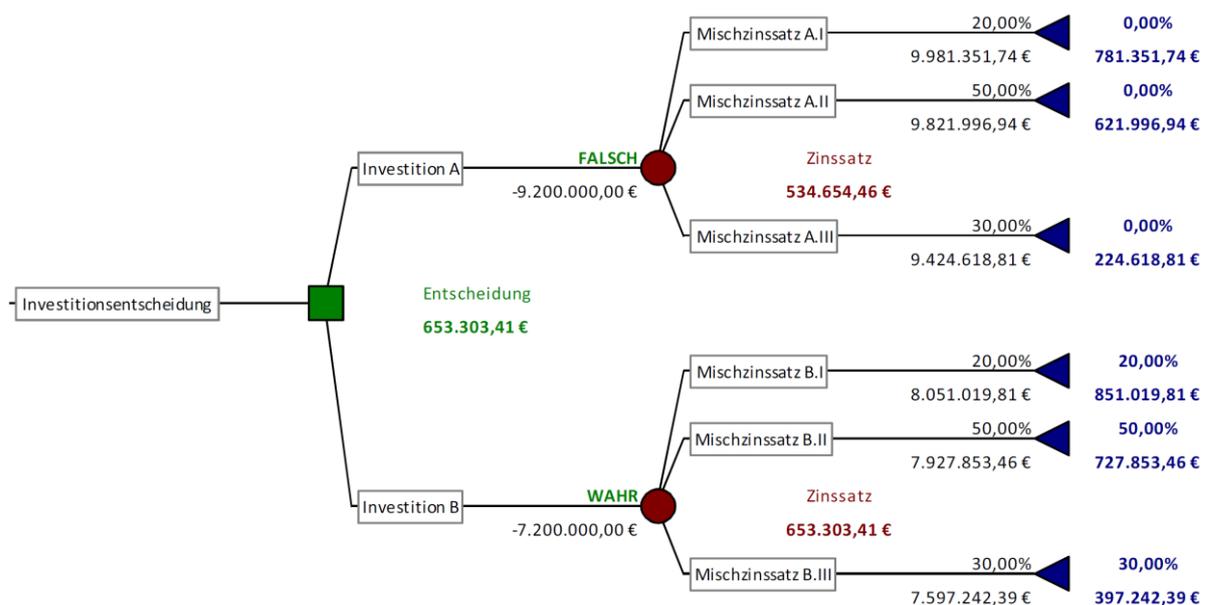


Bild 6.4 Entscheidungsbaum einer Investitionsentscheidungssituation

²⁴³ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 99

²⁴⁴ ebd.

Beim weiteren Entwurf der Entscheidungsbaumstruktur sollte darauf geachtet werden, dass:²⁴⁵

- der Entscheidungsweg sinngemäß chronologisch von links nach rechts verläuft,
- Entscheidungsknoten gegenseitig ausschließend definiert,
- Zufallsknoten insgesamt vollständig beschrieben sind und
- die Summe der Zweigwahrscheinlichkeiten an den Zufallsknoten immer 100 % beträgt.

Dieses Programm bietet demnach die Möglichkeit, verschiedene Szenarien, zu modellieren, unsicheren Ereignissen eine subjektive oder eine objektive Wahrscheinlichkeit sowie die gewonnenen Ergebnisse einer Entscheidungsanalyse zu unterziehen.

6.5 Analyseinstrumente

Nachdem die Baumstruktur mit den jeweiligen Werten feststeht, kann eine Entscheidungsanalyse vorgenommen werden. Dabei folgt das Programm bestimmten Mechanismen, durch die bspw. äquivalente Ergebnisse zusammengefasst und die zugehörigen Wahrscheinlichkeiten addiert werden sowie Baumreduzierungen durch Abgrenzungen von nachteiligen Entscheidungspfaden stattfinden.²⁴⁶

6.5.1 Entscheidungsanalyse

Als erste und sehr anschauliche Möglichkeit der Analyse können Risikoprofile erstellt werden. Dabei werden die deterministisch berechneten Ergebnisse aller Ablaufknoten mit deren jeweiligen Wahrscheinlichkeiten als eine diskontinuierliche (diskrete) Dichteverteilung, wie es Bild 6.5 zeigt, dargestellt.

²⁴⁵ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 29ff

²⁴⁶ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 33

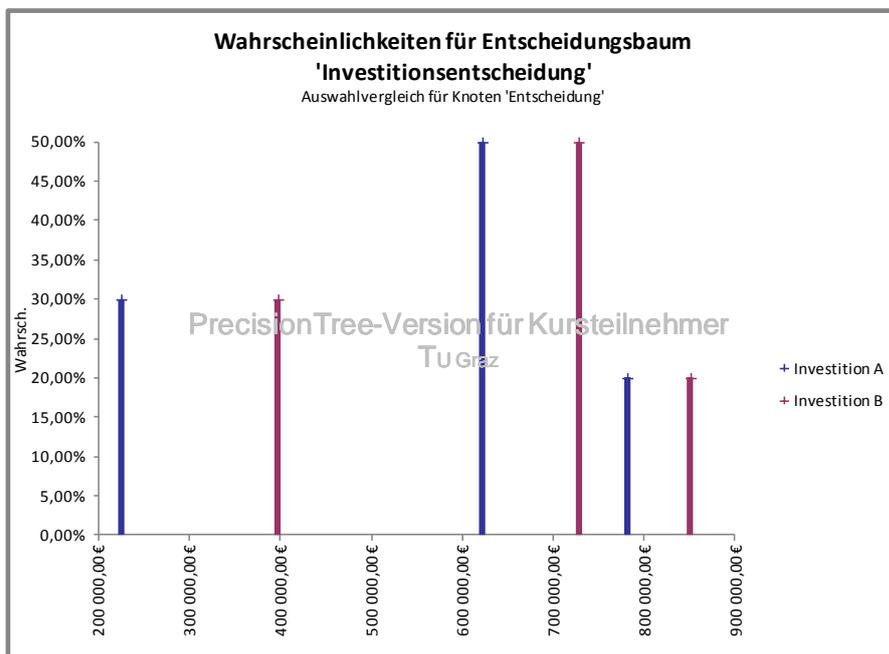


Bild 6.5 Diskontinuierliches Wahrscheinlichkeitsdiagramm des Demobeispiels

Man sieht die drei möglichen monetär bewerteten Ereignisse für Variante A in blau und für Variante B in rot, mit ihrer jeweiligen Auftretenswahrscheinlichkeit. Die Grafik lässt sich insofern interpretieren, als dass bei Wahl der Investition A, diese mit 30%iger Wahrscheinlichkeit den niedrigsten Kapitalwert erzielt und im Gegenzug bei Wahl der Investition B, diese mit 20%iger Wahrscheinlichkeit einen insgesamt höheren Wert als die Investitionsvariante A erreicht.

Darauf aufbauend kann ein Summendiagramm, dargestellt in Bild 6.6, erstellt werden, in dem die einzelnen Wahrscheinlichkeiten mit den Ergebniswerten nacheinander aufsummiert werden und in Summe die kumulierten 100 % Wahrscheinlichkeit je Variante erreichen. Zusätzlich können daraus auch Bandbreiten aller möglichen Ereignisse, wie in Bild 6.6 dargestellt, eingetragen werden.

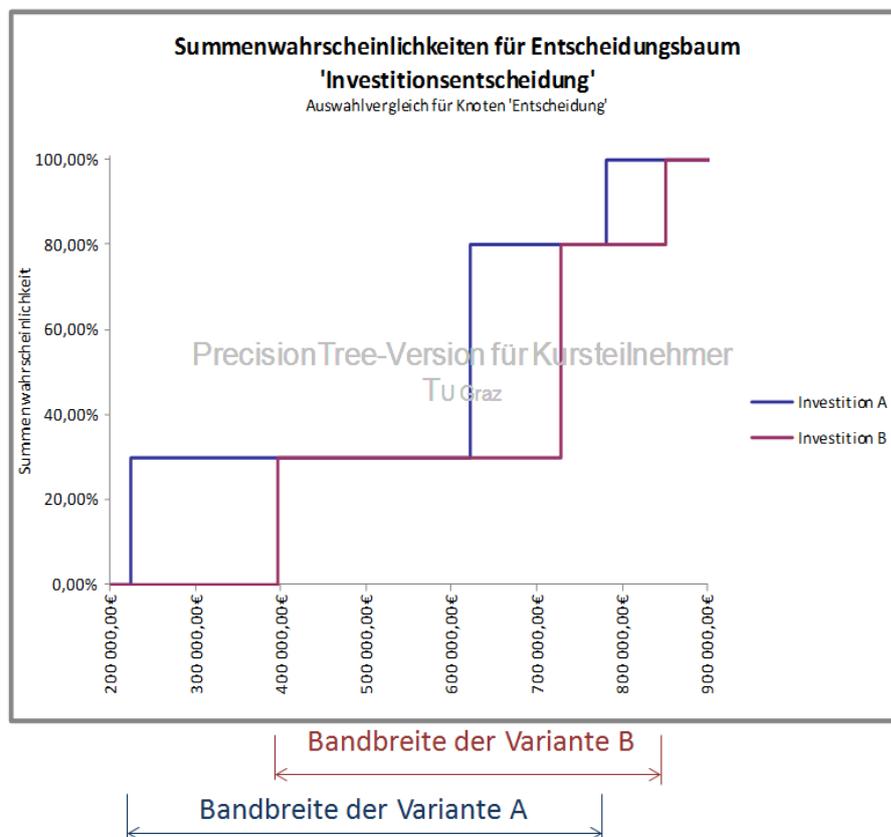


Bild 6.6 Summendiagramm des Demobeispiels

Daraus resultierend, liefert PrecisionTree eine statistische Auswertungstabelle, wie sie Tabelle 6.4 zeigt, die die Minima und Maxima, sowie die Mittelwerte und Standardabweichungen der Varianten, aus der diskontinuierlichen Verteilung in Bild 6.5 ausgibt.

Tabelle 6.4 Statistische Auswertung des Demobeispiels

Statistiken	Investition A	Investition B
Mittelwert	534 654,46 €	653 303,41 €
Minimum	224 618,81 €	397 242,39 €
Maximum	781 351,74 €	851 019,81 €
Modus	621 996,94 €	727 853,46 €
Std. Abweichung	211 714,18 €	173 975,24 €
Schiefe	-0,5906	-0,6236
Wölbung	1,7628	1,7583

Neben dem Risikoprofil kann auch ein Richtlinienvorschlag erstellt werden. Durch diesen Vorschlag werden Entscheidungsknoten in dem Sinne reduziert, als dass nur der optimale Pfad, wie in Bild 6.7, angezeigt wird.

Bei den Zufallsknoten werden hingegen alle weiteren Zweige weitergeführt, weil ja jedes beliebige Zufallsereignis eintreten könnte.²⁴⁷

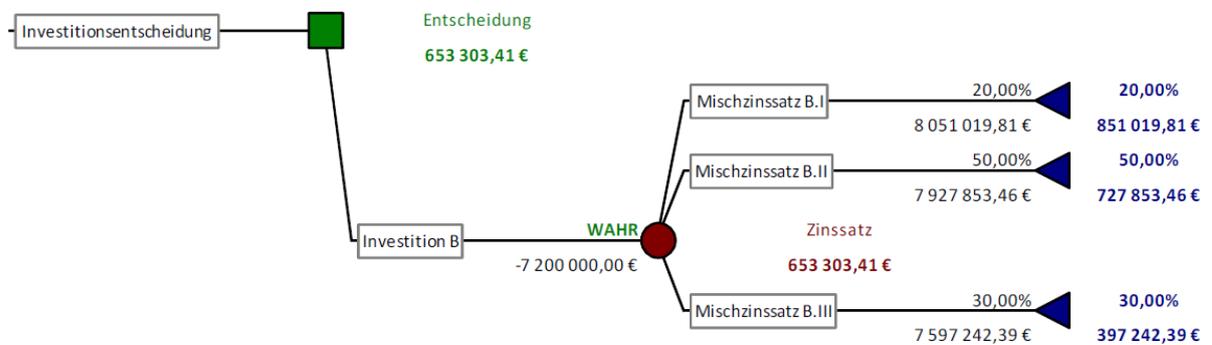


Bild 6.7 Optimaler Entscheidungsbaum des Demobeispiels

Darüber hinaus kann auch eine Entscheidungstabelle, wie sie Tabelle 6.5 zeigt generiert werden, die an jedem angetroffenen Entscheidungsknoten die optimale Auswahl, deren Auftretenswahrscheinlichkeiten sowie den Vorteil der richtigen Auswahl gegenüber den anderen Varianten ausgibt.²⁴⁸

Tabelle 6.5 Entscheidungstabelle des Demobeispiels

Entscheidung	Optimale Auswahl	Auftretenswahrscheinlichkeit	Vorteil der richtigen Auswahl (beste – schlechteste Auswahl)	Vorteil der richtigen Auswahl (beste – zweitbeste Auswahl)
'Entscheidung' (B11)	Investition B	100,00%	118 648,95 €	118 648,95 €

PrecisionTree:
Dies ist die Wahrscheinlichkeit, dass Sie mit dieser Entscheidung zu tun haben, sofern Sie alle optimalen Auswahlen vornehmen.

PrecisionTree:
Dies stellt bei dieser Entscheidung die Differenz in den 'erwarteten Werten' zwischen optimaler und zweitbesten Auswahl dar.

PrecisionTree:
Dies stellt bei dieser Entscheidung die Differenz in den 'erwarteten Werten' zwischen optimaler und schlechtester Auswahl dar.

6.5.2 Empfindlichkeitsanalyse einseitig

In der zweiten Stufe der Entscheidungsanalyse kann eine Sensitivitätsanalyse durch Variation der unbestimmten Variablen durchgeführt werden. Diese eignet sich besonders dann, wenn man die Auswirkung der Änderung einer oder mehrerer Variablen des Modells untersuchen möchte.²⁴⁹ Zudem kann man durch Schwellenwerte bestimmen, ab wann

²⁴⁷ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 37

²⁴⁸ ebd.

²⁴⁹ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 39

sich die optimale Entscheidung an einem Entscheidungsknoten ändert, um das Modell und die damit verbundenen Wirkungsweisen insgesamt besser verstehen zu können.²⁵⁰

Einseitiges Empfindlichkeitsdiagramm

Zunächst kann eine einseitige Empfindlichkeitsanalyse durchgeführt werden, bei der entweder ein Ablaufwert oder die jeweilige Auftretenswahrscheinlichkeit auf mögliche Auswirkungen der veränderten Parameter untersucht wird.²⁵¹ D.h., dass zunächst nur eine einzige Eingabe verändert werden kann. Die Variation geschieht über die Definition von Minimal- und Maximalwerten als Divergenz zum Basisfallwert, wie es Bild 6.8 zeigt. Die Basiszelle für den Eigenkapitalzinssatz ist C5 aus der Grundtabelle (linkes Dialogfenster) und wird mit dem Startknoten des Modells „Zinssatz für Investition A“ Zelle C7 (rechtes Dialogfenster) referenziert.

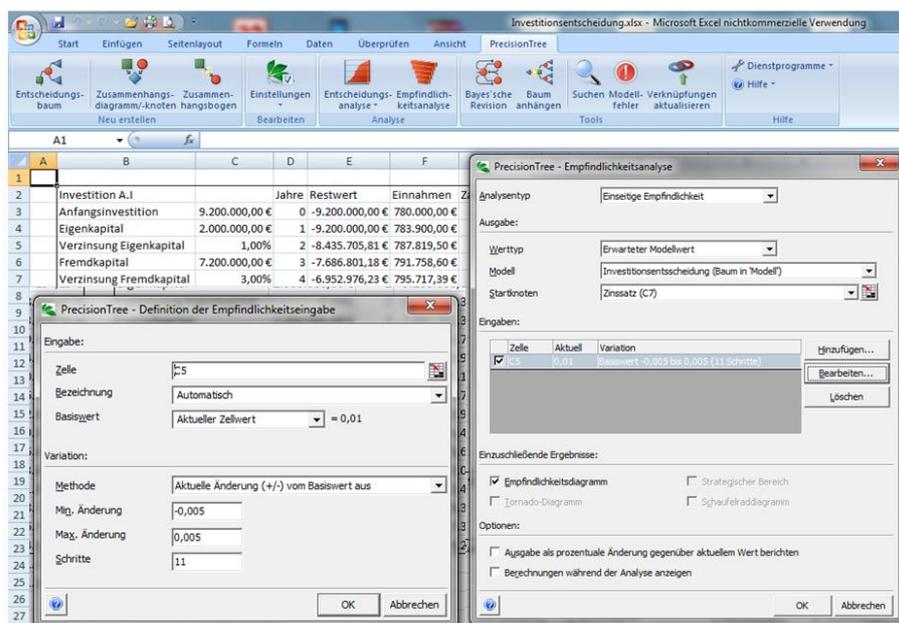


Bild 6.8 Einstellungsoptionen der einseitigen Empfindlichkeitsanalyse bei Variation der Verzinsung des Eigenkapitals

PrecisionTree berechnet zunächst mit dem Basisfallwert den Erwartungswert, auch als Basisfall des Modells genannt, ersetzt in weiterer Folge den Basisfallwert mit den Werten (Anzahl der Schritte) aus dem angegebenen Bereich von den minimalen bis hin zu den maximalen

²⁵⁰ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 39

²⁵¹ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 40

Werten und vergleicht schlussendlich diese neuen Erwartungswerte mit jenem aus dem Basisfall.²⁵²

In diesem Beispiel wird exemplarisch zunächst die Verzinsung des Eigenkapitals um $\pm 0,5\%$ vom Basiswert variiert und es sollen 11 gleichverteilte Ergebnisse innerhalb der Bandbreite ausgegeben werden. Als Startknoten wird die Zelle C7, des Astes der Investitionsvariante A gewählt. Die Auswahl kann man auf das ganze Modell erweitern oder aber auch auf einen Unterbaum beschränken. Das Ergebnis kann schließlich als ein Diagramm dargestellt werden, indem die abgeänderten Werte auf der x-Achse und der jeweils erwartete Wert auf der y-Achse illustriert wird. Eine höhere Verzinsung senkt den erwarteten Wert, wie er in Bild 6.9 dargestellt und bezeichnet wird, was dazu führt, dass die Variante als nachteilig zu bewerten wäre.

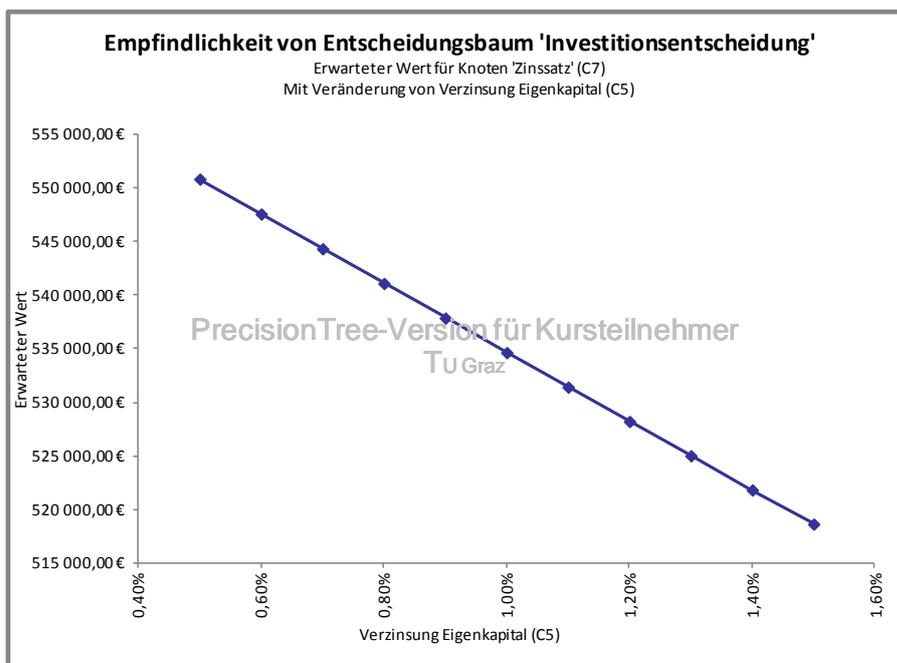


Bild 6.9 Diagramm der einseitigen Empfindlichkeitsanalyse bei Variation der Verzinsung des Eigenkapitals für Investitionsvariante A

Der Autor weist an dieser Stelle darauf hin, dass in dieser Arbeit zwischen den Begrifflichkeiten Erwartungswert und erwarteter Wert, wie in Kapitel 5 definiert, unterschieden wird. Im Programm werden diese Bezeichnungen jedoch inkonsistent verwendet, da in Bild 6.9 die Ordinate als erwarteter Wert, richtigerweise aber als Erwartungswert bezeichnet werden müsste. Dazu zeigt Tabelle 6.6 die zugehörigen Diagrammdaten.

²⁵² Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 40f

Tabelle 6.6 Diagramm Daten der einseitigen Empfindlichkeitsanalyse des Demobeispiels für Investitionsvariante A

Empfindlichkeits- daten	Eingabe		Ausgabe	
	Wert	Änderung (%)	Wert	Änderung (%)
1	0,50%	-50,00%	550 872,06 €	3,03%
2	0,60%	-40,00%	547 613,29 €	2,42%
3	0,70%	-30,00%	544 362,17 €	1,82%
4	0,80%	-20,00%	541 118,67 €	1,21%
5	0,90%	-10,00%	537 882,78 €	0,60%
6	1,00%	0,00%	534 654,46 €	0,00%
7	1,10%	10,00%	531 433,70 €	-0,60%
8	1,20%	20,00%	528 220,48 €	-1,20%
9	1,30%	30,00%	525 014,77 €	-1,80%
10	1,40%	40,00%	521 816,56 €	-2,40%
11	1,50%	50,00%	518 625,82 €	-3,00%

Dieselbe Tendenz zeigt sich auch bei der Variation der Verzinsung des Fremdkapitals für beide Varianten, was auch als schlüssig angesehen wird.

Strategisches Empfindlichkeitsdiagramm

Dazu kann auch die Option „Strategischer Bereich“ gewählt werden, durch die die möglichen Wahlsituationen bei variierenden Parametern gegenübergestellt werden und damit entscheidungsrelevante Areale ausgebildet werden können. Diese Methode funktioniert gleich wie eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zweier Verfahren nach dem Prinzip der Break-Even-Analyse. Sie ermöglicht die Aussage: „*Ab welchem veränderten Parameter auf der x-Achse, sich eine Variante als günstiger als die Andere herausstellt.*“, graphisch darzustellen. Für das Demonstrationsbeispiel ergibt sich aus Bild 6.10 kein Überschneidungsbereich, was zur Folge hat, dass Investition B bei jedem Fremdkapitalzinssatz den höheren Kapitalwert liefert und somit, bei Variation der Fremdkapitalzinsen, der Investition A vorzuziehen ist. Die Zelle C7 bezieht sich wiederum auf den Zellbereich der Grundtabelle.

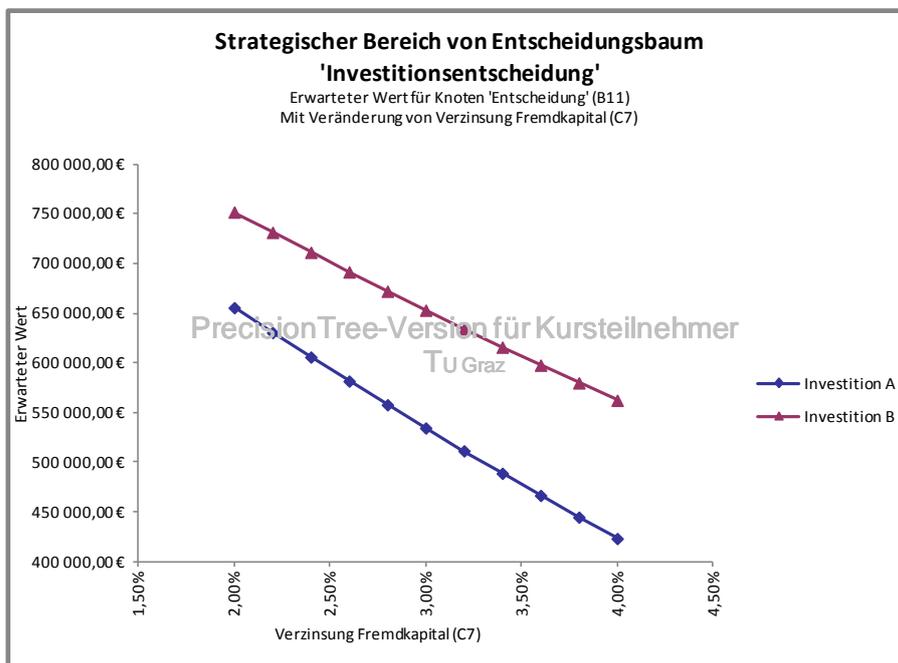


Bild 6.10 Diagramm „Strategischer Bereich“ der einseitigen Empfindlichkeitsanalyse bei Variation der Verzinsung des Fremdkapitals für beide Investitionsvarianten

Tornadodiagramm

Als weiteres Analysetool der Sensitivitätsanalyse lässt sich ein Tornadodiagramm, wie es Bild 6.11 zeigt, anfertigen. Darin werden die Ergebnisse aus mehreren Eingabevariationen miteinander verglichen.²⁵³ Die Auswirkungen der Änderungen auf den Erwartungswert werden dabei als Diagrammbalken als Resultat der Berechnung der Extremwerte beschrieben, wobei der längste Balken die größte Auswirkung auf den Erwartungswert besitzt.²⁵⁴ Damit stellt das Tornadodiagramm jene Parameter dar, die einen wesentlichen Einfluss auf die Ergebnisse haben und auf die besonders Acht zu geben sind.²⁵⁵

Auch hier gilt wieder der Hinweis, dass vom Programm der erwartete Wert als auch der Erwartungswert synonymhaft verwendet wird.

²⁵³ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 42

²⁵⁴ ebd.

²⁵⁵ ebd.

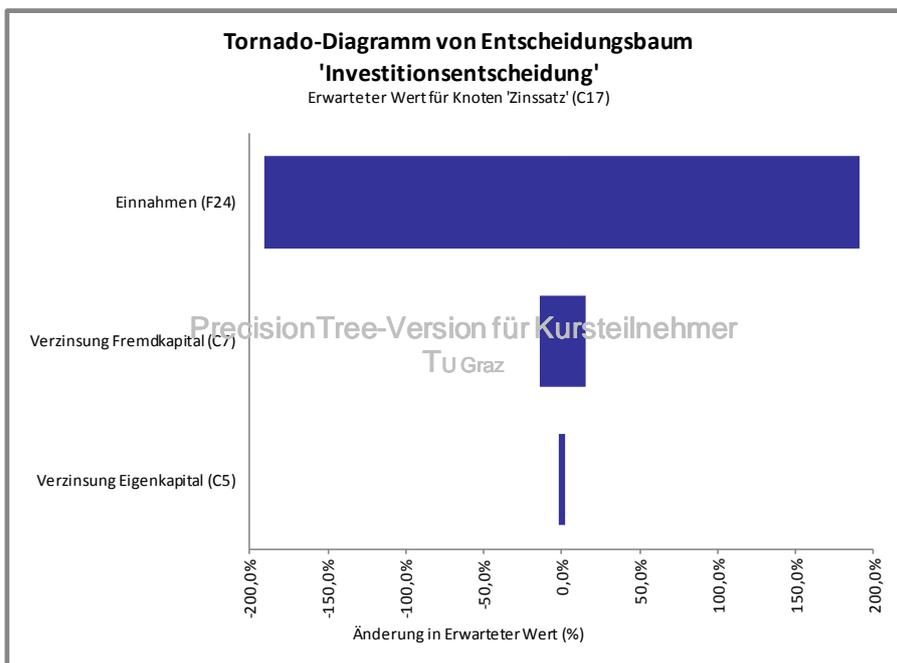


Bild 6.11 Tornadodiagramm bei Variation der Einnahmen, sowie der Verzinsung des Eigen- und Fremdkapitals für Investitionsvariante B

Man sieht, dass sich der Parameter der Einnahmen als sehr sensible und jene des Fremdkapitalzinses als wesentlich geringere, aber nicht außer Acht zu lassende Einflussgröße auf den Erwartungswert darstellt. Zur Veranschaulichung der wertmäßigen Veränderung sei Tabelle 6.7 angeführt.

Tabelle 6.7 Diagrammdaten des Tornadodiagramms für Investitionsvariante B

Tornadodiagrammdaten	Minimum			Maximum			
	Ausgabe		Eingabe	Ausgabe		Eingabe	
Rang	Eingabename	Wert	Änderung (%)	Wert	Wert	Änderung (%)	Wert
1	Einnahmen (F24)	-593 252,69 €	-190,81%	530000	1 899 859,50 €	190,81%	730000
2	Verzinsung Fremdkapital (C7)	562 547,92 €	-13,89%	0,04	752 143,86 €	15,13%	0,02
3	Verzinsung Eigenkapital (C5)	640 917,79 €	-1,90%	0,015	665 828,86 €	1,92%	0,005

Schauflerraddiagramm (Spiderdiagramm)

Als letztes Analyseinstrument der einseitigen Empfindlichkeitsanalyse kann das Schauflerraddiagramm angeführt werden. Es stellt eine Weiterentwicklung zum Tornadodiagramm dar und bildet Linien ab, aus deren Steigungen die Ergebnisänderung der jeweiligen veränderten Eingaben hervorgeht.²⁵⁶ Das Schauflerraddiagramm zeigt im Gegensatz zum Tor-

²⁵⁶ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 43

radodiagramm proportionale und auch unproportionale Änderungsverläufe der Einflussgrößen, die aus dem Tornadodiagramm nicht ersichtlich sind.²⁵⁷ Für diesen Diagrammtyp sollten maximal bis zu fünf Eingaben dargestellt werden, da die Grafik ansonsten unübersichtlich werden würde.²⁵⁸

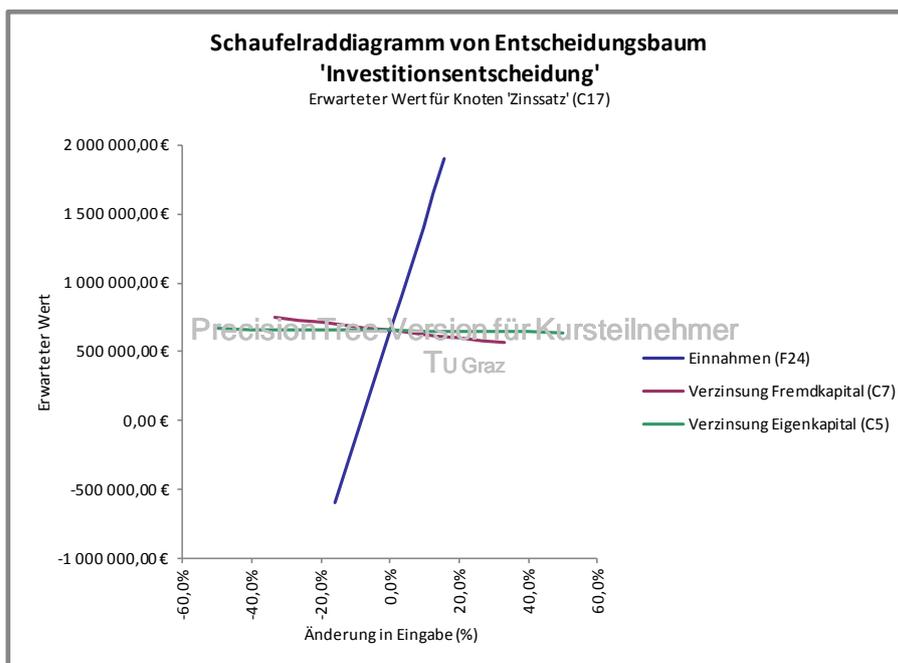


Bild 6.12 Schaufelraddiagramm bei Variation der Einnahmen sowie der Verzinsung des Eigen- und Fremdkapitals für Investitionsvariante B

Das Schaufelraddiagramm in Bild 6.12 zeigt, dass durch die große Steigung, der Erwartungswert am empfindlichsten gegenüber den Einnahmen reagiert, da die Variation dieses Faktors einen weitstreuenden Charakter bei der Eingabe aufweist. Das bedeutet, dass eine kleine Abweichung der Einnahmen zu einer großen Änderung des Erwartungswerts im Modell führen.

6.5.3 Empfindlichkeitsanalyse zweiseitig

Durch die zweiseitige Empfindlichkeitsanalyse können, im Gegensatz zur einseitigen Empfindlichkeitsanalyse, die Auswirkungen von zwei Eingaben auf das Entscheidungsmodell untersucht werden.²⁵⁹ Für diese Art der Analyse ist es wichtig, sinnrichtige Wertepaare auszuwählen, die in

²⁵⁷ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 43

²⁵⁸ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 44

²⁵⁹ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 45

der Berechnung direkt oder indirekt zusammenhängen, da ansonsten das Ergebnis keine Aussagekraft besitzt. PrecisionTree berechnet alle möglichen Wertekombinationen und gibt diese in einem 3D-Diagramm graphisch aus.²⁶⁰ Die ausgewählten Eingabewertvariationen werden auf der y- bzw. x-Achse und die zugehörigen Erwartungswerte auf der z-Achse ausgegeben und als Fläche miteinander verbunden, wie es das Bild in 6.13 zeigt.²⁶¹

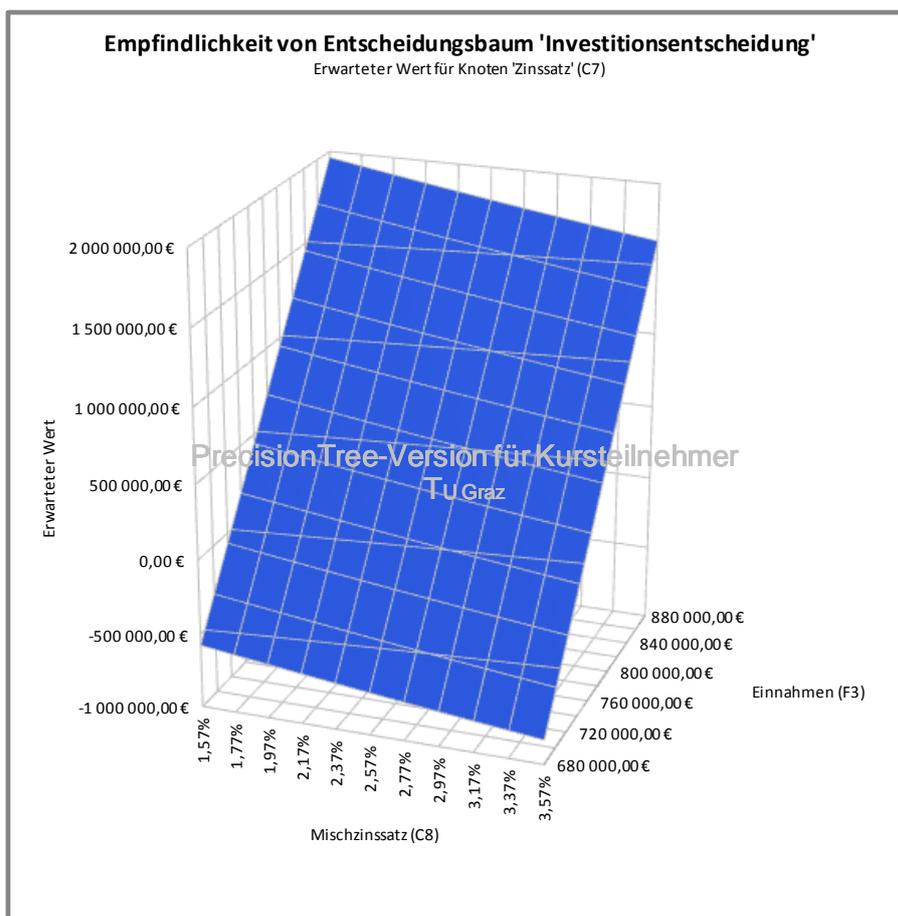


Bild 6.13 Zweiseitiges Empfindlichkeitsdiagramm bei Variation der Verzinsung und der Investitionseinnahmen für Investitionsvariante A

Die dreidimensionale Grafik aus Bild 6.13 zeigt, dass sich bei Variation der Einnahmen bei gleichzeitiger Änderung der Zinslage der Erwartungswert unterschiedlich stark ändert. Man kann sich nun verschiedene denkbare Punkte aus dem Diagramm auswählen und man erhält den zugehörigen Erwartungswert und kann diesen mit dem Wert der anderen Variante vergleichen.

²⁶⁰ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 45

²⁶¹ ebd.

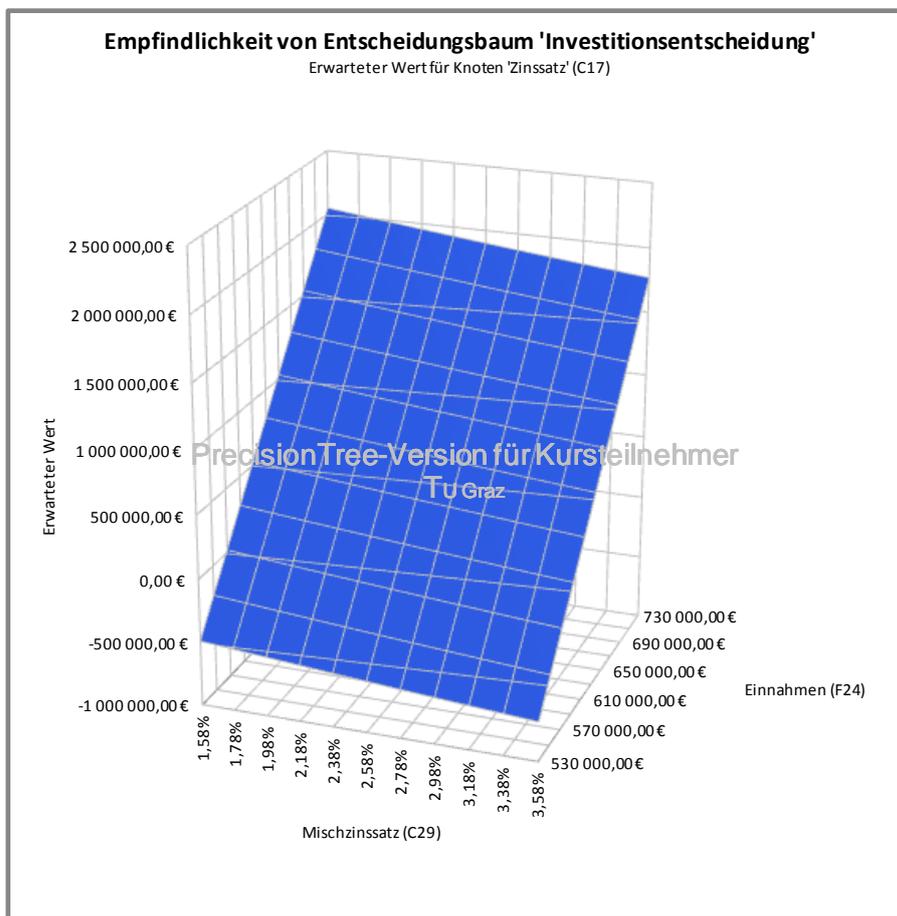


Bild 6.14 Zweiseitiges Empfindlichkeitsdiagramm bei Variation der Verzinsung und der Investitionseinnahmen für Investitionsvariante B

In den beiden Diagrammen in Bild 6.13 und 6.14 wurden die einflussreichsten Parameter gegenübergestellt. Geht man vom Basisfall (3 % Verzinsung und Einnahmen von 780.000 € bzw. 630 000 €) aus, so erhält man für Investitionsvarianten den exakten Erwartungswert aus dem Basisfall.

Diese dreidimensionalen Grafiken sollen dabei helfen, ein Gefühl dafür zu entwickeln, wie das Modell auf gewisse Änderungen reagiert, um es in weiterer Folge noch besser verstehen zu können. Schließlich sollen die beiden Grafiken dem Anwender zeigen, wie sensibel die einzelnen Parameter auf eine Änderung reagieren und sollen nicht als statische Entscheidungsfindung dienen.

Strategisches Bereichsdiagramm

Als zweite Darstellungsart wird das strategische Bereichsdiagramm angeführt. Es stellt eine Weiterentwicklung zum strategischen Diagramm der einseitigen Empfindlichkeitsanalyse dar und zeigt diejenigen Bereiche durch Wertekombinationen, die bei Variation von zwei Eingaben die optimale Entscheidung darstellen.²⁶²

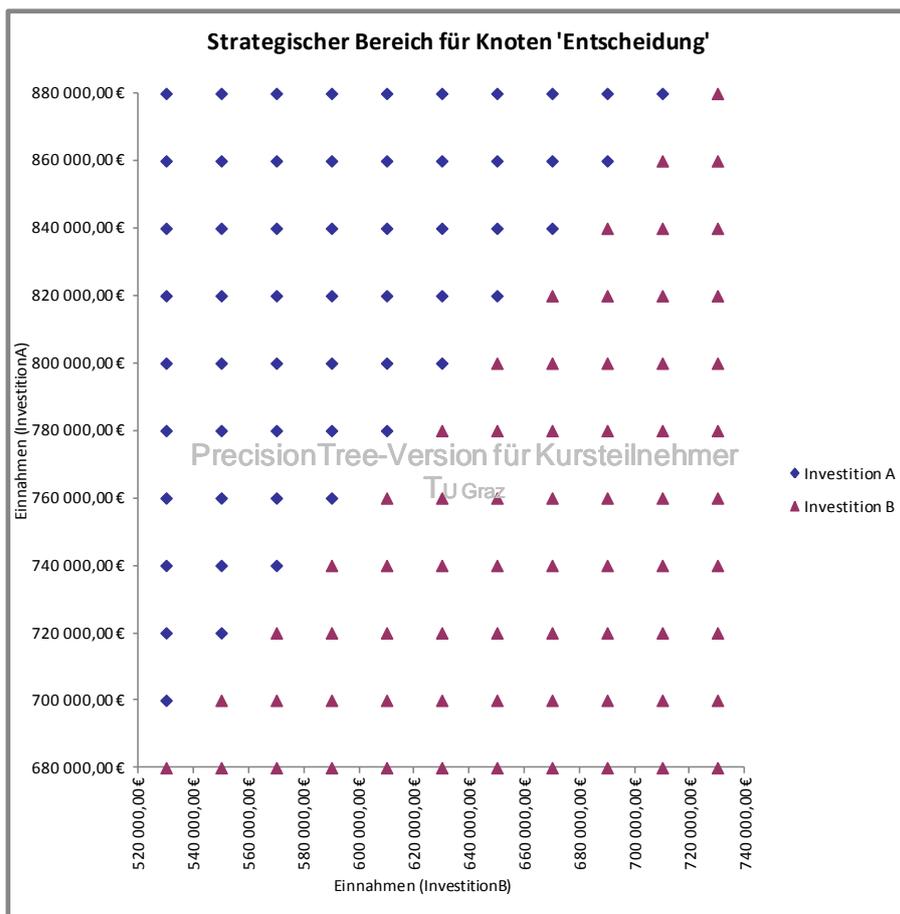


Bild 6.15 Strategischer Bereich bei Variation der Einnahmen für Varianten A und B des Demobeispiels

Die Grafik in Bild 6.15 zeigt strategische Bereiche an, in denen je nach Einnahmenkonstellation die beste Entscheidung durch Symbole gekennzeichnet wird. Die Ordinate und die Abszisse sind mit den zuvor eingegebenen Bandbreiten, der je nach Investitionsvariante unterschiedlichen Einnahmen, belegt. Das Ergebnis dieser Darstellungsform lässt sich so interpretieren, als dass bei Einnahmen von bspw. 650 000 € bei Investition B, in gleicher Weise mindestens Einnahmen von 820 000 € bei In-

²⁶² Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 46

vestition A folgen müssen, sodass Investition A vorteilhafter als Investition B ist.

Mit diesen Ausführungen der Analyseinstrumente lassen sich nachstehende Vor- bzw. Nachteile anführen:

Die Vorteile in der Anwendung der Entscheidungsbaumsystematik liegen darin, dass eine grundsätzliche Entscheidungssituation durch die Baumstruktur ausgestaltet werden kann, was eine neue und oftmals übersichtlichere Sichtweise zur gegenständlichen Fragestellung darlegt. Darüber hinaus können die möglichen Entscheidungsoptionen und Zufallsergebnisse, von jedem Knoten aus bis zum letzten weiterverfolgt werden, sodass alle weiteren Szenarien und deren Auswirkungen eingesehen werden können.²⁶³ Die Software PrecisionTree ermöglicht zudem eine umfassende Entscheidungsanalyse, die sehr hilfreich im Herausfiltern von unsicheren Parametern sein kann und leistet damit einen wesentlichen Beitrag, zur Aufbereitung der Entscheidung.

Ein wesentlicher Nachteil liegt vor allem in der Größe der Baumstruktur, die sich bei umfangreicheren, komplexeren Entscheidungssituationen exponentiell vergrößern kann. Deshalb ist es auch nötig, verschiedene Vereinfachungen zu treffen, über die dann das Modell erheblich übersichtlicher gestaltet werden kann.

6.6 Generelle Berechnungsmodi des Entscheidungsbaummodells

Grundsätzlich verwendet PrecisionTree für die Berechnung der Knotenwerte die Summenmethode. Das bedeutet, dass die Zweigwerte auf den Ästen einfach addiert und die Wahrscheinlichkeiten eines Pfades multipliziert werden und diese dann den Ablaufwert für den Endknoten ergeben, wie es in Bild 6.4 der Fall ist.²⁶⁴

Daneben können die Zweigwerte im DecisionTree-Modell²⁶⁵ mit den Zellen eines externen Excel-Modells, wie es auch in der herkömmlichen Excel-Anwendung üblich ist, miteinander verknüpft werden.²⁶⁶ Damit kann eine ursprünglich statisch ausgelegte Excel-Kalkulationstabelle, in der lediglich das Ergebnis einer einzelnen Option berechnet wird, in eine dynamische, sich verändernde Tabelle, mit mehreren möglichen Ausgangsszenarien ausgebildet werden. Das bedeutet, dass der Baum in das Berechnungsschema der Kalkulationstabelle „eingepflanzt“ wird.

²⁶³ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 32

²⁶⁴ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 95

²⁶⁵ Mit DecisionTree-Modell wird die Entscheidungsbaumstruktur selbst benannt.

²⁶⁶ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 95

Dadurch bietet sich auch die Möglichkeit, weitere Informationen in den Baum einzubringen, wie es in Bild 6.16 dargestellt ist, wodurch dieser wiederum größer und umfangreicher wird. Der Vorteil dieser Berechnungsvariante liegt darin, dass der Baum durch weitere Knoten und Optionsfolgen erweitert werden kann, ohne die Kalkulationstabelle zu ändern.²⁶⁷

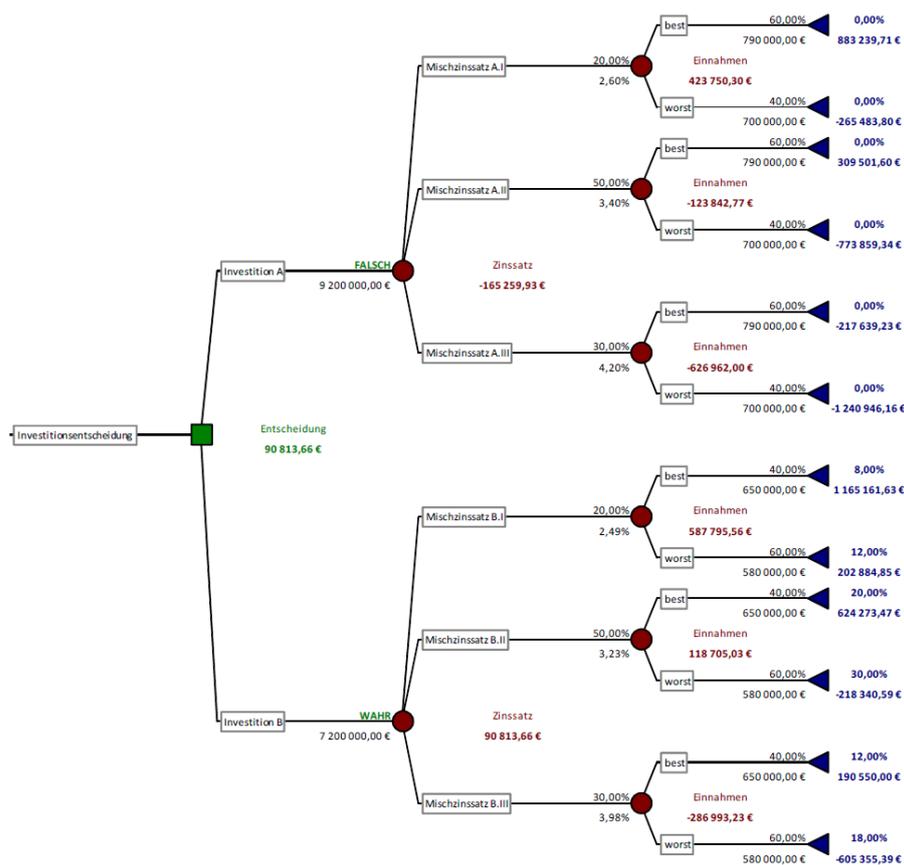


Bild 6.16 Berechnungsmethode „Verknüpfter Baum“ in PrecisionTree

Vergleicht man nun den Baum in Bild 6.4 und jenen in Bild 6.16, so sieht man, dass bei der letztgenannten Baumstruktur eigene Zweigabschnitte für Zinssätze und der Einnahmen gebildet werden können, was den Vorteil mit sich bringt, dass die Kalkulationstabelle selbst wesentlich vereinfacht und damit verkleinert wird. Durch diese Methode, werden in PrecisionTree die Werte der Kalkulationstabelle durch die Zweigwerte aus der Baumstruktur ersetzt und das darin festgemachte Berechnungsschema mit den neuen Werten simuliert. Dazu können einzelne Pfade geändert und mit einer anderen, alternativen Formel berechnet werden.²⁶⁸ Diese

²⁶⁷ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 113

²⁶⁸ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 110

neu definierte Formel gilt dann nur für den gewählten Ablaufknoten des Pfades. Neben Zweigwerten kann auch auf Zweigwahrscheinlichkeiten eines auf dem Pfad befindlichen Knotens durch den Befehl „Branch-Pro(„Knotenname“)“ operatorisch verwiesen werden.²⁶⁹

Als dritte Möglichkeit kann in den Modelleinstellungen die Methode der Ablaufformel gewählt werden, die den Ablaufwert bzw. den Wert des Endknotens mit Hilfe einer vom Anwender programmierten Formel, die Zweigverweise enthält, zu errechnen (siehe Bild 6.17).²⁷⁰

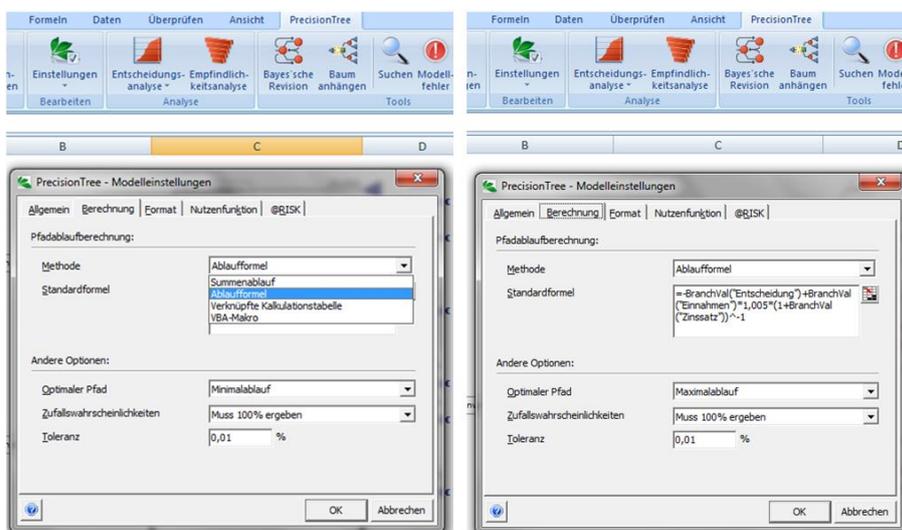


Bild 6.17 Weitere Berechnungsmethode „Ablaufformel“ in PrecisionTree

Die vierte Möglichkeit, den Berechnungsalgorithmus zu steuern, besteht darin, ein VBA-Makro zu entwickeln, auf die hier nicht weiter eingegangen wird.

In dem in Bild 6.17 dargestellten Dialogfenster sind weitere Registerkarten angeführt. In der „Allgemeinen“ ist der Name des Baumes eingetragen, im Reiter „Berechnung“ können die vorhin beschriebenen Berechnungsmethoden für die Pfadablaufberechnung ausgewählt und in der Dritten „Format“ kann das Zahlenformat der Werte und der Wahrscheinlichkeiten allgemein definiert werden. In der Berechnungsregisterkarte können weitere Optionen wie bspw. Minimal- oder Maximalablauf gewählt werden. Je nachdem wählt PrecisionTree diejenigen Entscheidungsknoten, die den kleineren oder den größeren Erwartungswert zurückgeben.

²⁶⁹ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 111

²⁷⁰ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 95

6.7 Wahrscheinlichkeitsumkehrung durch die Bayes'sche Revision

Darüber hinaus kann auch die Abfolge eines Entscheidungsprozesses umgekehrt werden, um dadurch der Situation gerecht zu werden, bei der zwei voneinander abhängige Zufallsereignisse auch in umgekehrter Reihenfolge stattfinden können.²⁷¹ Es wird demzufolge das nachstehende, vom vorhergehenden Ereignis beeinflusst und damit treten auch unterschiedliche, neue Wahrscheinlichkeitsverteilungen jener auf. Dieser Effekt kann durch den Satz von Bayes, auch als Bayes'sches Theorem bezeichnet, mathematisch erklärt werden.

Dabei gilt es zunächst Anfangswahrscheinlichkeiten, durch die nur ein Ereignis für sich bewertet wird, bspw. $P(A)$, $P(B)$ zu definieren, um daraus bedingte, folgerechte Wahrscheinlichkeiten $P(A|B)$, zu berechnen.²⁷³ Konkret bedeutet dies, dass die bedingte Wahrscheinlichkeit $P(A|B)$ (berechnet durch Gleichung 6.3)²⁷⁴, durch das Ereignis A unter der Bedingung, dass B bereits eingetreten ist, zustande gekommen ist.²⁷⁵

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) \cdot P(A)}{P(B|A) \cdot P(A) + P(B|\bar{A}) \cdot P(\bar{A})} \quad (6.3)$$

Bei der Konstruktion von Entscheidungsbäumen in PrecisionTree kann es vorkommen, dass im Entscheidungspfad bzw. im Ablauf einer Entscheidung nacheinander folgende Zufallsknoten voneinander abhängen. Dazu bietet PrecisionTree die Möglichkeit, den Entscheidungsweg umzukehren, d.h., dass der Entscheidungsbaum umgedreht wird und die Zweige mit neuen bedingten Wahrscheinlichkeiten belegt werden.²⁷⁶ Als Voraussetzung müssen jedoch ausschließlich Zufallsknoten definiert sein und der Baum muss zudem eine Symmetrie aufweisen.

Zum besseren Verständnis sei ein Beispiel angeführt.

Aus einer Datenerhebung geht hervor, dass 5 % der Bevölkerung an einer Krankheit leidet. Durch einen Test wird die Krankheit zu 85 % richtig diagnostiziert. Jedoch wird die Krankheit in 10 % der Fälle diagnostiziert, obwohl die Testperson nicht krank ist. Nun stellt sich die Frage, wie hoch denn die Wahrscheinlichkeit ist, dass der Patient positiv getestet wird und auch tatsächlich krank ist?

Zunächst werden die Daten in geordneter Darstellung in die Tabelle 6.8 eingetragen.

Der Satz von Bayes besagt, dass zwischen den Wahrscheinlichkeiten zweier Ergebnisse $P(A|B)$ und der umgekehrten Form $P(B|A)$ ein Abhängigkeitsverhältnis besteht.²⁷²

²⁷¹ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 214

²⁷² Vgl. <http://matheguru.com/stochastik/36-satz-von-bayes.html>. Datum des Zugriffs: 18.12.2014

²⁷³ ebd.

²⁷⁴ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 217

²⁷⁵ Vgl. <http://matheguru.com/stochastik/36-satz-von-bayes.html>. Datum des Zugriffs: 18.12.2014

²⁷⁶ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 214

Tabelle 6.8 Zusammenfassung des Demobeispiels Krankheit

	krank (5%)	nicht krank (95%)
positiver Test	85%	10%
negativer Test	15%	90%

Diese Daten lassen sich des Weiteren in einen Entscheidungsbaum, wie in Bild 6.18 dargestellt, konvertieren. Die Wahrscheinlichkeiten auf den Ästen wurden einer Notation unterzogen, die als Leitlinien zur Berechnung dienen sollten.

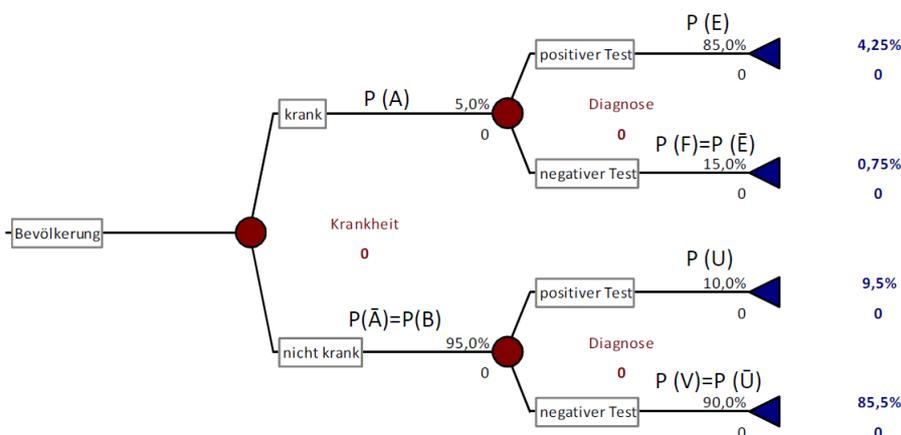


Bild 6.18 Entscheidungsbaum des Demobeispiels Krankheit

Der Entscheidungsbaum fächert nun alle in Betracht kommenden Szenarien auf. Er zeigt, dass die kranken 5 % der Bevölkerung durch einen Test zu 85 % erfasst, demzufolge aber zu 15 % nicht erfasst werden können. Die anderen 95 %, die in Wirklichkeit nicht krank sind, werden in 10 % der Fälle positiv getestet, demgegenüber werden 90 % richtigerweise negativ getestet. Diese Wahrscheinlichkeiten drücken jedoch nur deren isoliertes Auftreten aus, ohne das andere Ereignis mit einzubeziehen. Deshalb kann die oben angeführte Frage mithilfe des Bayes'schen Theorems beantwortet werden. Wenn nun jemand positiv getestet wird, und auch tatsächlich krank ist, ergibt sich die Wahrscheinlichkeit aus Gleichung 6.4 zu:

$$P(A|E) = \frac{P(E|A)*P(A)}{P(E|A)*P(A)+P(U|\bar{A})*P(\bar{A})} = \frac{0,85*0,05}{0,85*0,05+0,1*0,95} = 30,9 \% \quad (6.4)$$

Die nächste Frage ist, wie hoch denn die Wahrscheinlichkeit ausfällt, bei der Personen negativ getestet werden, aber in Wirklichkeit trotzdem krank sind?

$$P(A|F) = \frac{P(F|A)*P(A)}{P(F|A)*P(A)+P(V|\bar{A})*P(\bar{A})} = \frac{0,15*0,05}{0,15*0,05+0,9*0,95} = 0,87 \% \quad (6.5)$$

Die weiteren Wahrscheinlichkeiten der Fälle in denen die Personen gesund sind und positive oder negative Testergebnisse folgen, können nach demselben Schema berechnet werden.

In PrecisionTree müssen die neuen Zweigwerte nicht manuell errechnet werden. Es gibt dazu den Befehl „Bayes’sche Revision“, durch die der Baum auf einfache Weise umgedreht werden kann und die neuen Wahrscheinlichkeiten automatisch ermittelt werden können. Dazu zeigt Bild 6.19 den umgekehrten Baum mit den gedrehten Szenarien und zugehörigen Werten.

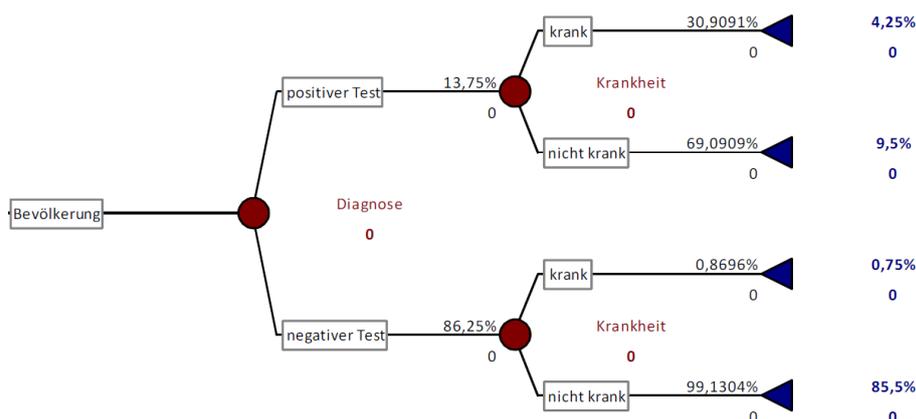


Bild 6.19 Umgedrehter Baum mit den Zweigwahrscheinlichkeiten

In den nächsten beiden Kapiteln werden Nutzenfunktionen, die es einerseits ermöglichen Entscheidungen von Entscheidungsträgern mit sog. Risikonutzenfunktionen zu bewerten sowie die Verknüpfung mit @Risk beschrieben, durch die eine objektivierte Quantifizierung von Risiken und Chancen erreicht werden kann.

6.8 Nutzenfunktionen

Ursprünglich kommt der Begriff der Nutzenfunktion aus dem Teilgebiet der Mikroökonomie der Volkswirtschaftslehre, durch die versucht wird, die Präferenzen bzw. das Kaufverhalten der Konsumenten von verschiedenen Konsumgütern, auch als Konsumgüterbündel bezeichnet, dadurch abzubilden, als dass bei einer Gütermengenerhöhung eine damit verbundene Nutzensteigerung für den Verbraucher eintritt.²⁷⁷ Sie wird in der Wirtschaftssoziologie als eine eindeutige Zuordnung von bewerteten Gegenständen oder Entscheidungsergebnissen zu reellen Zahlen, die die Wertschätzung dieser ausdrücken soll, bezeichnet.²⁷⁸

²⁷⁷ Vgl. STIASSNY, A.: Begleitliteratur: Grundkurs in Mikro und Makroökonomik. www.wu.ac.at/iqv/mitarbeiter/stiassny/grundkursmima.pdf. Datum des Zugriffs: 22.09.2014

²⁷⁸ Vgl. <http://www.wirtschaftslexikon24.com/d/nutzenfunktion/nutzenfunktion.htm>. Datum des Zugriffs: 22.09.2014

6.8.1 Abgrenzung der Indifferenzkurve von der Nutzenfunktion

Grundsätzlich gilt es die Begrifflichkeiten der Indifferenzkurven und der Nutzenfunktionen zu trennen. Sind zwei Güterbündel bzw. zwei Zielgrößen Z_1 und Z_2 einer Entscheidungssituation gegeben, so können mit Hilfe von Indifferenzkurven die Präferenzvorstellungen des Entscheiders dargestellt werden.²⁷⁹ Auf einer solchen Kurve kommen alle Zielgrößenkombinationen zu liegen, gegenüber denen sich der Entscheider indifferent verhält, d.h. dass er alle Kombinationen als gleich gut bzw. als gleichwertig ansieht.²⁸⁰ Indifferenzkurven können einen konvexen Verlauf (steigend), wie es die Kurvenscharen in Bild 6.20 oben und unten zeigen, einen konkaven (fallend) oder auch linearen Verlauf, Bild 6.20 mitte links, annehmen.

Streng konvexe Verläufe bringen zum Ausdruck, dass wenn eine Zielgröße (Z_1) um einen bestimmten Betrag (ΔZ_1) steigt, so muss die andere Zielgröße (Z_2) um einen kleineren Betrag (ΔZ_2) fallen, damit wieder das Gleichgewicht hergestellt ist.²⁸¹ Es stellt sich nun für den Entscheider die Frage, wie viele Einheiten er bereit ist, von (Z_2) „aufzugeben“, um Einheiten der Zielgröße 1 zu „erkaufen“.²⁸²

In Bild 6.20 sind einige Kurvenscharen von Indifferenzkurven zur Veranschaulichung angeführt. In der ersten Reihe links ist ein Konsument bereit, auf mehr Sicherheit für mehr Motorleistung, im Gegensatz zur rechten Grafik, zu verzichten.²⁸³ In der zweiten Reihe linker Hand ist es dem Konsumenten egal ob er mehr Butter und weniger Margarine erhält, der subjektive Nutzen ist immer derselbe. Rechts sieht man, dass ein zusätzlicher rechter Schuh keinen weiteren Nutzenzuwachs bringt.

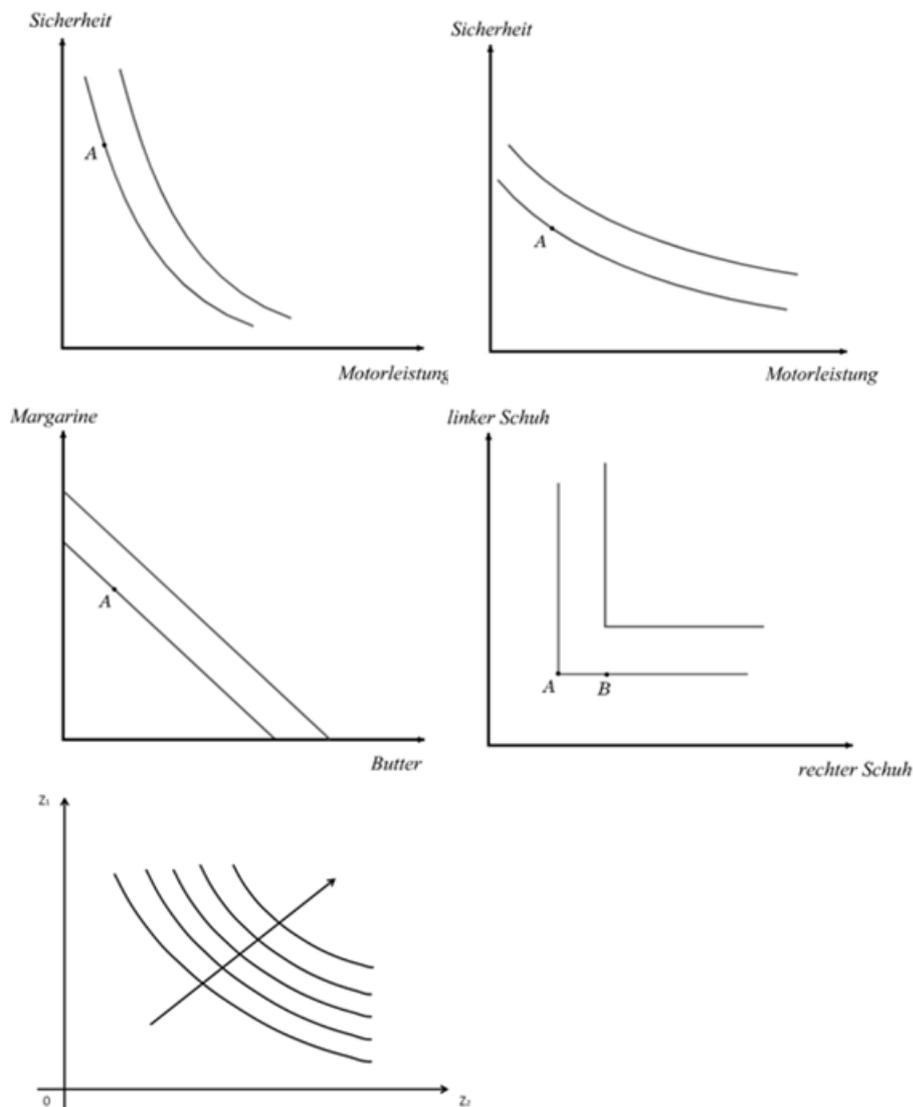
²⁷⁹ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 62

²⁸⁰ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 63

²⁸¹ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 65

²⁸² ebd.

²⁸³ Vgl. STIASSNY, A.: Begleitliteratur: Grundkurs in Mikro und Makroökonomik. www.wu.ac.at/iqv/mitarbeiter/stiassny/grundkursmima.pdf. Datum des Zugriffs: 22.09.2014

Bild 6.20 Beispiele für Indifferenzkurvenscharen^{284 285}

Dabei gilt, je weiter oben rechts eine Indifferenzkurve in der Kurvenschar zu liegen kommt, desto günstigere Zielgrößenkonstellationen können zustande kommen.²⁸⁶ Dementsprechend wird dadurch impliziert, dass auch der Nutzen ein höherer ist. Mit der Einführung eines Nutzenniveaus erfolgt der Konnex zur Nutzenfunktion, durch die die Präferenzen durch eine algebraische Funktion $U(z_1, z_2)$ dargestellt werden können.²⁸⁷

²⁸⁴ STIASSNY, A.: Begleitliteratur: Grundkurs in Mikro und Makroökonomik. www.wu.ac.at/iqv/mitarbeiter/stiassny/grundkursmima.pdf. Datum des Zugriffs: 22.09.2014

²⁸⁵ LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 63

²⁸⁶ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 63

²⁸⁷ Vgl. STIASSNY, A.: Begleitliteratur: Grundkurs in Mikro und Makroökonomik. www.wu.ac.at/iqv/mitarbeiter/stiassny/grundkursmima.pdf. Datum des Zugriffs: 22.09.2014

Man kann sich die Nutzenfunktion U wie eine Flächenfunktion $f(x, y)$, wie sie in Bild 6.21 dargestellt ist, vorstellen, die jeder Zielgrößenkombination einer Indifferenzkurvenschar (Höhenschichtlinien) ein Nutzenniveau bzw. Nutzenhöheniveau in der 3. Dimension zuweist.²⁸⁸

U steht für Utility, die englische Bezeichnung des Nutzens

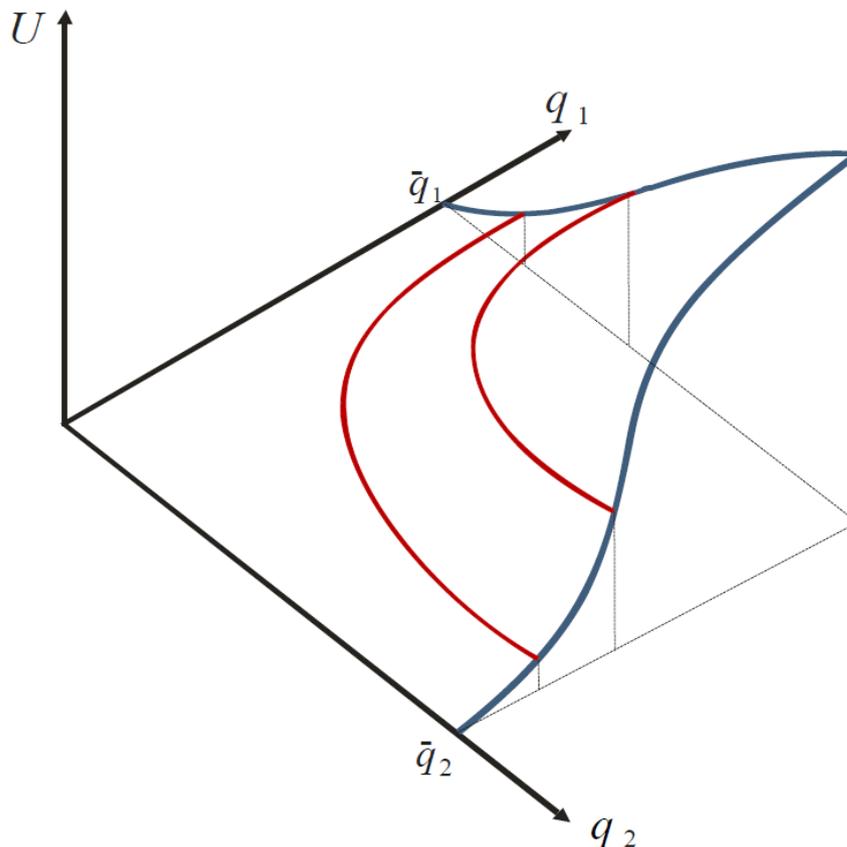


Bild 6.21 Darstellung von Indifferenzkurven (rot) zur Bildung von Nutzenfunktionen $U(q_1, q_2)$ in blau²⁸⁹

Diese Systematik der Nutzenfunktion kann mit jener Vorgehensweise in PrecisionTree insofern kombiniert werden, als dass eine Entscheidung nicht nur auf den Erwartungswert, sondern auf den Erwartungswert des daraus resultierenden Nutzens – den Erwartungsnutzen – gestützt werden kann.²⁹⁰ Durch bestimmte Nutzenfunktionen werden die Ablaufwerte des Modells in andere Messwerte, sogenannte erwartete Nutzenwerte konvertiert, durch die die Risikobereitschaft des Entscheidungsträgers in

²⁸⁸ Vgl. STIASSNY, A.: Begleitliteratur: Grundkurs in Mikro und Makroökonomik. www.wu.ac.at/iqv/mitarbeiter/stiassny/grundkursmima.pdf. Datum des Zugriffs: 22.09.2014

²⁸⁹ STIASSNY, A.: Begleitliteratur: Grundkurs in Mikro und Makroökonomik. www.wu.ac.at/iqv/mitarbeiter/stiassny/grundkursmima.pdf. Datum des Zugriffs: 22.09.2014

²⁹⁰ Vgl. WERKL, M.: Risiko- und Nutzenverhalten in der Bauwirtschaft; Eine Entscheidungstheoretische Betrachtung im institutionenökonomischen Kontext; Dissertation. S. 83

die Entscheidungsanalyse mit einbezogen werden kann.²⁹¹ Zunächst muss jedoch eine adäquate Nutzenfunktion, die die Präferenzen des Entscheiders abbildet, ausgewählt werden um nach der Berechnung diejenige Alternative wählen zu können, die den höchsten Erwartungsnutzen liefert.²⁹² Für die Modellierung der Präferenzen eines Entscheiders stehen grundsätzlich viele mathematische Funktionen zur Verfügung, jedoch stellt sich bei der Verwendung dieser immer die Frage nach der sinnvollen Anwendung. Man muss dabei wissen, was bestimmte Funktionen durch deren Einsatz am Ergebnis bewirken. In diesem Zusammenhang wird auf die Arbeit von Werkl²⁹³ verwiesen, der die Bezeichnung der Risikonutzenfunktion einführt und die damit bedeutsamsten Nutzenfunktionen anführt.

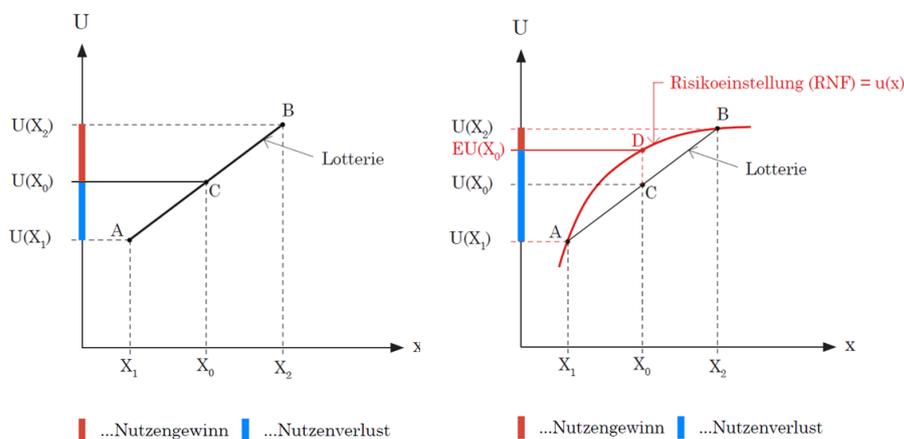


Bild 6.22 Risikonutzenfunktionen; links: linear risikoneutral, rechts: konkav risikoavers bzw. risikoscheu²⁹⁴

Werkl beschreibt die Funktionsweise von Risikonutzenfunktionen (RNF) anhand eines Lotteriebeispiels bei dem eine Person vor der Wahl steht daran teilzunehmen und einen Vermögenszuwachs X_2 zu lukrieren oder einen Vermögensverlust X_1 in Kauf zu nehmen. Die linke Grafik in Bild 6.22, stellt eine lineare Risikonutzenfunktion dar, durch die risikoneutrale Entscheider abgebildet werden, die Entscheidungen streng nach dem Erwartungswert treffen und somit das Risiko des Verlustes mit der Chance des Gewinns gleichsetzen.²⁹⁵ Im Gegensatz dazu zeigt die rechte Grafik in Bild 6.22, eine logarithmische Funktion, die das Entschei-

²⁹¹ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 145

²⁹² Vgl. WERKL, M.: Risiko- und Nutzenverhalten in der Bauwirtschaft; Eine Entscheidungstheoretische Betrachtung im institutionenökonomischen Kontext; Dissertation. S. 84

²⁹³ WERKL, M.: Risiko- und Nutzenverhalten in der Bauwirtschaft; Eine Entscheidungstheoretische Betrachtung im institutionenökonomischen Kontext; Dissertation. S. 70ff

²⁹⁴ WERKL, M.: Risiko- und Nutzenverhalten in der Bauwirtschaft; Eine Entscheidungstheoretische Betrachtung im institutionenökonomischen Kontext; Dissertation. S. 85f

²⁹⁵ Vgl. WERKL, M.: Risiko- und Nutzenverhalten in der Bauwirtschaft; Eine Entscheidungstheoretische Betrachtung im institutionenökonomischen Kontext; Dissertation. S. 85

ungsverhalten einer risikoabgewandten Person beschreibt, indem sie den Nutzenverlust, bei einer Teilnahme an der Lotterie, höher bewertet als den sich daraus ergebenden Gewinn.²⁹⁶ Demgegenüber steht die konvexe Risikonutzenfunktion, Exponentialfunktion für risikofreudige Personen, die bereit sind, ein bestimmtes höheres Risiko bei deren Entscheidungen einzugehen. Bild 6.23 fasst die drei Typen noch einmal zusammen.

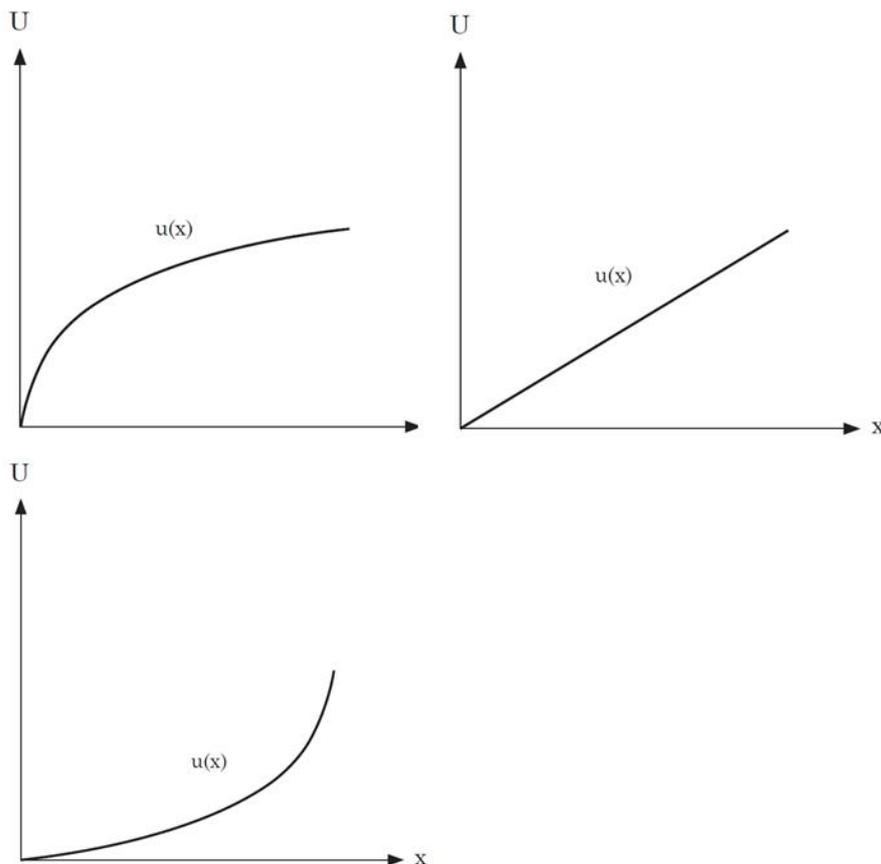


Bild 6.23 Zusammenstellung der wesentlichen Risikonutzenfunktionen; oben links: logarithmisch konkav risikoavers; oben rechts: linear risikoneutral; unten links: exponentiell konvex Risikoaffinität bzw. risikofreudig²⁹⁷

Der Einsatz von Nutzenfunktionen findet seine Berechtigung dadurch, dass in PrecisionTree Entscheidungen nach einem modifizierten Erwartungswert getroffen werden können. Der Entscheider nimmt dadurch eine Präferenz in Form eines „Mehrnutzens gegenüber einer anderen

²⁹⁶ Vgl. WERKL, M.: Risiko- und Nutzenverhalten in der Bauwirtschaft; Eine Entscheidungstheoretische Betrachtung im institutionenökonomischen Kontext; Dissertation. S. 86

²⁹⁷ WERKL, M.: Risiko- und Nutzenverhalten in der Bauwirtschaft; Eine Entscheidungstheoretische Betrachtung im institutionenökonomischen Kontext; Dissertation. S. 87f

Alternative“ mit in die Betrachtung auf. Dadurch kann es passieren, dass riskantere Entscheidungen einen höheren Erwartungswert erreichen, obwohl sich die Meisten offensichtlich dagegen entscheiden würden.

6.8.2 Einsatz von Nutzenfunktionen in PrecisionTree

Dazu sei ein plakatives, modifiziertes Beispiel aus dem PrecisionTree-Handbuch²⁹⁸ angeführt, das die Diskrepanz zwischen herkömmlichen Erwartungswert und dem Erwartungsnutzenwert nach der Nutzenfunktionszuweisung, veranschaulicht.

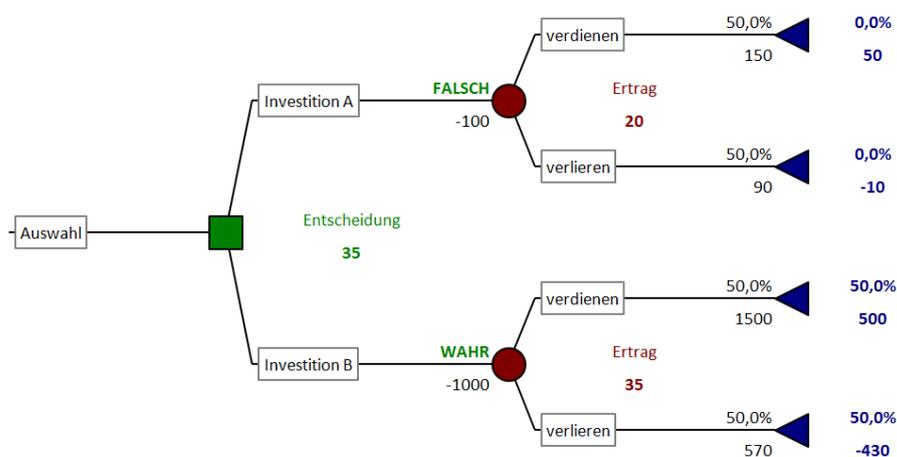


Bild 6.24 Investitionsbeispiel aus dem PrecisionTree-Handbuch²⁹⁹

Das Bild 6.24 zeigt, dass ein Entscheider vor der Wahl steht, eine Investition A oder B zu tätigen. Der Erwartungswert suggeriert auf den ersten Blick, dass Investition B vorzuziehen ist. Wenn die Person die Entscheidung für Investition B aber trifft, so geht sie das Risiko eines höheren Verlustes ein. Subjektiv würden sich wahrscheinlich viele, entgegen des Erwartungswerts, für Investition A entscheiden, da der Verlust nicht so hoch ausfallen kann wie es bei B der Fall ist. In dieser Situation spielt daher sehr stark das individuelle Entscheidungsverhalten jedes Menschen, mit in die Beurteilung.³⁰⁰ Genau diese Risikoschwellen sollen nun mit Nutzenfunktionen, nachgestellt werden.³⁰¹

Das Bild 6.25 veranschaulicht die Bereiche, in denen sich herkömmliche Nutzenfunktionen bewegen.

²⁹⁸ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 223ff

²⁹⁹ In Anlehnung an das Beispiel aus: PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 223

³⁰⁰ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 223

³⁰¹ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 224

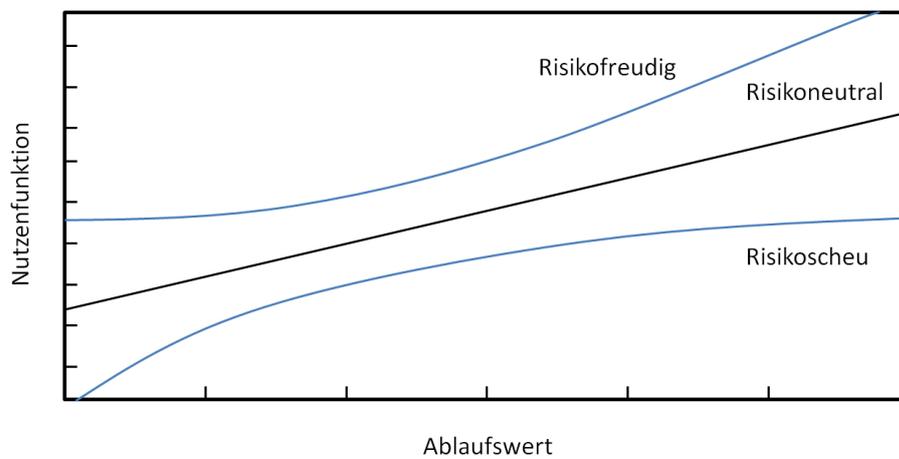


Bild 6.25 Übliche Nutzenfunktionen für verschiedene Entscheidungsträger in PrecisionTree³⁰²

Durch eine Nutzenfunktion wird der Ablaufwert einer Entscheidung in Nutzenwerteinheiten konvertiert, um damit das Risiko zu beschreiben.³⁰³

PrecisionTree bietet standardmäßig zwei Nutzenfunktion zur Auswahl an – eine logarithmische (risikoavers) und eine exponentielle (risikoaffin) – die in der Registerkarte „Nutzenfunktion“, wie Bild 6.26 zeigt, auszuwählen sind. Zudem können weitere Nutzenfunktionen in VBA erstellt und eingelesen werden.³⁰⁴

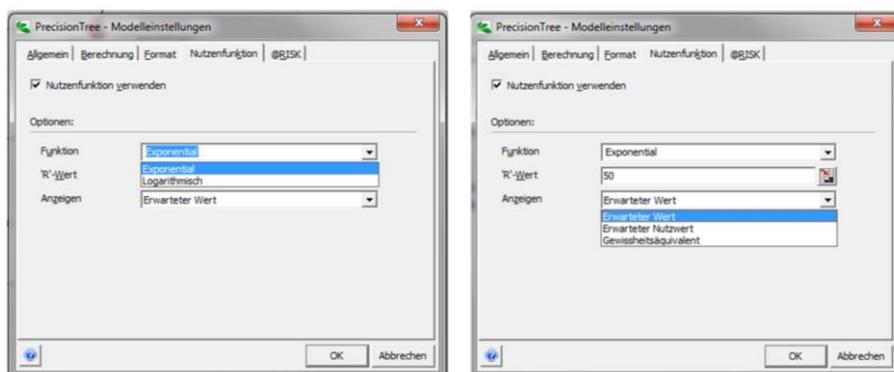


Bild 6.26 Nutzenfunktionsauswahl in PrecisionTree

³⁰² PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 224

³⁰³ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 224

³⁰⁴ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 146

Die Exponentialfunktion ist bereits in PrecisionTree integriert und lautet in logarithmischer Form:³⁰⁵

$$U(x) = 1 - e^{\left[\frac{-x}{R}\right]} \quad (6.6)$$

Dabei muss zudem der R-Wert, auch Risikoeffizient genannt, definiert werden, der ein Maß für die Risikotoleranz darstellt.³⁰⁶ Wird ein kleiner R-Wert gewählt, so bedeutet dies, dass der Entscheider risikoavers in seinen Entscheidungen agiert, wird hingegen ein zunehmend größerer Wert gewählt, so handelt der Entscheider entsprechend risikofreudiger.³⁰⁷ Der Koeffizient regelt demnach die Steigung der Kurve. Die Auswahl des richtigen Risikoeffizienten obliegt dem Entscheidungsträger³⁰⁸ selbst indem er festlegt, wie viel Risiko er bereit ist zu tolerieren.³⁰⁹ Diese logarithmische Form der Exponentialfunktion hat den Nachteil, dass das Entscheidungsverhalten des Entscheiders durch eine ständige Risikoaversion imitiert wird, was nicht sein reales Verhalten widerspiegelt.³¹⁰

Bild 6.27 zeigt zudem eine weitere Einstellungsoption, durch die der User auswählen kann, ob er den erwarteten Nutzenwert oder das Gewissheitsäquivalent angezeigt bekommen möchte. Beim Gewissheitsäquivalent, das durch die Inverse der Nutzenfunktion des erwarteten Nutzenwertes beschrieben ist, handelt es sich um jenen Geldbetrag, den man akzeptieren würde, um dadurch eine riskante Entscheidung zu vermeiden.³¹¹ Im Folgenden werden die Ergebnisse aus dem Entscheidungsbaum aufgelistet.

³⁰⁵ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 228

³⁰⁶ ebd.

³⁰⁷ ebd.

³⁰⁸ Entscheider werden meist als Stabstellen übergeordneter Entscheidungsträger, auch Entscheidungsobjekte genannt, bezeichnet. Dabei obliegt es dem Entscheidungsträger, die Verantwortlichkeiten einer Entscheidung zu tragen.

³⁰⁹ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 229

³¹⁰ ebd.

³¹¹ ebd.

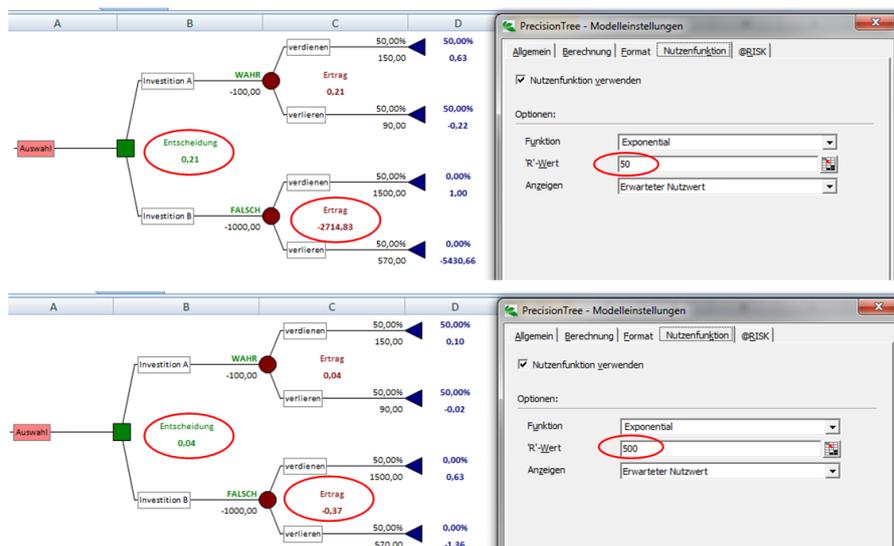


Bild 6.27 Erwartete Nutzenwerte bei unterschiedlichen R-Werten

Bild 6.27 zeigt, dass sich durch die Anwendung der exponentiellen Nutzenfunktion ein höherer Nutzen aus der Investition A, im Gegensatz zu Bild 6.24, ergibt und sogar einen negativen – also nachteiligen – Nutzen für Investition B nach sich zieht. Damit wäre Investition A klar zu bevorzugen. Die Tendenz der Ergebnisse zeigt, dass je höher der R-Wert und somit die Risikobereitschaft des Entscheiders wird, desto positiver entwickelt sich die nachteiligere Variante B, bis bei einem genügend hohen R-Wert beide Varianten den Nutzen 0 erreichen. Damit wird dem Entscheider schlussendlich eine sehr hohe Risikobereitschaft unterstellt, womit wieder eine indifferente Entscheidungssituation vorliegt.

Als weitere Anzeigeoption kann das Gewissheitsäquivalent (GWÄ) ausgewählt werden. Für dieses Beispiel wurde wieder die Exponentialfunktion mit einem höheren R-Wert, der auf eine höhere Risikobereitschaft hinweist, gewählt. In der oberen Grafik, des Bildes 6.28 sieht man, dass mit einem R-Wert von 500, Investition A das höhere Äquivalent mit 19,10 liefert. Steigert man den Risikofaktor, und damit die Risikobereitschaft, so erweist sich Investition B als vorteilhafter.

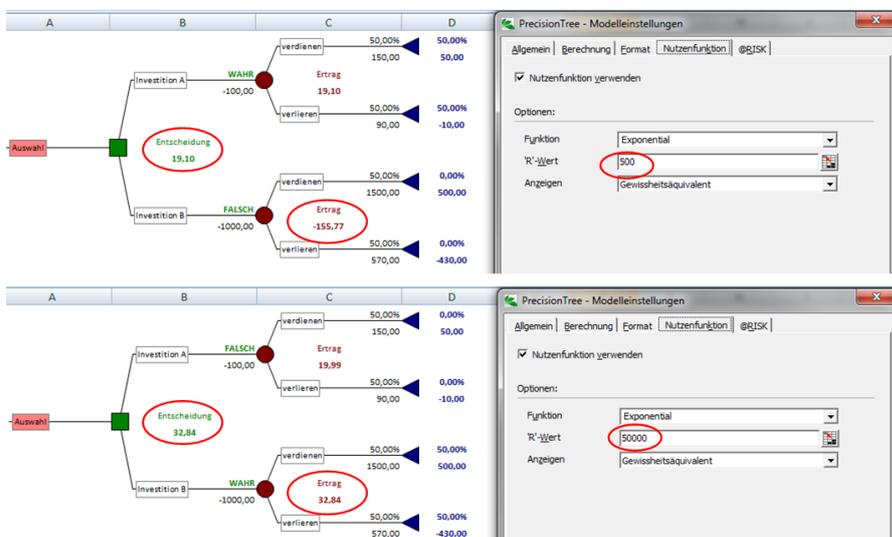


Bild 6.28 Gewissheitsäquivalente bei unterschiedlichen R-Werten

Durch die Einführung eines weiteren Begriffs, der Risikoprämie (RP), lässt sich wieder die Verbindung zu den Erwartungswerten aus Bild 6.24 herstellen. Diese Prämie weist jenen Geldbetrag aus, auf den man verzichtet, um das Risiko zu vermeiden und wird durch die Gleichung:

$$RP = EW - GW\ddot{A} \tag{6.7}$$

gebildet.³¹² Handelt es sich bei der Risikoprämie um einen negativen Wert, so ist der Entscheider sehr risikofreudig, ist er Null, so verhält er sich risikoneutral.³¹³ Für dieses Beispiel würden sich demnach Risikoprämien für Investition A von

$$RP_{A500} = 20 - 19,10 = 0,90 = \text{risikoscheu} \tag{6.8}$$

$$RP_{A50\,000} = 20 - 19,99 = 0,01 = \text{risikofreudig} \tag{6.9}$$

und für Investition B von

$$RP_{B500} = 35 - (-155,77) = 190,70 = \text{risikoscheu} \tag{6.10}$$

$$RP_{B50\,000} = 35 - 32,84 = 2,16 = \text{risikofreudig} \tag{6.11}$$

ergeben. Das Ergebnis bedeutet, dass jemand dem Entscheider den jeweiligen Geldbetrag zusichern müsste, damit er die dementsprechende Option wählt. In anderen Worten würde das in diesem Beispiel heißen, dass man bei einem R-Wert von 500 (risikoscheu), einem pessimistischen Entscheider 190,70 € bieten müsste, dass er sich für Variante B entscheidet. Dasselbe gilt auch für Variante A, bei der man dem gleichen Entscheider lediglich 90 Cent bieten müsste, damit er sich für die siche-

³¹² Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 226

³¹³ ebd.

riere Variante A entscheidet. Dieses Entgelt ist wie eine Versicherungsprämie zu verstehen, bei der Risiko gegen Geld gehandelt wird. Demnach verlangt also jemand eine Risikoprämie, für die Übernahme eines Risikos.³¹⁴

Des Weiteren kann auch eine logarithmische Nutzenfunktion standardmäßig in PrecisionTree in der Form von:

$$U_{(x)} = \ln(x + R) \quad (6.12)$$

ausgewählt werden, durch die bei Vorhandensein einer beträchtlichen Geldmenge, Personen eher risikofreudiger handeln, berücksichtigt wird.³¹⁵ Der R-Wert stellt dabei lediglich sicher, dass kein negativer Funktionswert berechnet wird.³¹⁶

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass durch das Hilfsmittel der Nutzenfunktionen in PrecisionTree, das Risiko einer Entscheidung besser zum Ausdruck gebracht werden kann, als durch bisherige subjektive Bewertungsmethoden. Allerdings sei darauf zu achten, welche Funktion man einsetzt, da je nach Entscheider, unterschiedliche Empfindungen von Risiko und Chance herrschen. Zudem wird durch die Einführung des R-Wertes ein weiter nicht eindeutig quantifizierbarer Parameter in den Entscheidungsprozess mit aufgenommen.

6.9 Verknüpfung von PrecisionTree mit @Risk

Neben der ausschließlichen Verwendung von PrecisionTree, besteht auch die Möglichkeit, es mit dem Programm @Risk zu verknüpfen, um dadurch noch weitere Aussagen über Risiken und Chancen einer Entscheidung zu erlangen. Insbesondere steht dabei die Tatsache im Mittelpunkt, dass dadurch das deterministische Entscheidungsbaummodell durch ein stochastisches erweitert werden kann. Die beiden Programme bilden zusammen mit den weiteren Softwarekomponenten TopRank, NeuralTools, Evolver und StatTools die „Decision Tools Suite“ der Palisade Corporation, die grundsätzlich alle miteinander kombinierbar sind.³¹⁷ In diesem Kapitel und auch in dieser Arbeit steht aber die Verknüpfung von PrecisionTree mit @Risk im Zentrum der Betrachtung. Durch diesen Einbezug von @Risk können des Weiteren den Zweigergebnissen und Erwartungswerten, Verteilungsfunktionen zugewiesen werden, die den streuenden Charakter bestimmter Werte, in einer vom

³¹⁴ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 93

³¹⁵ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 230

³¹⁶ ebd.

³¹⁷ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch für @Risk. S. 713

Anwender angegebenen Bandbreite berücksichtigen, um diese dann einer Monte-Carlo-Simulation zu unterziehen.

Bei der Simulation selbst werden bei jeder Iteration Werteproben aus den einzelnen definierten Verteilungen erhoben, und mit diesen die aktuellen Knotenwerte berechnet, um sie schlussendlich als Verteilung in Form eines Histogramms auszugeben.³²⁰ Dadurch wird das Einzelwertergebnis durch die Variation der Modellvariablen erweitert, um so alle in Betracht kommenden Werte mit deren Auftretenswahrscheinlichkeit zu berücksichtigen.³²¹ Dieser Output lässt wiederum eine weitere Betrachtungsweise und Interpretation von Risiko und Chance zu. Für eine ausführlichere Programmerklärung wird an dieser Stelle auf die einschlägige Literatur bzw. Handbücher³²² und auf die Masterarbeit von Kummer³²³ verwiesen.

Mit der Anwendung von @Risk auf PrecisionTree können grundsätzlich zwei Vorgehensweisen unterschieden werden. Einerseits ermöglicht es @Risk die Wahrscheinlichkeiten von Ereignissen mit deren Auswirkungen im Voraus zu quantifizieren, um daraus einen Entscheidungsbaum zu definieren und andererseits an möglichen Ergebnissen bzw. Zweigwerten, bestehender Entscheidungsbäume, Verteilungen anzuwenden, um diese in deren Unbestimmtheit zu beschreiben.³²⁴ Im Berechnungsablauf des Entscheidungsbaumes wird somit als Zweigwert der erwartete Wert der Verteilung herangezogen. Zudem werden durch die Ausführung einer @Risk Simulation, Werteproben aus den definierten Verteilungen erhoben und mit den neuen Zweigwerten der gesamte Entscheidungsbaum neu berechnet und aufgezeichnet, sodass als Ergebnis keine diskontinuierliche Verteilung der Einzelergebnisse, wie es im ursprünglichen Entscheidungsbaummodell der Fall ist, sondern eine kontinuierliche, stetige Ausgabe der Ergebnisse jeder einzelnen Iteration hervorgeht.³²⁵ Der wesentliche Vorteil liegt darin, dass nicht nur einzelne Zweigmöglichkeiten, sondern diese in einer Bandbreite in der Berechnung Eingang finden können.

Die Bezeichnung „Monte-Carlo-Simulation“ rührt ursprünglich vom Casino in Monte Carlo her, in dem alle Ergebnisse des Glücksspiels „Roulette“ ausgehängt wurden.³¹⁸ Durch diesen Spielmodus werden bei jedem Durchgang (Iteration), Zufallszahlen innerhalb eines Wertebereichs gezogen sowie es auch bei @Risk gleichermaßen der Fall ist. @Risk unterstützt dabei die Monte-Carlo- als auch de Latin Hypercube-Probenerhebung.³¹⁹

³¹⁸ Vgl. KUMMER, M. K.: Einsatz der Monte-Carlo Simulation zur Berechnung der Baukosten und Bauzeit; Masterarbeit. S. 36

³¹⁹ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch für @Risk. S. VI

³²⁰ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 97

³²¹ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 241

³²² Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch für @Risk. S. 1ff

³²³ Vgl. KUMMER, M. K.: Einsatz der Monte-Carlo Simulation zur Berechnung der Baukosten und Bauzeit; Masterarbeit. S. 68ff

³²⁴ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 244

³²⁵ ebd.

6.9.1 Quantifizierung von Wahrscheinlichkeiten in @Risk zur Darstellung in einem Entscheidungsbaum

Durch erstgenannte Anwendungsmethode wird zunächst eine Kalkulationstabelle mit @Risk simuliert, sodass mit diesen Ergebnissen ein Entscheidungsbaum entworfen werden kann. Dazu wird das Beispiel aus Bild 6.4 wieder aufgegriffen. In @Risk wurden die Eigen- und Fremdzinssätze, sowie die Periodeneinnahmen mit einer Dreiecksverteilung belegt und damit die Simulation gestartet. Das Ergebnis zeigt das Bild 6.29.

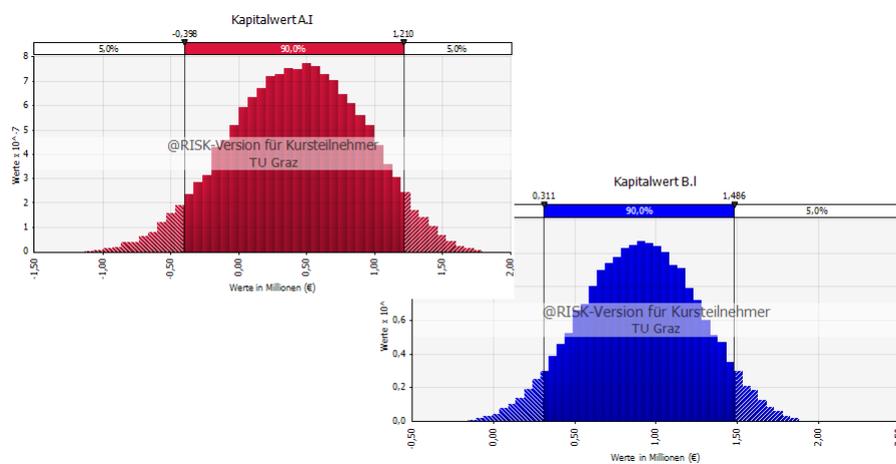


Bild 6.29 Wahrscheinlichkeitsverteilung der Kapitalwerte für beide Investitionsvarianten (Investition A in rot und Investition B in blau)

Man erkennt, eine kontinuierliche Verteilung über alle möglichen Berechnungsergebnisse der Kapitalwerte, mit deren Auftretenswahrscheinlichkeiten. Aus den Histogrammen werden Wahrscheinlichkeitsbereiche als Summenwahrscheinlichkeiten für bestimmte ausgewählte Kapitalwertbereiche zusammengefasst und als Zweigwerte, wie es Bild 6.30 zeigt, im Entscheidungsbaum eingetragen.

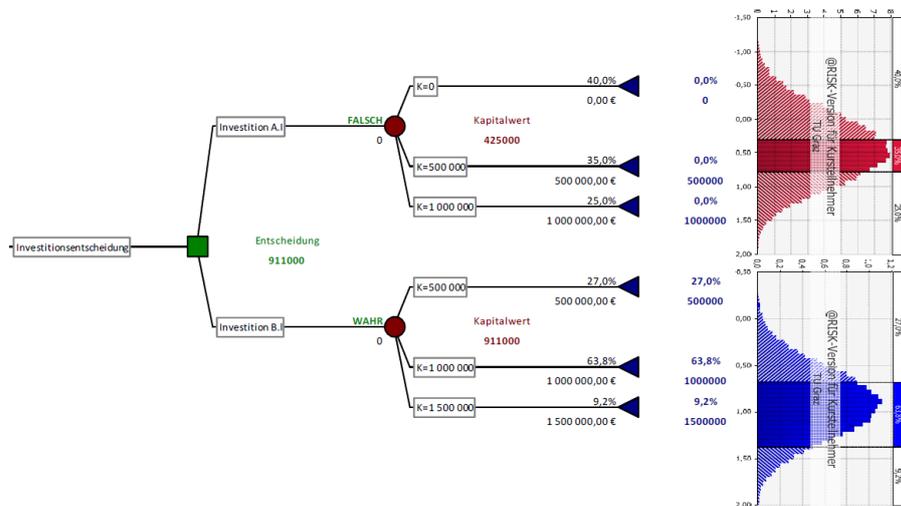


Bild 6.30 Übertragung der Wahrscheinlichkeiten in den Entscheidungsbaum

Aus Bild 6.30 geht hervor, dass nicht nur mehr auf die Anzahl der Zweigmöglichkeiten begrenzte Werteszenarien wie es Bild 6.4 zeigt, sondern auch Werte, die im Zwischenbereich liegen, dargestellt werden können. Die Summenwahrscheinlichkeit, dass ein Kapitalwert von 1 Million erreicht wird liegt nun für die Investition A.I bei 25 % und für Investition B.I bei 63,8 %.

6.9.2 Pfadberechnungsmethoden bei bestehenden Entscheidungsbaum mit @Risk

Die zweite Möglichkeit die beiden Programme miteinander zu kombinieren besteht darin, dass ausgehend von einem bestehenden Entscheidungsbaum, Zweigwerten, Verteilungen zugewiesen werden und dadurch die Ergebnisse wiederum durch kontinuierliche Histogramme illustriert werden können. PrecisionTree bietet zur Neuberechnung eines Entscheidungsbaumes bzw. der Pfade, zwei weitere Optionen über die Modelleinstellung im Reiter „@Risk“, wie es Bild 6.31 zeigt, an.

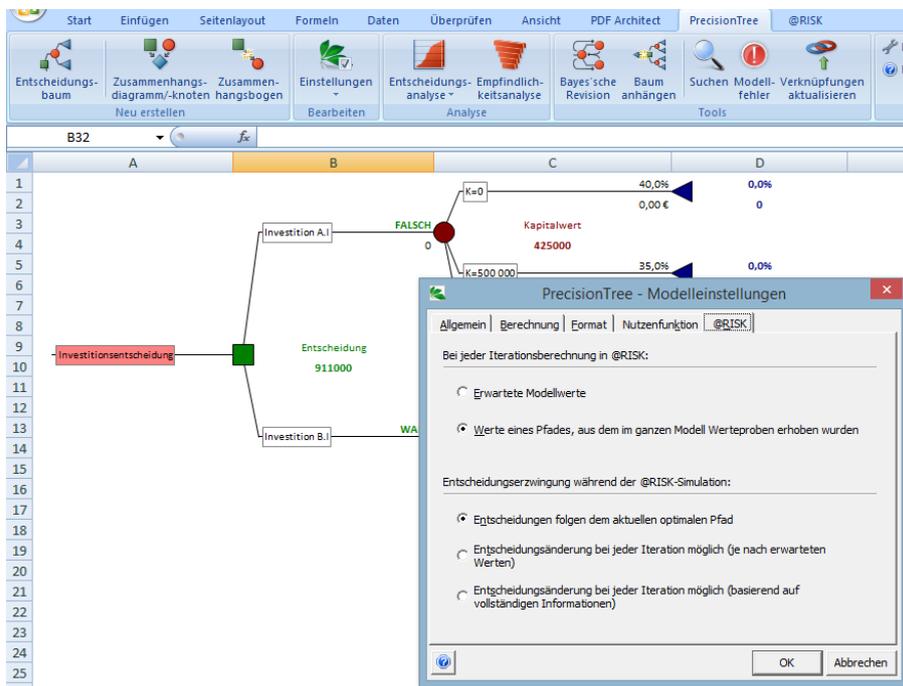


Bild 6.31 Modellneuberechnungsoptionen in Verbindung mit @Risk

Im ersten Abschnitt des Dialogfensters kann man zwischen den Optionen „Erwartete Modellwerte“ und „Werte eines Pfades, aus dem im ganzen Modell Werteproben erhoben wurden“ wählen.

- Beim ersten Menüpunkt werden aus allen im Modell vorhandenen Verteilungsfunktionen bei jeder Iteration Werteproben erhoben, um mit diesen, neue erwartete Werte zu generieren.³²⁶ Die Ausgabe stellt die erwarteten Werte als Verteilung in Form eines Histogramms mit der zugehörigen relativen Wahrscheinlichkeit deren Auftretens dar.³²⁷
- Die zweite Option unterscheidet sich von der ersten dadurch, dass bei jeder Iteration Zufallswerteproben auf Basis der eingegebenen Zweigwahrscheinlichkeit – es müssen dazu keine Verteilungen definiert sein – aus einem gewissen Pfad gezogen werden.³²⁸ Die Ausgabe erfolgt wiederum in Form eines Histogramms, das den Wertebereich des Stammknotens mit dessen Wahrscheinlichkeiten wiedergibt.³²⁹

³²⁶ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 245

³²⁷ ebd.

³²⁸ ebd.

³²⁹ ebd.

Im zweiten Abschnitt aus Bild 6.31 kann man dem Umstand, dass sich bei jeder Iteration der optimale Pfad verändern und somit ein anderer Entscheidungsweg als vorteilhafter erweisen kann insoweit begegnen, als dass Entscheidungen an Entscheidungsknoten erzwungen oder als veränderbare Größen behandelt werden können.³³⁰

- Bei der ersten Option werden die durch die Entscheidungsknoten ursprünglich als optimal ausgewählten Pfade beibehalten, auch wenn sich nachfolgende Knoten von Zufallsereignissen während der Simulation ändern.³³¹ Darüber hinaus gibt es zudem die Möglichkeit, einzelne Zweige direkt im Entscheidungsbaum zu erzwingen um damit den jeweiligen Pfad zu fixieren.
- Möchte man aber, dass sich der optimale Pfad bei jeder Iteration, je nach errechneten erwarteten Werten, ändert so muss die zweite Option gewählt werden. Dazu werden Werteproben für alle Zufallsknoten gezogen und mit diesen, im Gegensatz zur ersten Option, ein neuer optimaler Entscheidungspfad erstellt.³³²
- Über die dritte Entscheidungswegoption folgen Entscheidungen jenem Pfad, bei dem auf Basis der aus den nachfolgenden Zufallsknoten gewählten Zweigwerten, den aktuell optimalsten darstellt.³³³ Dadurch wird die Wahlmöglichkeit am Entscheidungsknoten durch zukünftige Zufallsereignisse vorweggenommen, als ob man die vollständige Information bereits schon wüsste.³³⁴

Um diese Optionen auf ein konkretes Beispiel anzuwenden wird der Entscheidungsbaum aus 6.16 herangezogen. Zunächst wird mit den Einstellungen aus Bild 6.31 die Pfadberechnung aufgrund der zugewiesenen Zweigwahrscheinlichkeiten vorgenommen. Das Ergebnis zeigt Bild 6.32.

³³⁰ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 247

³³¹ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 149

³³² Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 150

³³³ ebd.

³³⁴ ebd.

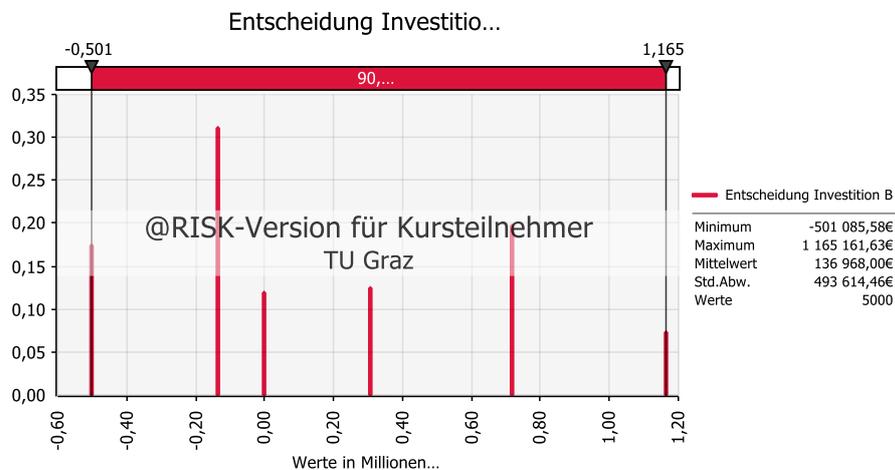


Bild 6.32 Histogramm zur Investitionsentscheidung von Investitionsvariante B

Man sieht ein diskontinuierliches Histogramm, indem durch die Variation vom Mischzinssatz und der Einnahmen für Investition B sechs unterschiedliche Kapitalwerte generiert wurden. Jeder Wert bezeichnet einen Ablaufknoten im Entscheidungsbaum und tritt mit der im Diagramm ersichtlichen Wahrscheinlichkeit auf. Durch diese Möglichkeit können, im Vergleich zu einer herkömmlichen Excel-Tabelle mit einem deterministischen Wert, nun mehrere unterschiedliche Werte erzeugt werden, die zudem eine Wahrscheinlichkeitsaussage dieser zulassen.

Allerdings lässt sich dasselbe Ergebnis bereits aus der PrecisionTree Analysefunktion des Risikoprofils, dargestellt in Bild 6.33 erkennen, so dass durch den Einsatz von @Risk über diese Option, zunächst kein Mehrwert entsteht.

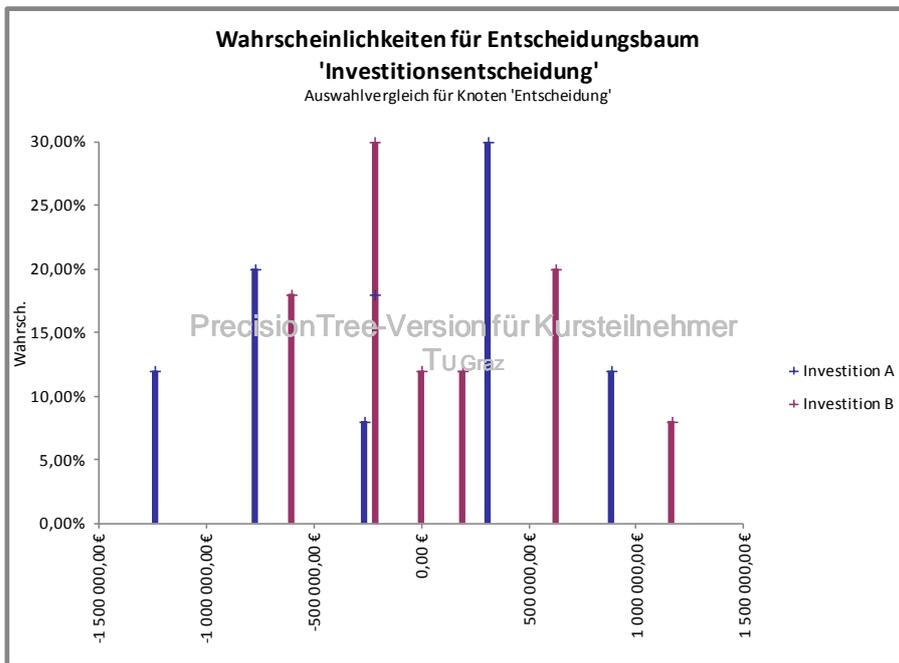


Bild 6.33 Risikoprofil der Investitionsvarianten A und B

Jedoch kann unter Verwendung von Verteilungsfunktionen, wie in Bild 6.34 dargestellt, die Option „Erwartete Modellwerte“ ausgewählt werden, um damit kontinuierliche Histogramme zu generieren. Als Ausgabewerte können Erwartungswerte im Baum (z.B. C 6) oder der Stammknoten (B 8) selbst definiert werden.

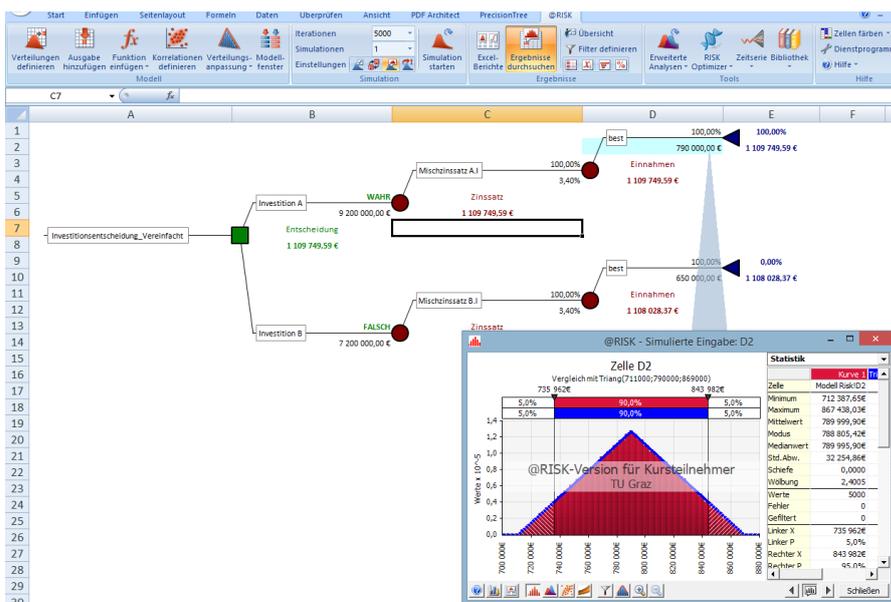


Bild 6.34 Reduzierter Entscheidungsbaum mit Zuweisung einer Dreiecksverteilung

Es wurden die Zufallsknoten und die davon ausgehenden Zweige auf einen reduziert sowie diesem Zweigwert sogleich eine Dreiecksverteilung zugewiesen, die die Streuung der betrachteten Berechnungswerte in einer kontinuierlichen Bandbreite berücksichtigen.

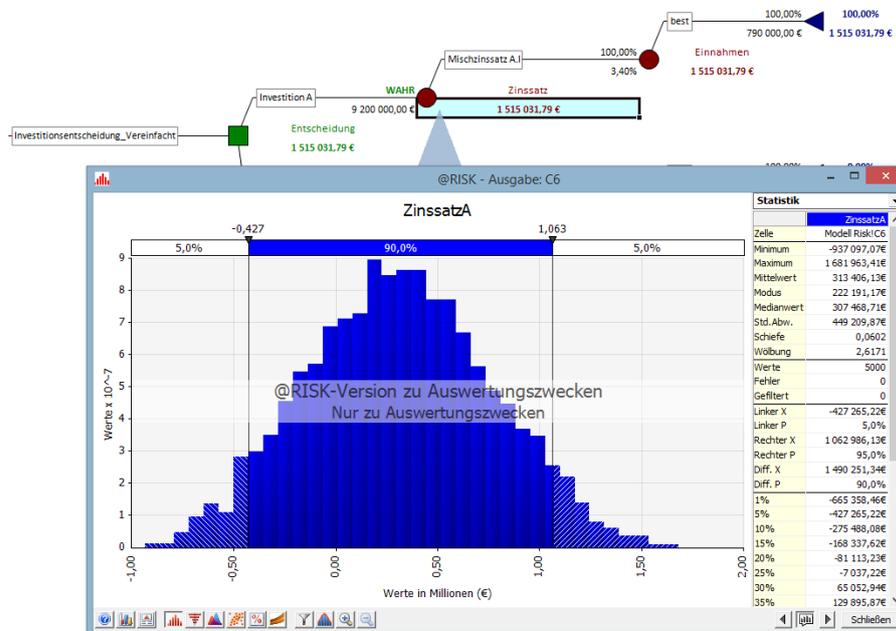


Bild 6.35 Histogramm des Erwartungswerts für Investition A (5 000 Iterationen)

Daraus folgend ergibt sich, aus den Bildern 6.35 und 6.36 ersichtlich, für jede Investitionsvariante ein annähernd normalverteiltes Histogramm der Ergebnisse der Erwartungswerte.

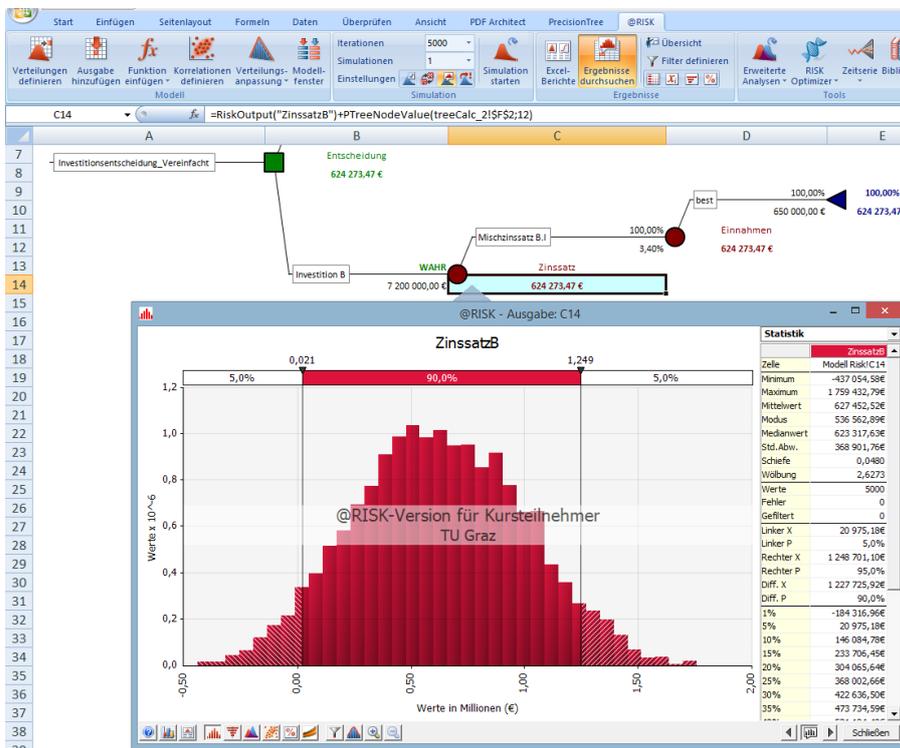


Bild 6.36 Histogramm des Erwartungswerts für Investition B

Führt man die beiden Histogramme zusammen, wie in Bild 6.37 dargestellt, so erhält man Überschneidungsbereiche, die jene Fälle zeigen, in denen eine Variante der anderen vorzuziehen ist. So erkennt man, dass Investition B den größeren Mittelwert und die geringere Standardabweichung, im Vergleich zu Variante A aufweist und damit als „sicherer“ gegenüber A gilt. Im Überschneidungsbereich zeigt sich auch, dass dort zunächst keine sichere Entscheidung möglich ist.

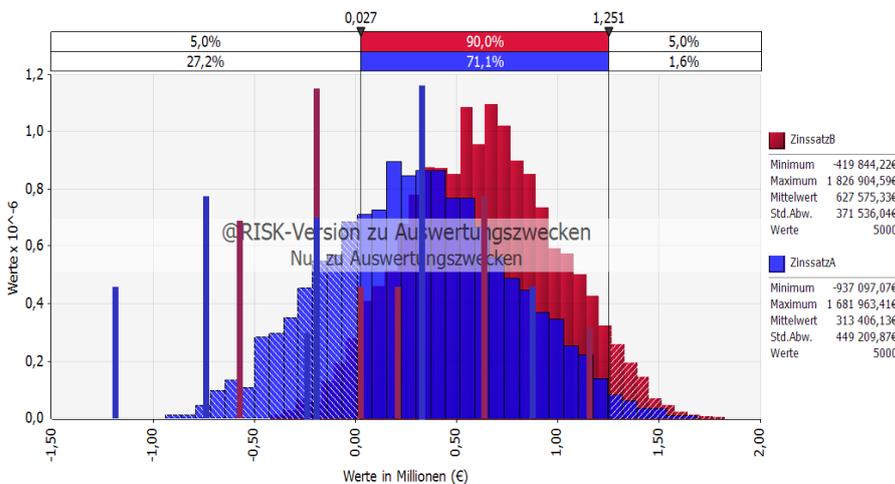


Bild 6.37 Histogramm des Erwartungswerts für Investition B

In Bild 6.37 sind zu den probabilistischen Ergebnissen noch zusätzlich die Ergebnisse der Ablaufwerte aus Bild 6.33, mit den jeweiligen subjek-

tiven Wahrscheinlichkeiten aus dem ursprünglichen Entscheidungsbaummodell angegeben. Es zeigt sich, dass sich diese diskontinuierlichen Einzelergebnisse wesentlich von den kontinuierlichen Erwartungswertergebnissen unterscheiden.

Resultierend aus dem Ergebnis von Bild 6.37 stellt sich demnach die Frage, wie hoch die Wahrscheinlichkeit, dass Investition A vorteilhafter gegenüber B ist. Dazu gibt es eine mathematische Methode³³⁵, durch die das Integral der Normalverteilungsfunktion aus Gleichung 6.15 gebildet und über einen negativen Bereich der Sicherheitsmarge, angegeben durch die Parameter μ_M und σ_M aus den Gleichungen 6.13 und 6.14 einer neuen Verteilungsfunktion, die Summenwahrscheinlichkeit näherungsweise berechnet werden kann.

$$\mu_M = \mu_B - \mu_A \tag{6.13}$$

$$\sigma_M = \sqrt{\sigma_B^2 + \sigma_A^2} \tag{6.14}$$

$$f(x) = \int_{-\infty}^0 \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} * e^{-\frac{1}{2} * \left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \tag{6.15}$$

Tabelle 6.9 Berechnung der Wahrscheinlichkeit der Fälle, in denen Investition A der Investition B vorzuziehen ist

	Investition A	Investition B	Neue Verteilung aus beiden Varianten
μ_M	313 292,36	627 452,52	314 160,16
σ_M	446 746,00	368 901,76	579 370,78
Wahrscheinlichkeit der Fälle in denen Investition A vorteilhafter als Investition B ist			0,2938 \approx 29,4%

Die Berechnung aus Tabelle 6.9 zeigt, dass in knapp 30 Prozent der Fälle Investition A zu bevorzugen, sich aber in über 70 Prozent der Fälle Investition B als sicherer erweist. Diese quantitative Beurteilung von Risiko und Chance kann nun als Entscheidungshilfe dienen.

Nachdem hier die Grundlagen der Entscheidungsbaumtheorie und darauf aufbauend auf die Software PrecisionTree eingegangen wurde, wird in den nachfolgenden beiden Kapiteln, die Anwendung auf baubetriebliche und bauwirtschaftliche Fragestellungen in der Phase der Arbeitsvorbereitung dargelegt.

³³⁵ Verweis zum Masterprojekt WAGENDORFER, M.: Bauwirtschaftliche und Baubetriebliche Risiko-Chancen-Analyse eines differenzierten Schalungsvergleichs in Form einer Entscheidungsmatrix mit @Risk; Masterprojekt. S. 29ff

7 Exemplarische Anwendung von PrecisionTree zur Ermittlung der optimalen Anzahl an Fertigungsabschnitten

Als Entscheidungsbaum-Anwendungsbeispiel wird in diesem Kapitel mit Hilfe der in Kapitel 6 vorgestellten Software PrecisionTree, auf die Ermittlung der optimalen Anzahl an Fertigungsabschnitten bei Stahlbetonarbeiten eingegangen. Insbesondere liegt dabei das Hauptaugenmerk auf die abschnittsabhängige Herstellung von Stahlbetondecken mit den Haupttätigkeiten schalen, bewehren und betonieren je Fertigungsabschnitt, da der Fertigungsprozess dieser Bauteile meist am kritischen Weg liegt.³³⁶ Durch die Einteilung in Fertigungsabschnitte ergeben sich unterschiedliche Baukosten, da sich bspw. die Arbeitsfugenlängen, die Vorhaltemengen an Schalung und Rüstung, und die Bauzeit bzw. die damit verbundene Anzahl der Arbeitskräfte ändert.³³⁷

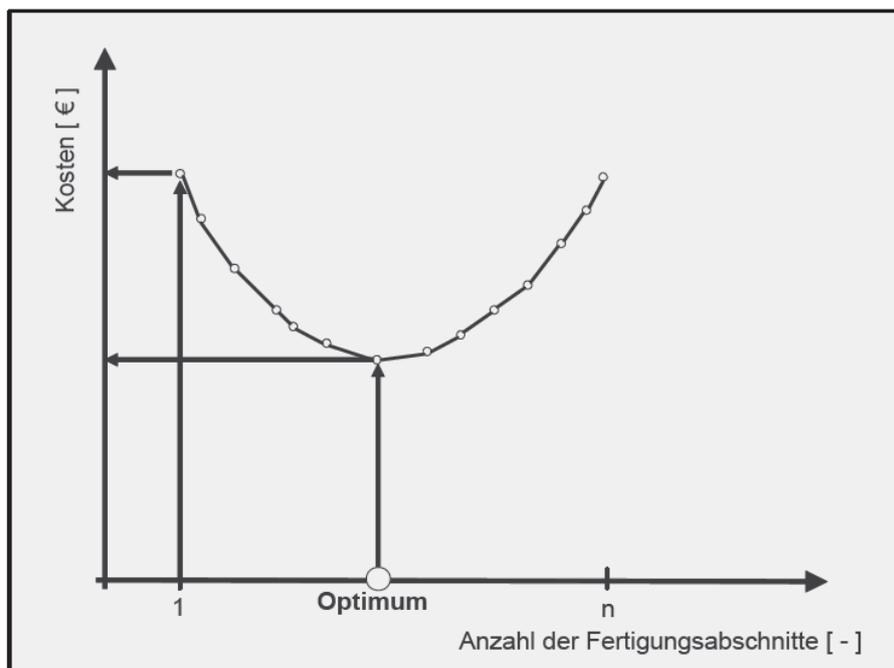


Bild 7.1 Kostenminimum eines Projekts in Abhängigkeit von der Anzahl der Fertigungsabschnitte³³⁸

So zeigt Bild 7.1, dass bei einer gewissen Anzahl an Fertigungsabschnitten das Kostenminimum hinsichtlich der Stahlbetonarbeiten erreicht wer-

³³⁶ Vgl. HOFSTADLER, C.: Zur exakten Ermittlung der Vorhaltemenge von Schalung und Rüstung für die Herstellung von Stahlbetondecken und die Auswirkungen des Frühausschalens auf Bauzeit und Baukosten; Dissertation. S. 107

³³⁷ Vgl. HOFSTADLER, C.: Zur exakten Ermittlung der Vorhaltemenge von Schalung und Rüstung für die Herstellung von Stahlbetondecken und die Auswirkungen des Frühausschalens auf Bauzeit und Baukosten; Dissertation. S. 88

³³⁸ HOFSTADLER, C.: Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb. S. 34

den kann. Bei der Kalkulation der Herstellkosten von Flachdecken treten jedoch immer Unsicherheiten bezüglich einiger Entscheidungssituationen im Preisbildungsprozess auf. Zu Beginn eines Bauprojekts herrscht bekanntermaßen (siehe Bild 1.2) ein großer Entscheidungsspielraum betreffend der einzusetzenden Mittel und Ressourcen. Demzufolge ist es aber auch schwierig diese im Voraus, monetär und auf deren Anpassbarkeit zu bewerten. So erweist es sich als äußerst schwierig, Ereignisse, die in der Zukunft passieren, in der Gegenwart entsprechend vorzubestimmen. Eine Möglichkeit, diesem Umstand entgegenzutreten, bietet die Bildung von Varianten. Dabei sollen alle in Betracht zu ziehenden Eventualitäten erkannt, monetär bewertet und schließlich zusammengefügt werden. Mit der Entscheidungsbaumtypologie der PrecisionTree-Software soll nun versucht werden, diese aufgefächerte Entscheidungssituation mit allen Möglichkeiten, graphisch darzustellen und einer Bewertung zu unterziehen. Es soll damit ein Hilfsinstrument in der Grobkalkulation geschaffen werden, um Entscheidungssituationen systematisch strukturiert aufzubereiten.

7.1 Geometrische Randbedingungen des Beispiels

Für die folgende Berechnung sollen nun einige Eckdaten eines fiktiven Beispiels angeführt werden.

Tabelle 7.1 Geometrische Grunddaten

Anzahl der Regelgeschosse	3 [-]
Deckenabmessungen	
länge L_D	100,00 [m]
breite B_D	50,00 [m]
Gesamtdeckenfläche	15 000,00 [m ²]
Deckendicke	0,25 [m]
Gesamtbetonmenge	3 750,00 [m ³]
Bewehrungsgrad Decke global	0,10 [t/m ³]
Gesamtbewehrungsmenge	375,00 [t]
Randabschalung gesamt	225,00 [m ²]
Schalungsgrad	4,00 [m ² /m ³]
Passflächenanteil Trägerschalung	10,00 [%]
Passflächenanteil Systemschalung	12,00 [%]
Regelgeschossdeckenfläche	5 000,00 [m ²]
Betonmenge je Geschoss	1 250,00 [m ³]
Bewehrungsmenge je Geschoss	125,00 [t]

Es handelt sich dabei um einen dreigeschossigen Hochbau, mit den in Tabelle 7.1 gegebenen Deckenabmessungen, der Deckenstärke, sowie einem definierten Bewehrungsgrad für die Decke. Des Weiteren werden die zwei Schalsysteme Träger- und Systemschalung mit deren Passflächenanteilen angeführt und gegenübergestellt, die jeweils eine Ausführungsvariante darstellen. Im Fokus der Betrachtung steht jedes Ge-

schoß, das in Fertigungsabschnitte unterteilt wird. Dazu zeigen die Tabellen 7.2 und 7.3 die geometrischen Grunddaten je Abschnitt.

Tabelle 7.2 Geometrische Grunddaten je FA 1 – 6

Fertigungsabschnitte	1	2	4	6
Deckenfläche je FA [m ²]	5 000,00	2 500,00	1 250,00	833,33
Randabschalung je FA [m ²]	75,00	37,50	18,75	12,50
Betonmenge je FA [m ³]	1 250,00	625,00	312,50	208,33
Bewehrungsmenge je FA [t]	125,00	62,50	31,25	20,83

Bei der gegenständlichen Betrachtung wurden, aus Gründen der Übersichtlichkeit nur geradzahlige Fertigungsabschnittszahlen berücksichtigt. Dabei sei noch erwähnt, dass aufgrund von rechentechnischen Vereinfachungen, die Flächen für die Randabschalungen, anteilmäßig dem jeweiligen Teil eines Fertigungsabschnittes zugerechnet werden.

Tabelle 7.3 Geometrische Grunddaten je FA 8 – 14

Fertigungsabschnitte	8	10	12	14
Deckenfläche je FA [m ²]	625,00	500,00	416,67	357,14
Randabschalung je FA [m ²]	9,38	7,50	6,25	5,36
Betonmenge je FA [m ³]	156,25	125,00	104,17	89,29
Bewehrungsmenge je FA [t]	15,63	12,50	10,42	8,93

Mit steigender Anzahl an Fertigungsabschnitten, vermindern sich die Deckenflächen, Betonmengen und Bewehrungsmengen. Demgegenüber steht die vom AG vorgegebene Bauzeit, in der das Bauwerk herzustellen ist. Über diesen, in Tabelle 7.4 dargestellten bauzeitlichen Rahmen, wird auf die erforderliche Dauer je Geschoss heruntergebrochen.

Tabelle 7.4 Bauzeitliche Grunddaten

Dauer Stahlbetonarbeiten gesamt	110 [d]
Dauer Stahlbetonarbeiten der Regelgeschosse	100 [d]
Dauer Stahlbetonarbeiten je Geschoss	32,67 [d]
Dauer der vertikalen Tragglieder je Geschoss	10 [d]
Dauer der horizontalen Tragglieder je Geschoss 1 Fertigungsabschnitt	22,67 [d]
Dauer der horizontalen Tragglieder je Geschoss ab 2 Fertigungsabschnitten	32,67 [d]

Bei einer vorgegebenen Bauzeit für die Stahlbetonarbeiten von 110 Tagen, in der Zusatzarbeiten inbegriffen sind, kann eine Nettobauzeit für die Regelgeschosse von 100 Tagen veranschlagt werden. Mit einem globalem Puffer von 2 Tagen ergibt sich die Dauer der Stahlbetonarbeiten je Geschoss zu 32,67 Tagen $[(100 \text{ d} - 2 \text{ d}) / 3 \text{ Geschosse} = 32,67 \text{ d}]$. Zudem gilt die Annahme, dass die Dauer für die Herstellung der vertikalen Tragglieder 10 Tage je Geschoss in Anspruch nehmen wird. Aus dieser Berechnung lässt sich ableiten, dass sich für die Herstellung der Stahlbetondecke ein bauzeitlicher Rahmen von 22,67 Tagen für speziell einen Fertigungsabschnitt ergibt. Für die Berechnung der Herstdauer eines Geschosses, wird vorausgesetzt, dass sich durch die Fertigung der vertikalen Tragglieder, die Dauer nicht verkürzt. Das heißt, dass die Decke eines Abschnittes simultan mit den Wänden und Stützen des anderen Abschnittes hergestellt werden kann.

Im Zusammenhang mit den bauablauftechnischen Überlegungen gilt es zu klären, welche Art der Fertigung, also welches Bauablaufmodell zum Einsatz kommen sollte. Dabei kann grundsätzlich die Taktfertigung von

der Fließfertigung unterschieden werden. Es wurden beide Varianten untersucht.

7.2 Bauablaufplanung

Einleitend sei jedoch noch erwähnt, dass dem Autor bewusst ist, dass die angeführten Berechnungen nur eine theoretische Betrachtung des Bauablaufes darstellen und etwaige Verlust-, Verteil- und/oder Wartezeiten bzw. Umverteilungen der Einsatzbereiche durch eine unstete Arbeitsleistung zwischen den Vorgängen nicht mitberücksichtigt wurden, aber klarerweise dennoch immer auftreten können.

7.2.1 Taktfertigung

Bei der Taktfertigung laufen die Vorgänge Schalen, Bewehren und Betonieren seriell ab. Nachdem eine Partie einen Abschnitt eingeschalt hat (gelb), geht sie über zum bewehren (rot) und betoniert (grau) schlussendlich den hergestellten Teilabschnitt, bevor sie beim nächsten wieder mit dem Schalen beginnt. Das Ausschalen der Schalung geschieht zeitversetzt nach der Ausschallfrist und wurde aus vereinfachenden Gründen hier nicht separat dargestellt, sondern im Prozess „Einschalen“ mitberücksichtigt. So stellt Bild 7.2 einen schematischen Fertigungsablauf bei Taktfertigung dar.

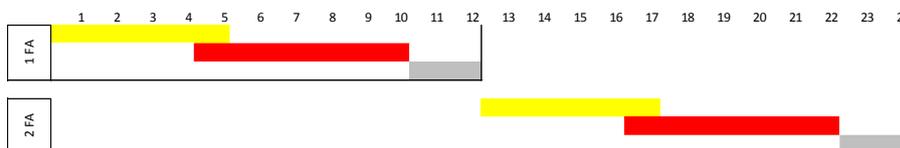


Bild 7.2 Schematischer Fertigungsablauf bei Taktfertigung³³⁹

Ausgehend vom in Tabelle 7.4 angeführten bauzeitlichen Rahmen für ein Geschoss, wird des Weiteren die Dauer der Vorgänge Schalen, Bewehren und Betonieren ermittelt. Dazu werden diese zunächst in zwölf gleiche Teile aufgesplittet.³⁴⁰ Für das Schalen und Bewehren werden somit je 5/12 und für das Betonieren 2/12 der Gesamtdauer veranschlagt. Zudem wird der Bewehrungsvorgang so angeordnet, sodass mit den Bewehrungsarbeiten bereits 1/12 vor Beendigung der Schalarbeiten be-

³³⁹ In Anlehnung an: HOFSTADLER, C.: Zur exakten Ermittlung der Vorhaltermenge von Schalung und Rüstung für die Herstellung von Stahlbetondecken und die Auswirkungen des Frühausschalens auf Bauzeit und Baukosten; Dissertation, S. 64ff

³⁴⁰ Das Aufteilen der Vorgänge in 12 gleiche Teile, wurde vom Autor als modellierungstechnisches Erfordernis zur Bestimmung der einzelnen Prozessdauern angenommen.

gonnen wird und sich daraus eine kurzzeitige Verdichtung an zusätzlichen Arbeitskräften ergibt.

Tabelle 7.5 stellt nun die Dauern je Fertigungsabschnitt gegenüber. So ergibt sich bspw. bei 2 Abschnitten die Dauer für ein Regelgeschoss, also für die Herstellung einer Regelgeschosdecke zu 32,67 Tagen. Der Faktor gibt an, wie viele Vorgänge, bei der jeweiligen Anzahl an Fertigungsabschnitten, in der Zeit von 32,67 Tagen anzuordnen sind. Konkret ergibt sich für zwei Fertigungsabschnitte, nach Bild 7.2, ein Faktor von $24 / 12 = 2$, was bedeutet, dass bei Taktfertigung zwei Fertigungsabschnitte in der Dauer von 32,67 Tagen herzustellen sind. D.h., dass je Abschnitt 16,33 Tage zur Verfügung stehen. Die weitere Aufteilung erfolgt nach der oben festgelegten Zwölftel-Teilung. Schlussendlich ergibt sich für das Schalen eine Dauer von $16,33 * 5 / 12 = 6,81$ Tagen, für das Bewehren ($6,81 \text{ d} + 1,36 \text{ d} = 8,17 \text{ d}$) und für das Betonieren 2,72 Tagen.

Tabelle 7.5 Einteilung der Fertigungsdauern je Vorgang bei Taktfertigung

FA	d _{RG}	Faktor	d _{jeFA}	d _s	d _{bw}	d _{abs}	d _{bt}
1	22,67	1,00	22,67	9,44	9,44	1,89	3,78
2	32,67	2,00	16,33	6,81	6,81	1,36	2,72
3	32,67	3,00	10,89	4,54	4,54	0,91	1,81
4	32,67	4,00	8,17	3,40	3,40	0,68	1,36
5	32,67	5,00	6,53	2,72	2,72	0,54	1,09
6	32,67	6,00	5,44	2,27	2,27	0,45	0,91
7	32,67	7,00	4,67	1,94	1,94	0,39	0,78
8	32,67	8,00	4,08	1,70	1,70	0,34	0,68
9	32,67	9,00	3,63	1,51	1,51	0,30	0,60
10	32,67	10,00	3,27	1,36	1,36	0,27	0,54
11	32,67	11,00	2,97	1,24	1,24	0,25	0,49
12	32,67	12,00	2,72	1,13	1,13	0,23	0,45
13	32,67	13,00	2,51	1,05	1,05	0,21	0,42
14	32,67	14,00	2,33	0,97	0,97	0,19	0,39
15	32,67	15,00	2,18	0,91	0,91	0,18	0,36

Diese Aufteilung kann flexibel gestaltet werden und muss nicht als starr, gegebene Struktur hingenommen werden.

7.2.2 Fließfertigung

Demgegenüber kann noch das Schema der Fließfertigung angeführt werden. Dabei laufen die Vorgänge parallel ab, was bedeutet, dass nach den Annahmen des Autors, ständig zwei unabhängig voneinander agierende Arbeitsgruppen eingesetzt werden. Gegenständlich ist eine Gruppe für das Schalen und Betonieren und eine Weitere ausschließlich für das Bewehren zuständig.

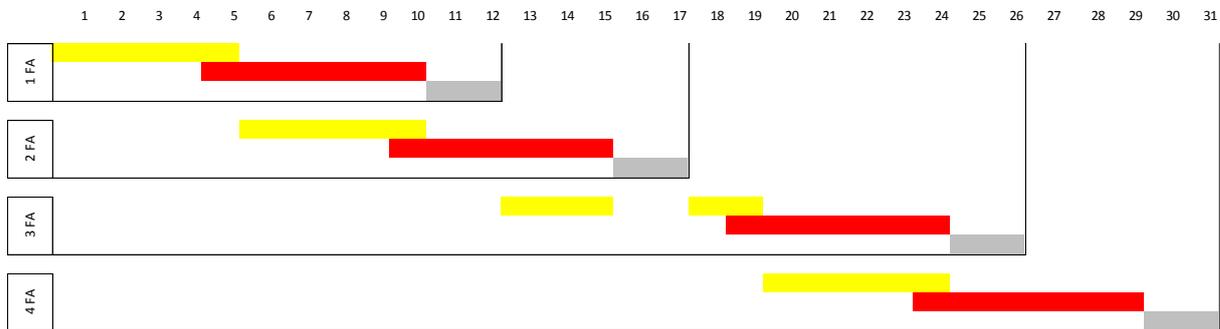


Bild 7.3 Schematischer Fertigungsablauf bei Fließfertigung³⁴¹

Dem Ablauf in Bild 7.3 ist zu entnehmen, dass sich die erste Arbeitspartie (schalen und betonieren) ständig auf der Baustelle befindet und immer vom Schalen zum Betonieren wechselt. Im Gegensatz dazu ist die Arbeitsgruppe der Beweher nicht ständig vor Ort. Es bilden sich zudem noch Spitzen aus, in denen mehr Arbeitskräfte auf der Baustelle sind.

Tabelle 7.6 zeigt wiederum die Zusammenstellung der Dauern je Vorgang.

Tabelle 7.6 Einteilung der Fertigungsdauern je Vorgang bei Fließfertigung

FA	dRG	Faktor	d _{jeFA}	d _s	d _{bw}	d _{abs}	d _{bt}
1	22,67	1,00	22,67	9,44	9,44	1,89	3,78
2	32,67	1,42	23,06	9,61	9,61	1,92	3,84
3	32,67	2,17	15,08	6,28	6,28	1,26	2,51
4	32,67	2,58	12,65	5,27	5,27	1,05	2,11
5	32,67	3,33	9,80	4,08	4,08	0,82	1,63
6	32,67	3,75	8,71	3,63	3,63	0,73	1,45
7	32,67	4,50	7,26	3,02	3,02	0,60	1,21
8	32,67	4,92	6,64	2,77	2,77	0,55	1,11
9	32,67	5,67	5,76	2,40	2,40	0,48	0,96
10	32,67	6,08	5,37	2,24	2,24	0,45	0,89
11	32,67	6,83	4,78	1,99	1,99	0,40	0,80
12	32,67	7,25	4,51	1,88	1,88	0,38	0,75
13	32,67	8,00	4,08	1,70	1,70	0,34	0,68
14	32,67	8,42	3,88	1,62	1,62	0,32	0,65
15	32,67	9,17	3,56	1,48	1,48	0,30	0,59

Zur Erklärung werden exemplarisch vier Fertigungsabschnitte mit einer Gesamtdauer von 32,67 Tagen je Geschoss herangezogen. Der Faktor errechnet sich somit, aus Bild 7.3, zu $(31 / 12 = 2,58)$. Dies bedeutet,

³⁴¹ Im Anlehnung an: HOFSTADLER, C.: Zur exakten Ermittlung der Vorhaltemenge von Schalung und Rüstung für die Herstellung von Stahlbetondecken und die Auswirkungen des Frühausschalens auf Bauzeit und Baukosten; Dissertation. S. 108ff

dass rund 2,5 -mal die Vorgänge schalen, bewehren und betonieren innerhalb der 32,67 Tagen geschehen müssen. Folgend wird die Dauer je Regelgeschoss durch den Faktor dividiert, sodass sich daraus die Dauer je Fertigungsabschnitt (hier 12,65 Tage) ergibt. Aus der Multiplikation mit den jeweiligen Zwölftel-Anteilen ergeben sich die Dauern für das Schalen zu 5,27, für das Bewehren zu $(5,27 \text{ d} + 1,05 \text{ d} = 6,32 \text{ d})$ und für das Betonieren zu 2,11 Tagen. Vergleicht man die Dauern untereinander, so stellt man fest, dass jene bei Taktfertigung wesentlich kürzer sind, da ja weniger Zeit, wegen des seriellen Produktionsablaufes für einen Abschnitt bleibt.

In den nächsten Ausführungen werden die wesentlichen kostenverursachenden Elemente wie Arbeitsfugen, Schalsysteme, Bewehrungsstahl, Betoneinbringung, sowie die Anzahl an Krane erläutert, ehe das Entscheidungsbaummodell mit der Auswertung der Ergebnisse dargestellt wird.

7.3 Kostenkalkulation der Arbeitsfugen

Wird die Decke nicht in einem Zug hergestellt, sondern in Fertigungsabschnitte aufgeteilt, so müssen abschließende Elemente wie Arbeitsfugen eingesetzt werden.³⁴² In diesem Zusammenhang ist es unerlässlich, sich mit der Aufteilung der Abschnitte auseinanderzusetzen. Hofstadler führt dazu einige Randbedingungen an, nach denen sich die Anzahl an Fertigungsabschnitten und damit auch die Arbeitsfugenlängen richten.³⁴³ Dazu erfolgt im nächsten Schritt die geometrische Erfassung der Decke, um daraus eine sinnvolle Einteilung der Fertigungsabschnitte zu erzielen. Dazu können in Abhängigkeit des Längen-Breiten-Verhältnisses grundsätzlich zwei Typen (1 und 2) der Anordnung der Arbeitsfugen mit den jeweiligen Gleichungen 7.1 und 7.2 zur Ermittlung deren Längen, dargestellt in den Bildern 7.4 und 7.5, unterschieden werden.³⁴⁴

³⁴² Vgl. HOFSTADLER, C.: Zur exakten Ermittlung der Vorhaltemenge von Schalung und Rüstung für die Herstellung von Stahlbetondecken und die Auswirkungen des Frühausschalens auf Bauzeit und Baukosten; Dissertation. S. 88f

³⁴³ Vgl. HOFSTADLER, C.: Zur exakten Ermittlung der Vorhaltemenge von Schalung und Rüstung für die Herstellung von Stahlbetondecken und die Auswirkungen des Frühausschalens auf Bauzeit und Baukosten; Dissertation. S. 89

³⁴⁴ Vgl. HOFSTADLER, C.: Zur exakten Ermittlung der Vorhaltemenge von Schalung und Rüstung für die Herstellung von Stahlbetondecken und die Auswirkungen des Frühausschalens auf Bauzeit und Baukosten; Dissertation. S. 90ff

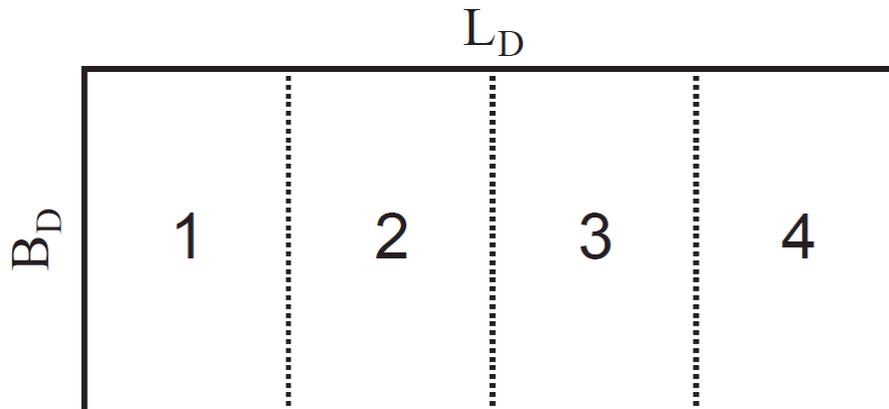


Bild 7.4 Arbeitsfugenausteilung nach Typ 1³⁴⁵

$$L_{AF,Reg,Typ1} = B_D * (n_{fa} - 1) \quad (7.1)$$

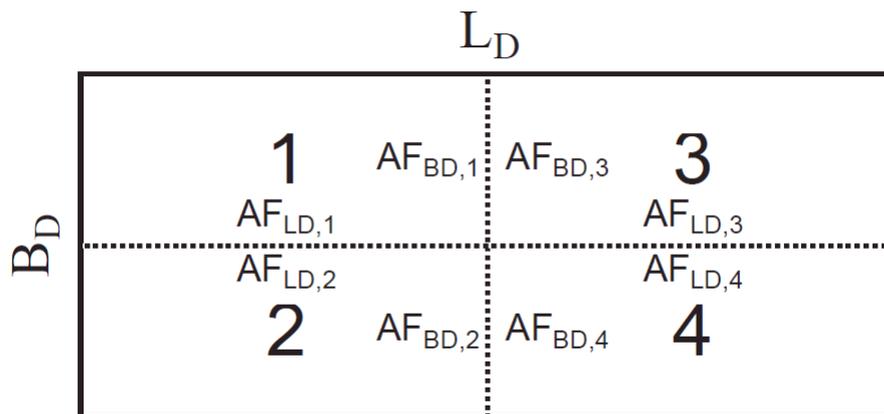


Bild 7.5 Arbeitsfugenausteilung nach Typ 2³⁴⁶

$$L_{AF,Reg,Typ2} = L_D + \frac{B_D}{2} * (n_{fa} - 2) \quad (8.2)$$

Die Gesamtlänge der Arbeitsfugen ergibt sich schließlich durch die Aufsummierung der einzelnen Geschosse. Diese Aufteilung ist im Wesentlichen abhängig von den Deckenabmessungen L_D und B_D . Zudem kann die Aufteilung nach Typ 1 geometrisch bedingt, bei gleicher und ungleicher Anzahl an Fertigungsabschnitten erfolgen. Demgegenüber wird die Aufteilung nach Typ 2 ausschließlich bei geradzahligem Aufteilung der Fertigungsabschnitte angewandt.

³⁴⁵ HOFSTADLER, C.: Zur exakten Ermittlung der Vorhaltemenge von Schalung und Rüstung für die Herstellung von Stahlbetondecken und die Auswirkungen des Frühausschalens auf Bauzeit und Baukosten; Dissertation. S. 91

³⁴⁶ HOFSTADLER, C.: Zur exakten Ermittlung der Vorhaltemenge von Schalung und Rüstung für die Herstellung von Stahlbetondecken und die Auswirkungen des Frühausschalens auf Bauzeit und Baukosten; Dissertation. S. 92

Tabelle 7.7 Daten zur Arbeitsfuge³⁴⁷

Abstand der Streckmetallbügel zueinander	0,20 [m]
Materialkosten Arbeitsfuge je lfm	18,33 [€/lfm]
Verankerungslänge	0,50 [m]
Bewehrungsgrad Mattenstahl	0,05 [t/m ³]
Bewehrungsgrad Stabstahl	0,05 [t/m ³]
Bewehrungsgrad Mehrverbrauch	0,10 [t/m ³]
Stahlmehrverbrauch in der Arbeitsfuge	0,01 [t/m]
Aufandswert für Stahlmehrverbrauch in der Arbeitsfuge	17,30 [Std/t]
Aufandswert Arbeitsfuge je Bügel befestigen	0,10 [Std/Bügel]
Aufandswert Arbeitsfuge Rüsten	3,00 [Std/FA]
Mittellohnkosten	35,00 [€/Std]
Bewehrungskosten	700,00 [€/t]

Tabelle 7.7 listet die berechnungsrelevanten Daten auf. Der Abstand der Streckmetallbügel wird mit 20 cm und die Verankerungslänge mit 50 cm angenommen. Zudem wird der globale Bewehrungsgrad von 100 kg/m³ je zur Hälfte in Mattenstahl und in Stabstahl gewählt. Der sich aus der Verankerungslänge ergebende Stahlmehrverbrauch errechnet sich aus Gleichung 7.3.

$$\text{Mehrverbrauch} = 0,10 \frac{t}{m^3} * 0,50 m * 0,25 m = 0,0125 \frac{t}{m} \quad (7.3)$$

Der zugehörige Aufandswert für den Stahlmehrverbrauch in der Arbeitsfuge wird als gewichtetes Mittel aus den Aufandswerten für Stab- und Mattenstahl³⁴⁸ nach der Gleichung 7.4 ermittelt.

$$AW_{\text{Arbeitsfuge}} = \frac{17,6 \frac{Std}{t} * 0,05 \frac{t}{m^3} + 17 \frac{Std}{t} * 0,05 \frac{t}{m^3}}{0,1 \frac{t}{m^3}} = 17,30 \frac{Std}{t} \quad (7.4)$$

Darüber hinaus wurde die Position „Arbeitsfuge herstellen“ in einem, in Tabelle 7.8 dargestelltem K7-Blatt, kalkuliert. Dabei wurden Hersteller-spezifische Preise verwendet und keine Abnehmerrabatte berücksichtigt. Die Tabelle 7.8 zeigt, wie sich der in Tabelle 7.7 eingetragene Kostenparameter 18,33 €/m errechnet.

³⁴⁷ Die Daten entstammen zum Teil aus: HOFSTADLER, C.: Zur exakten Ermittlung der Vorhaltemenge von Schalung und Rüstung für die Herstellung von Stahlbetondecken und die Auswirkungen des Frühausschalens auf Bauzeit und Baukosten; Dissertation. S. 102; und aus handelsüblichen Preisgrundlagen.

³⁴⁸ Der Aufandswert für das Bewehren ist abhängig vom einzusetzenden Durchmesser der Stäbe und Matten. Da aber noch nicht klar ist, welche Durchmesser und in welchem Verhältnis diese eingesetzt werden, wird wiederum ein gemittelter Wert aus: HOFFMANN, M.; KRAUSE, T.: Zahlentafeln für den Baubetrieb 8. Auflage. S. 1060 ermittelt.

Tabelle 7.8 K7-Blatt zur Ermittlung der Kosten der Arbeitsfuge pro Meter

Preisermittlung		Kalkulationsformblatt K7		
Bau: Beispielprojekt		Seite: 1		
Pos.Nr.: Arbeitsfugen		Einheit: €/m		
Text	Std/EH	Anteil Lohn	Anteil Sonstiges	EHP
Streckmetallblech 20 €/m ² * 0,25 m Deckenstärke			5,00	
vertikale Bügel d = 10 mm 0,62 kg/m * 0,4 m/Bügel * 0,7 €/kg * 6 Bügel/m			1,04	
horizontale Bügel 0,62 kg/m * 0,7 €/kg			0,43	
Holzabschalung Überdeckung 550 €/m ³ * 0,05 m * 0,04 m; Kantholz 5/4			1,10	
Transport PA			2,00	
Arbeit Manipulation Mittellohncosten 35 €/Std	0,25			
Summe		8,75	9,57	18,33 €/m

Zur Vervollständigung zeigt Bild 7.6 die Ausbildung einer Arbeitsfuge mit Streckmetallbügel.

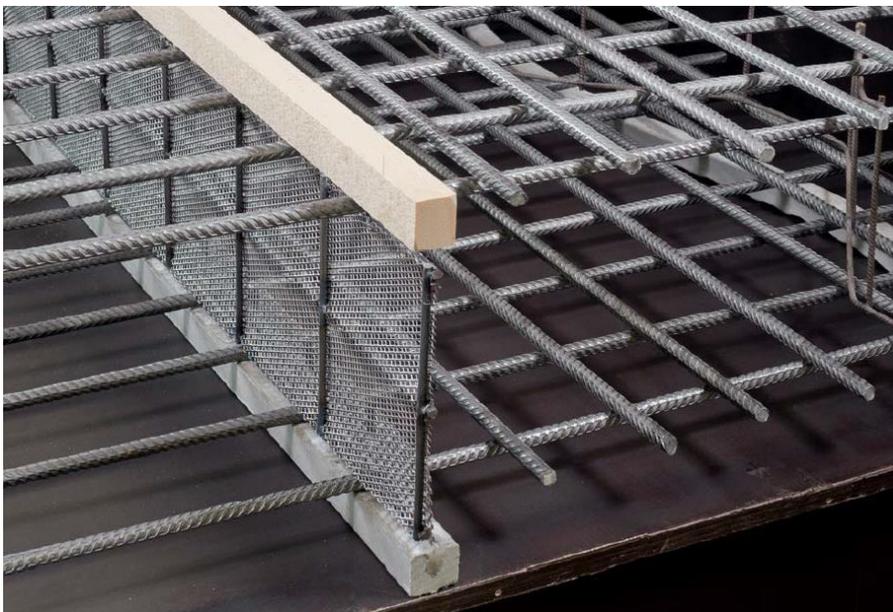


Bild 7.6 Technische Ausbildung der Arbeitsfugen³⁴⁹

³⁴⁹ MAX FRANK GMBH & CO KG; TECHNOLOGIEN FÜR DIE BAUINDUSTRIE: Stremaform Abstelllemente; Datenblatt. S. 6

Die nachfolgenden Tabellen 7.9 und 7.10 fassen nun die Arbeitsfugenlängen je Fertigungsabschnitt, die Anzahl an Bügel, sowie die sich daraus ergebenden Material- und Lohnkosten zur Herstellung der Arbeitsfugen zusammen. Zusätzlich müssen bei großen Betonflächen, Dehnungsfugen angeordnet werden, um die Betondehnungen aufnehmen zu können. Dazu werden die Materialkosten vereinfachend mit 6,92 € pro m² Deckenfläche und mit einem Aufwandswert von 0,4 Std/m² angenommen.³⁵⁰ Die genaue Anordnung und lagengerechte Planung muss aber mit dem jeweiligen Statiker abgesprochen werden, um je nach geometrischen Abmessungen die statischen Erfordernisse zu decken.

Tabelle 7.9 Zusammenstellung der Arbeits- und Dehnungsfugen je FA 1 – 6

Fertigungsabschnitte	1	2	4	6
Arbeitsfugenlänge je Geschoss [m]	0,00	50,00	150,00	200,00
Arbeitsfugenlänge gesamt [m]	0,00	150,00	450,00	600,00
Anzahl der Streckmetallbügel je Geschoss [-]	0	251	754	1007
Anzahl der Streckmetallbügel gesamt [-]	0	753	2262	3021
Materialkosten Arbeitsfuge [€]	0,00	2 748,84	8 246,52	10 995,36
Lohnkosten Arbeitsfuge Streckmetal & Rüsten [€]	0,00	2 740,50	8 232,00	11 098,50
Materialkosten Stahlmehrverbrauch [€]	0,00	1 312,50	3 937,50	5 250,00
Lohnkosten Arbeitsfuge Stahlmehrverbrauch [€]	0,00	1 135,31	3 405,94	4 541,25
Kosten Dehnfuge [€]	173 750,00	86 875,00	43 437,50	28 958,33
Summe [€]	173 750,00	94 812,15	67 259,46	60 843,44

Die Materialkosten für das Herstellen der Arbeitsfuge errechnen sich nun aus der Arbeitsfugenlänge multipliziert mit dem Einheitspreis nach dem in Tabelle 7.8 dargestelltem K7-Blatt.

Tabelle 7.10 Zusammenstellung der Arbeits- und Dehnungsfugen je FA 8 – 14

Fertigungsabschnitte	8	10	12	14
Arbeitsfugenlänge je Geschoss [m]	250,00	300,00	350,00	400,00
Arbeitsfugenlänge gesamt [m]	750,00	900,00	1050,00	1200,00
Anzahl der Streckmetallbügel je Geschoss [-]	1260	1513	1766	2019
Anzahl der Streckmetallbügel gesamt [-]	3780	4539	5298	6057
Materialkosten Arbeitsfuge [€]	13 744,20	16 493,04	19 241,88	21 990,72
Lohnkosten Arbeitsfuge Streckmetal & Rüsten [€]	13 965,00	16 831,50	19 698,00	22 564,50
Materialkosten Stahlmehrverbrauch [€]	6 562,50	7 875,00	9 187,50	10 500,00
Lohnkosten Arbeitsfuge Stahlmehrverbrauch [€]	5 676,56	6 811,88	7 947,19	9 082,50
Kosten Dehnfuge [€]	0,00	0,00	0,00	0,00
Summe [€]	39 948,26	48 011,42	56 074,57	64 137,72

Aus den Tabellen 7.9 und 7.10 lässt sich erkennen, dass sich die Kosten, mit steigender Anzahl der Fertigungsabschnitte ebenfalls erhöhen.

7.4 Kostenkalkulation der Schalungsarbeiten

Im nächsten Kapitel werden die Kosten der Schalung kalkuliert, die ein wesentliches Kostenelement darstellen.

Grundsätzlich können die unterschiedlichen Deckenschalungen, in Abhängigkeit der jeweiligen Bauweisen, wie es Bild 7.7 zeigt, systematisiert werden. Dabei kann die Ortbetonfertigung, die Teilfertig- und die Fertigteilherstellung genannt werden. Im gegenständlichen Beispiel wird von einer Ortbetonfertigung ausgegangen, wobei die Kleinflächenschalsys-

³⁵⁰ Vgl. HOFSTADLER, C.: Zur exakten Ermittlung der Vorhaltermenge von Schalung und Rüstung für die Herstellung von Stahlbetondecken und die Auswirkungen des Frühausschalens auf Bauzeit und Baukosten; Dissertation. S. 235

teme der Träger- mit der Rahmenschalung, auch als Systemschalung bezeichnet, verglichen werden sollen. Bild 7.7 zeigt dazu die geordnete Auflistung, gekennzeichnet durch einen roten Pfad.

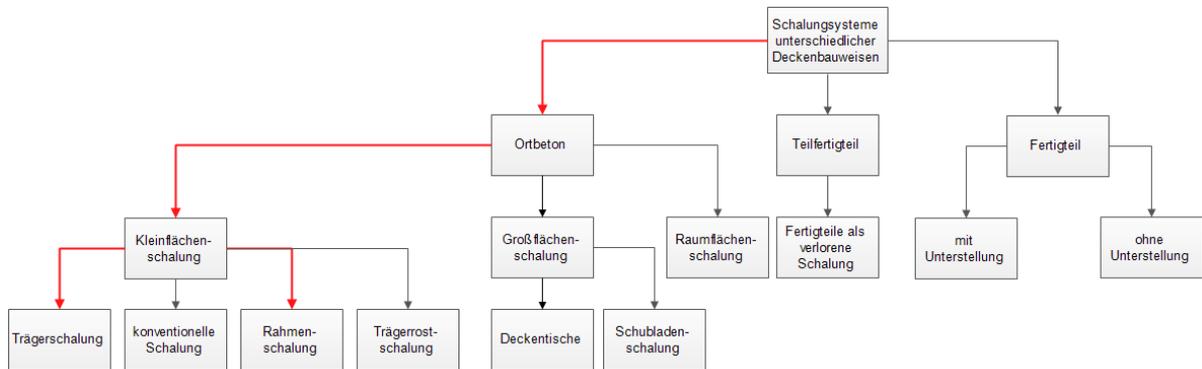


Bild 7.7 Einteilung der Schalungssysteme unterschiedlicher Bauweisen³⁵¹

In der vorliegenden Arbeit werden im Speziellen die MULTIFLEX® Träger-Deckenschalung und die SKYDECK® Alu-Paneel-Deckenschalung von PERI betrachtet.³⁵² Diese werden in den jeweiligen Unterkapiteln als Wegweiser am Seitenrand illustriert.

Nach den Untersuchungen von Hofstadler, nehmen die Schalungskosten einen Anteil von ca. 47 % der Einzelkosten der Stahlbetonarbeiten ein.³⁵³ Davon entfallen weiters 39 % der Kosten auf den Lohnanteil und lediglich 8 % auf den Geräte und Material-Anteil der Schalung.³⁵⁴ Aus dieser Auswertung lässt sich nun ableiten, dass den Lohnkosten und somit den Aufwandswerten, ein besonderes Hauptaugenmerk zu legen ist, da darin ein großes Potential zur Kosteneinsparung im Zusammenhang mit der optimalen Anzahl an Fertigungsabschnitten, liegt.³⁵⁵ Mit diesem, in der Regel stark schwankenden und damit als einen sehr sensibel zu behandelnden Parameter, werden in dieser Arbeit die damit verbundenen Einarbeitungseffekte miteinbezogen. Diese Effekte entstehen dadurch, dass sich aufgrund von bauwerksspezifischen Rahmenbedingungen wie wechselnde Grundrisse, etc. Anlaufwiderstände einstellen, die es zu überwinden gilt.³⁵⁶ In der weiteren Berechnung werden diese durch einen Einarbeitungszuschlag, wie in Gleichung 7.5 dargestellt ermittelt.³⁵⁷

³⁵¹ Weiterentwickelt aus: HOFSTADLER, C.: Schalarbeiten. S. 130

³⁵² <http://www.peri.at/ww/de/produkte.cfm>. Datum des Zugriffs: 08.03.2015

³⁵³ Vgl. HOFSTADLER, C.: Schalarbeiten. S. 30

³⁵⁴ Vgl. HOFSTADLER, C.: Schalarbeiten. S. 31

³⁵⁵ Vgl. HOFSTADLER, C.: Schalarbeiten. S. 32

³⁵⁶ Vgl. HOFSTADLER, C.: Schalarbeiten. S. 370

³⁵⁷ Vgl. HOFSTADLER, C.: Schalarbeiten. S. 371

$$\text{Einarbeitungszuschlag} = \frac{\text{Grundaufwandswert}}{\text{Anzahl der Fertigungsabschnitte gesamt}} \quad (7.5)$$

In diesem Kontext kann noch eine weitere Bezeichnung des Einübungseffektes genannt werden, mit dem aber dem Umstand Sorge getragen wird, dass sich eine Partie auf ein neues Schalungssystem einüben muss. Beim Einarbeitungseffekt wird davon ausgegangen, dass die Partie mit dem Umgang des jeweiligen Systems bereits vertraut ist.

Betrachtet man das System der Schalung, so ist eine Vielzahl an Einflüssen für die Kostenentwicklung verantwortlich. Wie Bild 7.8 zeigt, können die fünf großen Einzelkostenarten Grundkosten, Lohnkosten, Transportkosten, Mietkosten und Material- und Entsorgungskosten verifiziert werden.

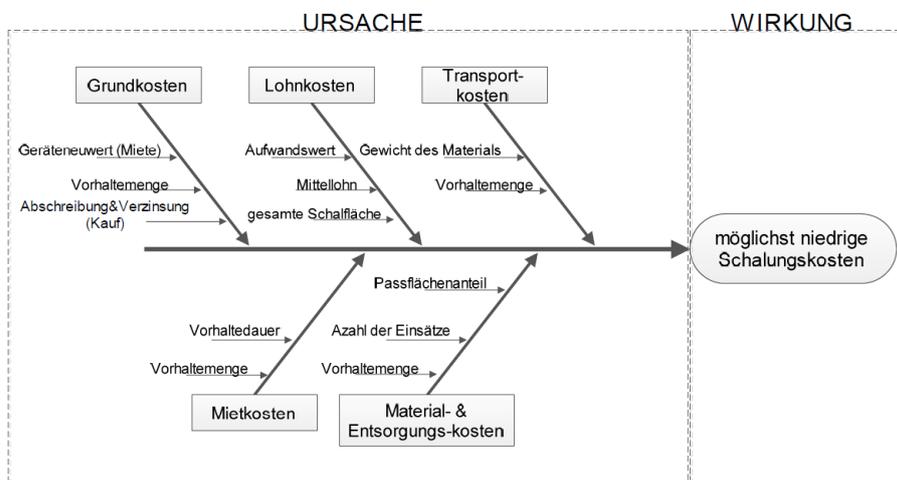


Bild 7.8 Fischgräten-Diagramm als Darstellung der Einflüsse auf die Schalungskosten

Diese sind wiederum von einer Vielzahl an weiteren Faktoren abhängig. Als bedeutenden Einflussparameter, der in fast allen Arten vorkommt, kann die Vorhaltemenge an Schalungsmaterial festgehalten werden. Diese hängt des Weiteren von der Anzahl der Fertigungsabschnitte ab, die deswegen im Zentrum der weiteren Betrachtung steht.

7.4.1 Variation des Aufwandswertes aufgrund der Einarbeitungseffekte bei der Trägerschalung

Im Folgenden werden nun die Aufwandswertentwicklungen in Abhängigkeit der jeweiligen Anzahl an Fertigungsabschnitten dargestellt. Zunächst erfolgt die wertmäßige Auflistung für die Trägerschalung in den Tabellen 7.11 und 7.12.

Tabelle 7.11 Entwicklung der Aufwandswerte für Trägerschalung in Abhängigkeit der Einarbeitungseffekte je FA 1 – 6

Fertigungsabschnitte insgesamt [-]	3		6		12		18	
	Aufwandswert	Lohnstunden	Aufwandswert	Lohnstunden	Aufwandswert	Lohnstunden	Aufwandswert	Lohnstunden
AW Schalung - einschalen [Std/m ²]	0,30	1350,00	0,30	675,00	0,30	337,50	0,30	225,00
Zuschlag für Einarbeitung [Std/m ²]	0,1000	500,00	0,0500	125,00	0,0250	31,25	0,0167	13,89
AW Schalung - ausschalen [Std/m ²]	0,10	500,00	0,10	250,00	0,10	125,00	0,10	83,33
AW Randabschalung [Std/m ²]	1,10	82,50	1,10	41,25	1,10	20,63	1,10	13,75
AW Passflächen schalen [Std/m ²]	0,90	450,00	0,90	225,00	0,90	112,50	0,90	75,00
sonstiges - Arbeitssicherheit [Std/m ²]	0,02	100,00	0,02	50,00	0,02	25,00	0,02	16,67
Gesamtaufwandswert mit Einarbeitung [Std/m ²]	0,5877	2 982,50	0,5384	1 366,25	0,5138	651,88	0,5056	427,64
Gesamtaufwandswert ohne Einarbeitung [Std/m ²]	0,4892	2 482,50	0,4892	1 241,25	0,4892	620,63	0,4892	413,75

Mit dem Grundaufwandswert, der zum einen aus firmenmäßigen Angaben oder aus nachkalkulierten Projekten entstammen kann, wird ein Zuschlag nach der Gleichung 7.5 ermittelt. Der Grundaufwandswert beinhaltet immer nur das reine Einschalen auf einer geraden Fläche, deshalb müssen noch das Ausschalen, der Aufwand zur Herstellung der Randabschalung, sowie ein Aufwandswert zum Schalen der Passflächen und noch ein Anteil für das Errichten von Sicherheitseinrichtungen hinzugechnet werden.

Tabelle 7.12 Entwicklung der Aufwandswerte für Trägerschalung in Abhängigkeit der Einarbeitungseffekte je FA 8 – 14

Fertigungsabschnitte insgesamt [-]	24		30		36		42	
	Aufwandswert	Lohnstunden	Aufwandswert	Lohnstunden	Aufwandswert	Lohnstunden	Aufwandswert	Lohnstunden
AW Schalung - einschalen [Std/m ²]	0,30	168,75	0,30	135,00	0,30	112,50	0,30	96,43
Zuschlag für Einarbeitung [Std/m ²]	0,0125	7,81	0,0100	5,00	0,0083	3,47	0,0071	2,55
AW Schalung - ausschalen [Std/m ²]	0,10	62,50	0,10	50,00	0,10	41,67	0,10	35,71
AW Randabschalung [Std/m ²]	1,10	10,31	1,10	8,25	1,10	6,88	1,10	5,89
AW Passflächen schalen [Std/m ²]	0,90	56,25	0,90	45,00	0,90	37,50	0,90	32,14
sonstiges - Arbeitssicherheit [Std/m ²]	0,02	12,50	0,02	10,00	0,02	8,33	0,02	7,14
Gesamtaufwandswert mit Einarbeitung [Std/m ²]	0,5015	318,13	0,4990	253,25	0,4974	210,35	0,4962	179,87
Gesamtaufwandswert ohne Einarbeitung [Std/m ²]	0,4892	310,31	0,4892	248,25	0,4892	206,88	0,4892	177,32

Aus den beiden Tabellen lässt sich erkennen, dass die Differenz zwischen den Aufwandswerten mit Einarbeitungseffekten und ohne Einarbeitungseffekten bei einem Abschnitt am größten ist und hin zu mehr Fertigungsabschnitten immer mehr abflacht. Mit diesen Grunddaten kann nun die Berechnung von bauablauftechnischen Kennzahlen wie Anzahl der Arbeitskräfte, Schalleistung und der täglichen Arbeitszeit, angeführt werden.



Bild 7.9 MULTIFLEX Träger-Deckenschalung von Peri³⁵⁸

³⁵⁸ http://www.peri.de/ww/de/produkte.cfm/fuseaction/diashow/product_ID/46/app_id/4/imgpath/09_10_multiflex_titel2.jpg
m. Datum des Zugriffs: 08.03.2015

7.4.2 Bauablaufparameter für den Einsatz der Trägerschalung bei Taktfertigung

Eine wichtige Kennzahl im Baumanagement stellt die Arbeitsleistung, wie in Gleichung 7.6 gezeigt, dar.

$$\text{Leistung} \left[\frac{m^2}{d} \right] = \frac{AZ \left[\frac{h}{d} \right] * AK \left[\frac{Std}{h} \right]}{AW \left[\frac{Std}{m^2} \right]} \quad (7.6)$$

Die Leistung errechnet sich aus der täglichen Arbeitszeit multipliziert mit der Anzahl der Arbeitskräfte, dividiert durch den jeweiligen Aufwandswert. Bereits bei der Kalkulation eines Projekts muss eine bestimmte Leistung unter den gegebenen Bedingungen ermittelt werden, um sie dann mit der tatsächlichen Leistung zu vergleichen. Über dieses Kontrollinstrument lassen sich schließlich Aufschlüsse über den aktuellen Stand der Arbeiten herausfiltern.

Im konkreten Beispiel wird die Anzahl der Arbeitskräfte auf Grundlage der zur Verfügung stehenden Arbeiter gewählt. Hofstadler führt zur Zusammensetzung der optimalen Mannschaftsstärke bei Schalarbeiten für Decken an, dass aus einer Expertenbefragung eine Gruppengröße von fünf Arbeitskräften als bestmöglich hervorgegangen ist.³⁵⁹ Daher wird hier angenommen, dass zwei Varianten auftreten können. Einerseits kann eine Partie, bestehend aus fünf Arbeitskräften und andererseits eine Partie aus sechs Arbeitskräften zum Einsatz kommen. Die Tabellen 7.13 und 7.14 zeigen somit, die Zusammenstellung der Parameter je FA und getrennt nach 5er (1. Spalte) und 6er (2. Spalte) Partien.

Tabelle 7.13 Bauablaufkennzahlen je FA 1 – 6 für Trägerschalung bei Taktfertigung

Fertigungsabschnitte	1		2		4		6	
Anzahl der AK [Std/h]	25	30	20	24	20	18	20	18
Dauer Schalen [d]	9,44		6,81		3,40		2,27	
Schalleistung [m ² /d]	529,41		367,35		367,35		367,35	
tägliche Arbeitszeit mit Einarbeitung [h/d]	12,4	10,4	9,9	8,2	9,4	10,5	9,3	10,3
tägliche Arbeitszeit ohne Einarbeitung [h/d]	10,4	8,6	9,0	7,5	9,0	10,0	9,0	10,0
Arbeitsfläche je Arbeitskraft [m ² /AK]	21,2	17,6	18,4	15,3	18,4	20,4	18,4	20,4

Aus diesen Berechnungen ergeben sich unterschiedliche tägliche Arbeitszeiten, in Abhängigkeit des Aufwandswertes. In Vorausschau zu den Berechnungen der Produktivitätsverluste, wird sogleich der zur Verfügung stehende Arbeitsraum je Arbeitskraft nach Gleichung 7.7 ermittelt.

$$\text{Arbeitsraum} \left[\frac{m^2}{AK} \right] = \frac{\text{Leistung} \left[\frac{m^2}{d} \right]}{AK \left[\frac{Std}{h*d} \right]} \quad (7.7)$$

Der zur Verfügung stehende Arbeitsraum je Arbeitskraft errechnet sich aus der täglichen Leistung, dividiert durch die Anzahl der AK pro Tag.

³⁵⁹ Vgl. HOFSTADLER, C.: Einfluss der Bauzeit auf die Produktivität - Neueste Erkenntnisse im Vergleich zur Literatur. In: Tagungsband Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste, 11. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium/2013, S. 191

Tabelle 7.14 Bauablaufkennzahlen je FA 8 – 14 für Trägerschalung bei Taktfertigung

Fertigungsabschnitte	8		10		12		14	
	20	18	20	18	20	18	20	18
Anzahl der AK [Std/h]								
Dauer Schalen [d]	1,70		1,36		1,13		0,97	
Schalleistung [m ² /d]	367,35		367,35		367,35		367,35	
tägliche Arbeitszeit mit Einarbeitung [h/d]	9,2	10,2	9,2	10,2	9,1	10,2	9,1	10,1
tägliche Arbeitszeit ohne Einarbeitung [h/d]	9,0	10,0	9,0	10,0	9,0	10,0	9,0	10,0
Arbeitsfläche je Arbeitskraft [m ² /AK]	18,4	20,4	18,4	20,4	18,4	20,4	18,4	20,4

Zur direkten Gegenüberstellung werden des Weiteren die Ergebnisse aus den Berechnungen für Fließfertigung angeführt.

7.4.3 Bauablaufparameter für den Einsatz der Trägerschalung bei Fließfertigung

Dazu zeigen die Tabellen 7.15 und 7.16 die Resultate aus der Fließfertigungsberechnung.

Tabelle 7.15 Bauablaufkennzahlen je FA 1 – 6 für Trägerschalung bei Fließfertigung

Fertigungsabschnitte	1		2		4		6	
	25	30	15	12	15	12	10	12
Anzahl der AK [Std/h]								
Dauer Schalen [d]	9,44		9,61		5,27		3,63	
Schalleistung [m ² /d]	529,41		260,20		237,24		229,59	
tägliche Arbeitszeit mit Einarbeitung [h/d]	12,4	10,4	9,3	11,7	8,1	10,2	11,6	9,7
tägliche Arbeitszeit ohne Einarbeitung [h/d]	10,4	8,6	8,5	10,6	7,7	9,7	11,2	9,4
Arbeitsfläche je Arbeitskraft [m ² /AK]	21,2	17,6	17,3	21,7	15,8	19,8	23,0	19,1

Aus der Tabelle 7.15 geht hervor, dass im Vergleich zu Tabelle 7.13 der Taktfertigung, sich die Anzahl der Arbeitskräfte verringert, da sich die zur Verfügung stehenden Fertigungsdauern erhöhen. Dazu reduzieren sich die Leistungswerte je Fertigungsabschnitt.

Tabelle 7.16 Bauablaufkennzahlen je FA 8 – 14 für Trägerschalung bei Fließfertigung

Fertigungsabschnitte	8		10		12		14	
	10	12	10	12	10	12	10	12
Anzahl der AK [Std/h]								
Dauer Schalen [d]	2,77		2,24		1,88		1,62	
Schalleistung [m ² /d]	225,77		223,47		221,94		220,85	
tägliche Arbeitszeit mit Einarbeitung [h/d]	11,3	9,4	11,2	9,3	11,0	9,2	11,0	9,1
tägliche Arbeitszeit ohne Einarbeitung [h/d]	11,0	9,2	10,9	9,1	10,9	9,0	10,8	9,0
Arbeitsfläche je Arbeitskraft [m ² /AK]	22,6	18,8	22,3	18,6	22,2	18,5	22,1	18,4

Bei weiterer Betrachtung der Arbeitsfläche je Arbeitskraft erkennt man, dass sich diese mit steigender Anzahl an Fertigungsabschnitten auch verkleinert und sich dadurch auch die Produktivitätsverluste erhöhen.

7.4.4 Variation des Aufwandswertes aufgrund der Einarbeitungseffekte bei der Systemschalung

Nachstehend wird die Aufwandswertentwicklung der Systemschalung in den Tabellen 7.17 und 7.18 dargebracht. Ausgehend von einem Grundaufwandswert wird die weitere Berechnung analog nach Kapitel 7.4.1 durchgeführt.

Tabelle 7.17 Entwicklung der Aufwandswerte für Systemschalung in Abhängigkeit der Einarbeitungseffekte je FA 1 – 6

Fertigungsabschnitte insgesamt [-]	3		6		12		18	
	Aufwandswert	Lohnstunden	Aufwandswert	Lohnstunden	Aufwandswert	Lohnstunden	Aufwandswert	Lohnstunden
AW Schalung - einschalen [Std/m ²]	0,20	880,00	0,20	440,00	0,20	220,00	0,20	146,67
Zuschlag für Einarbeitung [Std/m ²]	0,0667	333,33	0,0333	83,33	0,0167	20,83	0,0111	9,26
AW Schalung - ausschalen [Std/m ²]	0,07	333,33	0,07	166,67	0,07	83,33	0,07	55,56
AW Randabschalung [Std/m ²]	1,20	90,00	1,20	45,00	1,20	22,50	1,20	15,00
AW Passflächen schalen [Std/m ²]	1,00	600,00	1,00	300,00	1,00	150,00	1,00	100,00
sonstiges - Arbeitssicherheit [Std/m ²]	0,02	100,00	0,02	50,00	0,02	25,00	0,02	16,67
Gesamtaufwandswert mit Einarbeitung [Std/m ²]	0,4604	2.336,67	0,4276	1.085,00	0,4112	521,67	0,4057	343,15
Gesamtaufwandswert ohne Einarbeitung [Std/m ²]	0,3947	2.003,33	0,3947	1.001,67	0,3947	500,83	0,3947	333,89



Bild 7.10 SKYDECK Alu-Panel-Deckenschalung von Peri³⁶⁰

Im Vergleich zur Trägerschalung kann festgehalten werden, dass der Grundaufwandswert mit 0,2 Std/m² geringer als bei der Trägerschalung ausfällt. Demgegenüber fällt aber der Aufwand für das Schalen der Passflächen höher aus.

Tabelle 7.18 Entwicklung der Aufwandswerte für Systemschalung in Abhängigkeit der Einarbeitungseffekte je FA 8 – 14

Fertigungsabschnitte insgesamt [-]	24		30		36		42	
	Aufwandswert	Lohnstunden	Aufwandswert	Lohnstunden	Aufwandswert	Lohnstunden	Aufwandswert	Lohnstunden
AW Schalung - einschalen [Std/m ²]	0,20	110,00	0,20	88,00	0,20	73,33	0,20	62,86
Zuschlag für Einarbeitung [Std/m ²]	0,0083	5,21	0,0067	3,33	0,0056	2,31	0,0048	1,70
AW Schalung - ausschalen [Std/m ²]	0,07	41,67	0,07	33,33	0,07	27,78	0,07	23,81
AW Randabschalung [Std/m ²]	1,20	11,25	1,20	9,00	1,20	7,50	1,20	6,43
AW Passflächen schalen [Std/m ²]	1,00	75,00	1,00	60,00	1,00	50,00	1,00	42,86
sonstiges - Arbeitssicherheit [Std/m ²]	0,02	12,50	0,02	10,00	0,02	8,33	0,02	7,14
Gesamtaufwandswert mit Einarbeitung [Std/m ²]	0,4030	255,63	0,4013	203,67	0,4002	169,26	0,3994	144,80
Gesamtaufwandswert ohne Einarbeitung [Std/m ²]	0,3947	250,42	0,3947	200,33	0,3947	166,94	0,3947	143,10

Aus den Gesamtaufwandswerten lässt sich wieder dieselbe Tendenz wie aus Kapitel 8.4.1 ableiten.

7.4.5 Bauablaufparameter für den Einsatz der Systemschalung bei Taktfertigung

In der gleichen Weise wie bei der Trägerschalung, wird hier in den Tabellen 7.19 und 7.20, auf die wesentlichen Bauablaufparameter eingegangen.

Tabelle 7.19 Bauablaufkennzahlen je FA 1 – 6 für Systemschalung bei Taktfertigung

Fertigungsabschnitte	1		2		4		6	
	20	24	15	18	15	12	15	12
Anzahl der AK [Std/h]								
Dauer Schalen [d]	9,44		6,81		3,40		2,27	
Schalleistung [m ² /d]	529,41		367,35		367,35		367,35	
tägliche Arbeitszeit mit Einarbeitung [h/d]	12,2	10,2	10,5	8,7	10,1	12,6	9,9	12,4
tägliche Arbeitszeit ohne Einarbeitung [h/d]	10,4	8,7	9,7	8,1	9,7	12,1	9,7	12,1
Arbeitsfläche je Arbeitskraft [m ² /AK]	26,5	22,1	24,5	20,4	24,5	30,6	24,5	30,6

³⁶⁰http://www.peri.de/ww/de/produkte.cfm/fuseaction/dia/show/product_ID/44/app_id/4/imgpath/08_10_skydeck_titel.jpg.cfm. Datum des Zugriffs: 08.03.2015

Vergleicht man nun die Ergebnisse aus den Tabellen 7.13 und 7.14, so erkennt man, dass es bei der Systemschalung zu einer Reduktion der Anzahl an Arbeitskräften um rund eine Partie kommt. Demzufolge erhöht sich auch die Arbeitsfläche je Arbeitskraft.

Tabelle 7.20 Bauablaufkennzahlen je FA 8 – 14 für Systemschalung bei Taktfertigung

Fertigungsabschnitte	8		10		12		14	
Anzahl der AK [Std/h]	15	12	15	12	15	12	15	12
Dauer Schalen [d]	1,70		1,36		1,13		0,97	
Schalleistung [m ² /d]	367,35		367,35		367,35		367,35	
tägliche Arbeitszeit mit Einarbeitung [h/d]	9,9	12,3	9,8	12,3	9,8	12,3	9,8	12,2
tägliche Arbeitszeit ohne Einarbeitung [h/d]	9,7	12,1	9,7	12,1	9,7	12,1	9,7	12,1
Arbeitsfläche je Arbeitskraft [m ² /AK]	24,5	30,6	24,5	30,6	24,5	30,6	24,5	30,6

7.4.6 Bauablaufparameter für den Einsatz der Systemschalung bei Fließfertigung

Schließlich wird noch auf die Ergebnisse aus dem Bauablauf bei der Fließfertigung für die Systemschalung in den Tabelle 7.21 und 7.22 eingegangen.

Tabelle 7.21 Bauablaufkennzahlen je FA 1 – 6 für Systemschalung bei Fließfertigung

Fertigungsabschnitte	1		2		4		6	
Anzahl der AK Partie [Std/h]	20	24	10	12	10	12	10	12
Dauer Schalen [d]	9,44		9,61		5,27		3,63	
Schalleistung [m ² /d]	529,41		260,20		237,24		229,59	
tägliche Arbeitszeit mit Einarbeitung [h/d]	12,2	10,2	11,1	9,3	9,8	8,1	9,3	7,8
tägliche Arbeitszeit ohne Einarbeitung [h/d]	10,4	8,7	10,3	8,6	9,4	7,8	9,1	7,6
Arbeitsfläche je Arbeitskraft [m ² /AK]	26,5	22,1	26,0	21,7	23,7	19,8	23,0	19,1

Die Tabellen 7.21 und 7.22 zeigen wiederum einen Abfall in der benötigten Leistung mit steigender Anzahl der Fertigungsabschnitte. Aus den Tabellen geht zusätzlich hervor, dass ab sechs Fertigungsabschnitten die täglich vorausgesetzte Normalarbeitszeit von 8 h/d unterschritten wird. Aufgrund des Umstandes, dass sich der Bauablauf grundsätzlich nicht exakt modellieren lässt und der Aufwandswert, der die Grundlage dieser Berechnung ist, auch wesentlich schwanken kann, wird diese rechnerische Unschärfe toleriert.

Tabelle 7.22 Bauablaufkennzahlen je FA 8 – 14 für Systemschalung bei Fließfertigung

Fertigungsabschnitte	8		10		12		14	
Anzahl der AK Partie [Std/h]	10	12	10	12	10	12	10	12
Dauer Schalen [d]	2,77		2,24		1,88		1,62	
Schalleistung [m ² /d]	225,77		223,47		221,94		220,85	
tägliche Arbeitszeit mit Einarbeitung [h/d]	9,1	7,6	9,0	7,5	8,9	7,4	8,8	7,4
tägliche Arbeitszeit ohne Einarbeitung [h/d]	8,9	7,4	8,8	7,4	8,8	7,3	8,7	7,3
Arbeitsfläche je Arbeitskraft [m ² /AK]	22,6	18,8	22,3	18,6	22,2	18,5	22,1	18,4

Zudem reduziert sich erwartungsgemäß auch wieder der zur Verfügung stehende Arbeitsraum.

7.4.7 Vorhaltemenge

Die Berechnung der Vorhaltemenge an Schalung und Rüstung ist von entscheidender Bedeutung, da das vorhandene Schalvolumen zu einem kontinuierlichen, möglichst reibungslosen Bauablauf beitragen sollte.³⁶¹ Hält man beispielsweise zu viel Schalungsmaterial auf der Baustelle vor, so bedeutet dies, dass durch ungenutztes Material Leerkosten entstehen, im Gegenzug dazu entstehen bei zu wenig Schalungsmaterial Wartezeiten für die Schalungspartie und dadurch Verzögerungen auf alle nachfolgenden Vorgänge.³⁶² Die Vorhaltemenge wird zudem von der Ausschallfrist der jeweiligen Schalelemente beeinflusst. Hofstadler untersuchte in seiner Arbeit unterschiedliche Fristen, in Abhängigkeit der jeweiligen Betongüte und des jeweiligen Bauablaufmodells.³⁶³ Die Ausschallfristen sind grundsätzlich nach dem Regelwerk der ÖNORM B 4200 vorgegeben.³⁶⁴ Für vorliegendes Beispiel wird die Ausschallfrist für das Trägerschalungssystem mit 18 Kalendertagen und für die Systemschalung mit 10 Tagen für die Schalelemente angenommen. Für die Unterstellungen bei der Systemschalung werden 18 Kalendertage anberaumt. Zur Berechnung der Vorhaltemenge können aber nur die Werkzeuge berücksichtigt werden, da nur an diesen eine Arbeitsleistung vollbracht wird. Daher muss eine Umrechnung, wie in Tabelle 7.23 gezeigt durch einen Reduktionsfaktor α geschehen.³⁶⁵

Tabelle 7.23 Ermittlung des Reduktionsfaktors Alpha für Trägerschalung

Schalung+Rüstung Trägerschalung			
Kalendertage	Ausschallfrist	Arbeitstage	Alpha
Montag	18	14	0,7778
Dienstag	18	14	0,7778
Mittwoch	18	13	0,7222
Donnerstag	18	12	0,6667
Freitag	18	12	0,6667
Samstag			3,6111
Sonntag			0,7222

Mit der Ausschallfrist wird die Erhärtungszeit des Betons, nachdem er eine bestimmte Tragfähigkeit erreicht hat, verstanden.

Tabelle 7.23 zeigt, dass bei einer Ausschallfrist von 18 Kalendertagen rund 72 % davon an Werktagen fallen. Konkret sind das im Mittel rund 13 Werkzeuge (Mo – Fr).

³⁶¹ Vgl. HOFSTADLER, C.: Zur exakten Ermittlung der Vorhaltemenge von Schalung und Rüstung für die Herstellung von Stahlbetondecken und die Auswirkungen des Frühausschalens auf Bauzeit und Baukosten; Dissertation. S. 106

³⁶² Vgl. HOFSTADLER, C.: Zur exakten Ermittlung der Vorhaltemenge von Schalung und Rüstung für die Herstellung von Stahlbetondecken und die Auswirkungen des Frühausschalens auf Bauzeit und Baukosten; Dissertation. S. 106ff

³⁶³ Vgl. HOFSTADLER, C.: Zur exakten Ermittlung der Vorhaltemenge von Schalung und Rüstung für die Herstellung von Stahlbetondecken und die Auswirkungen des Frühausschalens auf Bauzeit und Baukosten; Dissertation. S. 11f

³⁶⁴ Vgl. HOFSTADLER, C.: Zur exakten Ermittlung der Vorhaltemenge von Schalung und Rüstung für die Herstellung von Stahlbetondecken und die Auswirkungen des Frühausschalens auf Bauzeit und Baukosten; Dissertation. S. 120

³⁶⁵ Vgl. HOFSTADLER, C.: Zur exakten Ermittlung der Vorhaltemenge von Schalung und Rüstung für die Herstellung von Stahlbetondecken und die Auswirkungen des Frühausschalens auf Bauzeit und Baukosten; Dissertation. S. 121f

Tabelle 7.24 Ermittlung des Reduktionsfaktors Alpha für Systemschalung

Elemente Systemschalung			
Kalendertage	Ausschalfrist	Arbeitstage	Alpha
Montag	10	8	0,8000
Dienstag	10	8	0,8000
Mittwoch	10	8	0,8000
Donnerstag	10	7	0,7000
Freitag	10	6	0,6000
Samstag			3,7000
Sonntag			0,7400

Tabelle 7.24 zeigt das sinngemäße gleiche Vorgehen bei der Systemschalung.

Im nächsten Schritt erfolgt die Berechnung der Vorhaltemengen an Schalung für jedes Schalsystem, in Abhängigkeit der Anzahl der Fertigungsabschnitte in den Tabellen 7.25 und 7.26. Dabei sei erwähnt, dass diese Berechnungen, nach den Grundgleichungen für Taktfertigung, von Hofstadler anschließen und hier nicht mehr explizit angeführt werden.³⁶⁶

Tabelle 7.25 Vorhaltemenge und Schalungskosten je FA 1 – 6 bei Taktfertigung für Trägerschalung

Fertigungsabschnitte	1	2	4	6
Vorhaltemenge [m ²]	11 882,35	7 275,51	4 275,51	3 275,51
Anzahl der Einsätze [-]	1,28	2,06	3,51	4,58
Mietdauer Werkzeuge [d]	113,00	113,00	113,00	113,00
Mietdauer Kalendertage [d]	158,20	158,20	158,20	158,20
Geräte&Materialkosten [€]	166 224,24	104 910,66	66 609,07	53 908,63
Lohnkosten mit Einarbeitung [€]	313 162,50	286 912,50	273 787,50	269 412,50
Summe mit Einarbeitung [€]	479 386,74	391 823,16	340 396,57	323 321,13
Lohnkosten ohne Einarbeitung [€]	260 662,50	260 662,50	260 662,50	260 662,50
Summe ohne Einarbeitung [€]	426 886,74	365 573,16	327 271,57	314 571,13



MULTIFLEX Träger-Deckenschalung³⁶⁷

Aus den Tabellen 7.25 und 7.26 können die jeweilige Vorhaltemenge, sowie die Anzahl der Einsätze des Schalungssatzes des ersten Abschnittes und auch die Mietdauer in Kalender- und Werktagen entnommen werden.

³⁶⁶ Vgl. HOFSTADLER, C.: Zur exakten Ermittlung der Vorhaltemenge von Schalung und Rüstung für die Herstellung von Stahlbetondecken und die Auswirkungen des Frühausschalens auf Bauzeit und Baukosten; Dissertation, S. 128ff

³⁶⁷ http://www.peri.de/ww/de/produkte.cfm/fuseaction/dia/show/product_ID/46/app_id/4/imgpath/09_10_multiflex_titel2.jpg cfm. Datum des Zugriffs: 08.03.2015

Tabelle 7.26 Vorhaltemenge und Schalungskosten je FA 8 – 14 bei Taktfertigung für Trägerschalung

Fertigungsabschnitte	8	10	12	14
Vorhaltemenge [m ²]	2 775,51	2 475,51	2 275,51	2 132,65
Anzahl der Einsätze [-]	5,40	6,06	6,59	7,03
Mietdauer Werkzeuge [d]	113,00	113,00	113,00	113,00
Mietdauer Kalendertage [d]	158,20	158,20	158,20	158,20
Geräte&Materialkosten [€]	47 583,45	43 799,79	41 354,11	39 540,84
Lohnkosten mit Einarbeitung [€]	267 225,00	265 912,50	265 037,50	264 412,50
Summe mit Einarbeitung [€]	314 808,45	309 712,29	306 391,61	303 953,34
Lohnkosten ohne Einarbeitung [€]	260 662,50	260 662,50	260 662,50	260 662,50
Summe ohne Einarbeitung [€]	308 245,95	304 462,29	302 016,61	300 203,34

Aus der Berechnung geht zudem hervor, dass sich die Vorhaltemenge an Schalung mit steigender Anzahl der Abschnitte reduziert.

Im Vergleich dazu wird in den Tabellen 7.27 und 7.28 die Vorhaltemenge der Systemschalung gegenübergestellt.

Tabelle 7.27 Vorhaltemenge und Schalungskosten je FA 1 – 6 bei Taktfertigung für Systemschalung

Fertigungsabschnitte	1	2	4	6
Vorhaltemenge Schalung [m ²]	8.917,65	6.268,37	3.968,37	2.385,03
Vorhaltemenge Rüstung [m ²]	11.882,35	8.325,51	6.025,51	4.442,18
Anzahl der Einsätze der Schalung [-]	1,68	2,39	3,78	6,29
Anzahl der Einsätze der Rüstung [-]	1,26	1,80	2,49	3,38
Mietdauer der Schalung Arbeitstage [d]	107,40	107,40	107,40	107,40
Mietdauer der Rüstung Arbeitstage [d]	113,00	113,00	113,00	113,00
Mietdauer Schalung Kalendertage [d]	150,36	150,36	150,36	150,36
Mietdauer Rüstung Kalendertage [d]	158,20	158,20	158,20	158,20
Geräte&Materialkosten [€]	230.912,72	166.713,29	114.549,62	78.857,40
Lohnkosten mit Einarbeitung [€]	245.350,00	227.850,00	219.100,00	216.183,33
Summe mit Einarbeitung [€]	476.262,72	394.563,29	333.649,62	295.040,73
Lohnkosten ohne Einarbeitung [€]	210.350,00	210.350,00	210.350,00	210.350,00
Summe ohne Einarbeitung [€]	441.262,72	377.063,29	324.899,62	289.207,40



SKYDECK Alu-Panel-Deckenschalung³⁶⁸

Bei der Systemschalung wird nun in eine Vorhaltemenge der Schalungselemente selbst und in jene der Unterstützung bzw. Rüstung unterschieden.

Tabelle 7.28 Vorhaltemenge und Schalungskosten je FA 8 – 14 bei Taktfertigung für Systemschalung

Fertigungsabschnitte	8	10	12	14
Vorhaltemenge Schalung [m ²]	1.899,62	1.468,37	1.385,03	1.175,51
Vorhaltemenge Rüstung [m ²]	3.650,51	3.525,51	3.442,18	3.232,65
Anzahl der Einsätze der Schalung [-]	7,90	10,22	10,83	12,76
Anzahl der Einsätze der Rüstung [-]	4,11	4,25	4,36	4,64
Mietdauer der Schalung Arbeitstage [d]	107,40	107,40	107,40	107,40
Mietdauer der Rüstung Arbeitstage [d]	113,00	113,00	113,00	113,00
Mietdauer Schalung Kalendertage [d]	150,36	150,36	150,36	150,36
Mietdauer Rüstung Kalendertage [d]	158,20	158,20	158,20	158,20
Geräte&Materialkosten [€]	67.508,05	58.548,65	56.725,95	52.108,79
Lohnkosten mit Einarbeitung [€]	214.725,00	213.850,00	213.266,67	212.850,00
Summe mit Einarbeitung [€]	282.233,05	272.398,65	269.992,62	264.958,79
Lohnkosten ohne Einarbeitung [€]	210.350,00	210.350,00	210.350,00	210.350,00
Summe ohne Einarbeitung [€]	277.858,05	268.898,65	267.075,95	262.458,79

Zusammenfassend werden die Ergebnisse der Vorhaltemengen in den Bildern 7.11 und 7.13 angeführt. Man erkennt, dass mit steigender Anzahl an Fertigungsabschnitten, die Vorhaltemenge sinkt. Das bedeutet, dass auch die Schalungskosten sinken.

³⁶⁸http://www.peri.de/ww/de/produkte.cfm/fuseaction/diashow/product_ID/44/app_id/4/imgpath/08_10_skydeck_titel.jpg.cfm. Datum des Zugriffs: 08.03.2015

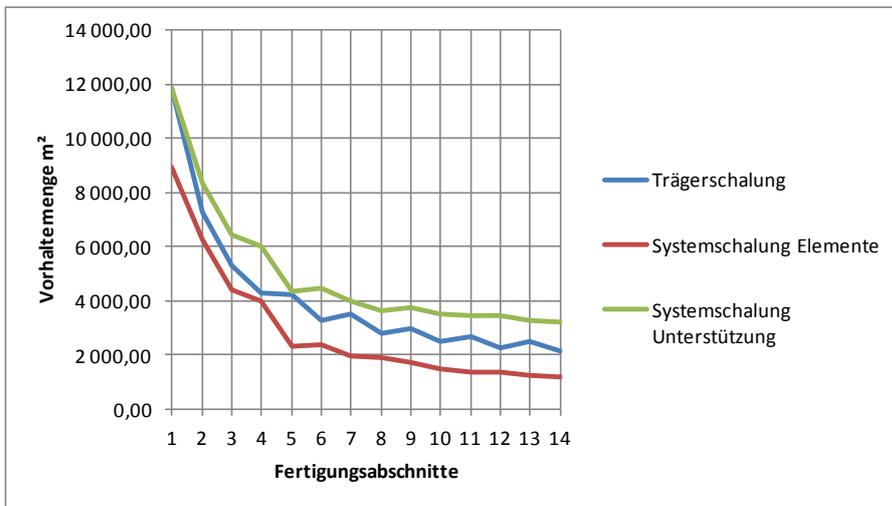


Bild 7.11 Vorhaltemengen in Abhängigkeit der Fertigungsabschnitte bei Taktfertigung

Das Ergebnis aus Bild 7.11 deckt sich auch mit jenem aus der Arbeit von Hofstadler, der zudem noch die Auswirkungen des Frühausschalens beim Einsatz unterschiedlicher Betonsorten untersuchte.³⁶⁹ Daraus folgend kann die Kalkulation der fünf Kostenelemente aus Bild 7.8 durchgeführt werden. Das Ergebnis wird in Bild 7.12 dargestellt und zeigt, die unterschiedliche Kostenentwicklung in Abhängigkeit der Lohnkostenanteile mit bzw. ohne Einarbeitungseffekten.

³⁶⁹ Vgl. HOFSTADLER, C.: Zur exakten Ermittlung der Vorhaltemenge von Schalung und Rüstung für die Herstellung von Stahlbetondecken und die Auswirkungen des Frühausschalens auf Bauzeit und Baukosten; Dissertation. S. 225

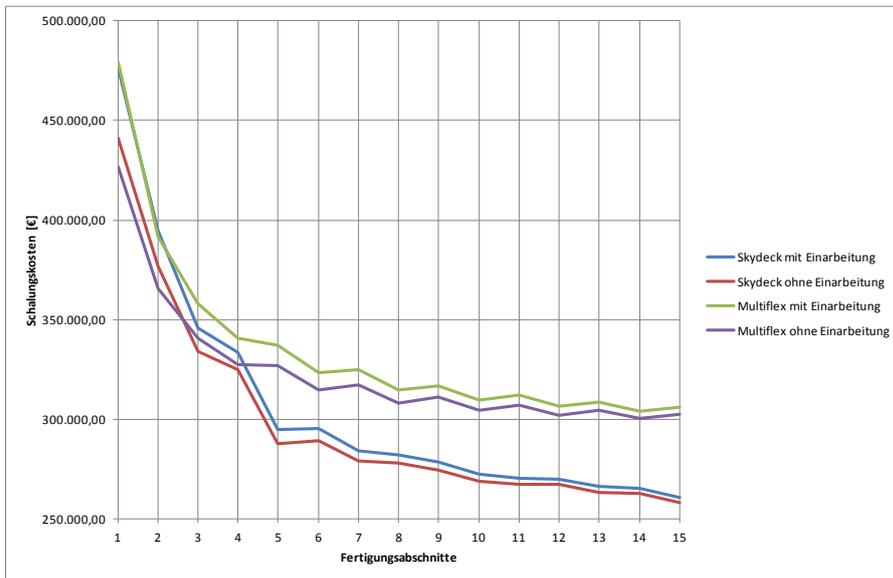


Bild 7.12 Kostenentwicklungsvergleich der beiden Schalsysteme bei Taktfertigung

Aus Bild 7.12 lässt sich erkennen, dass ungefähr bis vier Fertigungsabschnitten das Trägerschalensystem MULTIFLEX geringere Kosten verursacht als die Systemschalung SKYDECK. Ab fünf Fertigungsabschnitten wird die Systemschalung günstiger, was sich auch als Trend fortsetzt.

Nachdem die Vorhaltemengen für Taktfertigung ermittelt wurden, können nachfolgend dieselben Berechnungen für Fließfertigung angestellt werden. Dabei sind die wesentlichen Gleichungen nach Hofstadler angeführt.³⁷⁰

Zunächst muss die Standzeit der Schalung des ersten Abschnittes nach Gleichung 7.8 ermittelt werden.

$$\text{Standzeit der Schalung } [d] = T_A * \alpha + d_{bt} + d_{bw} - d_{abs} \quad (7.8)$$

Des Weiteren erfolgt die Überprüfung, ob das Ende der Standzeit der Schalung des ersten Abschnittes, hinter der Fertigstellung des letzten Abschnittes liegt. Dazu gilt die Gleichung 7.9 für Anzahl der Fertigungsabschnitte ≥ 2 und Anzahl der Regelgeschosse ≥ 2 .³⁷¹

$$\alpha * T_A \geq (n_g * n_{fa} - 1) * ds - d_{bw} - d_{bt} + d_{abs} \quad (7.9)$$

³⁷⁰ Vgl. HOFSTADLER, C.: Zur exakten Ermittlung der Vorhaltemenge von Schalung und Rüstung für die Herstellung von Stahlbetondecken und die Auswirkungen des Frühausschalens auf Bauzeit und Baukosten; Dissertation, S. 108f

³⁷¹ Vgl. HOFSTADLER, C.: Zur exakten Ermittlung der Vorhaltemenge von Schalung und Rüstung für die Herstellung von Stahlbetondecken und die Auswirkungen des Frühausschalens auf Bauzeit und Baukosten; Dissertation, S. 113ff

Wenn diese Gleichung erfüllt ist, dann berechnet sich die Vorhaltemenge nach Gleichung 7.10, ansonsten nach Gleichung 7.11.³⁷²

$$\text{Vorhaltemenge} = F_{RG} * n_g \tag{7.10}$$

Gleichung 7.10 drückt aus, dass die gesamte zu schalende Deckenfläche vorgehalten werden muss, da die Ausschallfrist über die Dauer der Fertigung der weiteren Geschosse hinausgeht. Wird die Gleichung 7.9 nicht erfüllt, so gilt Gleichung 7.11.

$$\text{Vorhaltemenge} = \frac{F_{RG}}{n_{fa}} + L_s * S_D \tag{7.11}$$

Mit diesen Gleichungen können wiederum die Vorhaltemengen und daraus folgenden Schalungskosten in den Tabellen 7.29 und 7.30 errechnet werden.

Tabelle 7.29 Vorhaltemenge und Schalungskosten je FA 1 – 6 bei Fließfertigung für Trägerschalung

Fertigungsabschnitte	1	2	4	6
Standzeit der Schalung [d]	36,22	26,45	20,52	17,90
Vorhaltemenge [m ²]	6 588,24	9 382,65	6 590,09	5 490,99
Anzahl der Einsätze [-]	2,31	1,60	2,28	2,73
Mietdauer Arbeitstage [d]	113,00	113,00	113,00	113,00
Mietdauer Kalendertage [d]	158,20	158,20	158,20	158,20
Geräte&Materialkosten [€]	96 278,30	134 101,46	96 301,60	82 496,54
Lohnkosten mit Einarbeitung [€]	313 162,50	286 912,50	273 787,50	269 412,50
Summe mit Einarbeitung [€]	409 440,80	421 013,96	370 089,10	351 909,04
Lohnkosten ohne Einarbeitung [€]	260 662,50	260 662,50	260 662,50	260 662,50
Summe ohne Einarbeitung [€]	356 940,80	394 763,96	356 964,10	343 159,04



MULTIFLEX Träger-Deckenschalung³⁷³

Aus den Tabellen 7.29 und 7.30 sieht man, dass sich die Standzeit der Schalung mit fortlaufender Anzahl an Fertigungsabschnitten wesentlich reduziert.

Tabelle 7.30 Vorhaltemenge und Schalungskosten je FA 8 – 14 bei Fließfertigung für Trägerschalung

Fertigungsabschnitte	8	10	12	14
Standzeit der Schalung [d]	16,52	15,67	15,10	14,68
Vorhaltemenge [m ²]	4 924,08	4 578,05	4 344,82	4 176,95
Anzahl der Einsätze [-]	3,05	3,28	3,45	3,59
Mietdauer Arbeitstage [d]	113,00	113,00	113,00	113,00
Mietdauer Kalendertage [d]	158,20	158,20	158,20	158,20
Geräte&Materialkosten [€]	74 661,17	70 365,11	67 469,53	65 385,46
Lohnkosten mit Einarbeitung [€]	267 225,00	265 912,50	265 037,50	264 412,50
Summe mit Einarbeitung [€]	341 886,17	336 277,61	332 507,03	329 797,96
Lohnkosten ohne Einarbeitung [€]	260 662,50	260 662,50	260 662,50	260 662,50
Summe ohne Einarbeitung [€]	335 323,67	331 027,61	328 132,03	326 047,96

Zudem erkennt man, dass die Vorhaltemenge bei einem Abschnitt wesentlich geringer ausfällt als vergleichsweise bei zwei Fertigungsabschnitten. Dies rührt aus dem Umstand her, als dass bei einem Abschnitt, Wartezeiten aufgrund der Herstellung der vertikalen Tragglieder auftreten, was bei zwei Abschnitten nicht der Fall ist und somit mehr

³⁷² Vgl. HOFSTADLER, C.: Zur exakten Ermittlung der Vorhaltemenge von Schalung und Rüstung für die Herstellung von Stahlbetondecken und die Auswirkungen des Frühausschalens auf Bauzeit und Baukosten; Dissertation, S. 111ff

³⁷³ http://www.peri.de/ww/de/produkte.cfm/fuseaction/diashow/product_ID/46/app_id/4/imgpath/09_10_multiflex_titel2.jpg cfm. Datum des Zugriffs: 08.03.2015

Schalmaterial verbaut werden kann. Die Tabellen 7.31 und 7.32 zeigen die Gegenüberstellung der Vorhaltemengen bei Fließfertigung für die Systemschalung.

Tabelle 7.31 Vorhaltemenge und Schalungskosten je FA 1 – 6 bei Fließfertigung für Systemschalung

Fertigungsabschnitte	1	2	4	6
Vorhaltemenge Schalung [m ²]	5.000,00	7.925,51	4.755,61	3.698,98
Vorhaltemenge Rüstung [m ²]	6.588,24	9.382,65	6.590,09	5.490,99
Anzahl der Einsätze der Schalung [-]	3,00	1,89	3,15	4,06
Anzahl der Einsätze der Rüstung [-]	2,28	1,60	2,28	2,73
Mietdauer der Schalung Arbeitstage [d]	107,40	107,40	107,40	107,40
Mietdauer der Rüstung Arbeitstage [d]	113,00	113,00	113,00	113,00
Mietdauer Schalung Kalendertage [d]	150,36	150,36	150,36	150,36
Mietdauer Rüstung Kalendertage [d]	158,20	158,20	158,20	158,20
Geräte&Materialkosten [€]	137.396,53	205.368,44	131.588,01	107.654,40
Lohnkosten mit Einarbeitung [€]	245.350,00	227.850,00	219.100,00	216.183,33
Summe mit Einarbeitung [€]	382.746,53	433.218,44	350.688,01	323.837,73
Lohnkosten ohne Einarbeitung [€]	210.350,00	210.350,00	210.350,00	210.350,00
Summe ohne Einarbeitung [€]	347.746,53	415.718,44	341.938,01	318.004,40



SKYDECK Alu-Panel-Deckenschalung³⁷⁴

In den angeführten Tabellen erkennt man, dass sich die Standzeit der Schalung wesentlich in Abhängigkeit der Abschnitte reduziert. Zudem sind noch die Anzahl der möglichen Einsätze der Vorhaltemenge errechnet worden. Bei der Systemschalung können die Schalungselemente frühzeitig ausgeschalt werden, sodass diese im nächsten Abschnitt wieder eingesetzt werden können. Die Unterstüztung bleibt jedoch länger untergestellt, deshalb ergibt sich eine Differenz zwischen Schalung und der Unterstüztung.

Tabelle 7.32 Vorhaltemenge und Schalungskosten je FA 8 – 14 bei Fließfertigung für Systemschalung

Fertigungsabschnitte	8	10	12	14
Vorhaltemenge Schalung [m ²]	3.170,66	2.853,67	2.642,35	2.491,40
Vorhaltemenge Rüstung [m ²]	4.924,08	4.578,05	4.344,82	4.176,95
Anzahl der Einsätze der Schalung [-]	4,73	5,26	5,68	6,02
Anzahl der Einsätze der Rüstung [-]	3,05	3,28	3,45	3,59
Mietdauer der Schalung Arbeitstage [d]	107,40	107,40	107,40	107,40
Mietdauer der Rüstung Arbeitstage [d]	113,00	113,00	113,00	113,00
Mietdauer Schalung Kalendertage [d]	150,36	150,36	150,36	150,36
Mietdauer Rüstung Kalendertage [d]	158,20	158,20	158,20	158,20
Geräte&Materialkosten [€]	95.901,68	88.639,47	83.940,26	80.457,13
Lohnkosten mit Einarbeitung [€]	214.725,00	213.850,00	213.266,67	212.850,00
Summe mit Einarbeitung [€]	310.626,68	302.489,47	297.206,92	293.307,13
Lohnkosten ohne Einarbeitung [€]	210.350,00	210.350,00	210.350,00	210.350,00
Summe ohne Einarbeitung [€]	306.251,68	298.989,47	294.290,26	290.807,13

Bild 7.13 stellt die Ergebnisse der Vorhaltemengen bei Fließfertigung gegenüber.

³⁷⁴http://www.peri.de/ww/de/produkte.cfm/fuseaction/diashow/product_ID/44/app_id/4/imgpath/08_10_skydeck_titel.jpg.cfm. Datum des Zugriffs: 08.03.2015

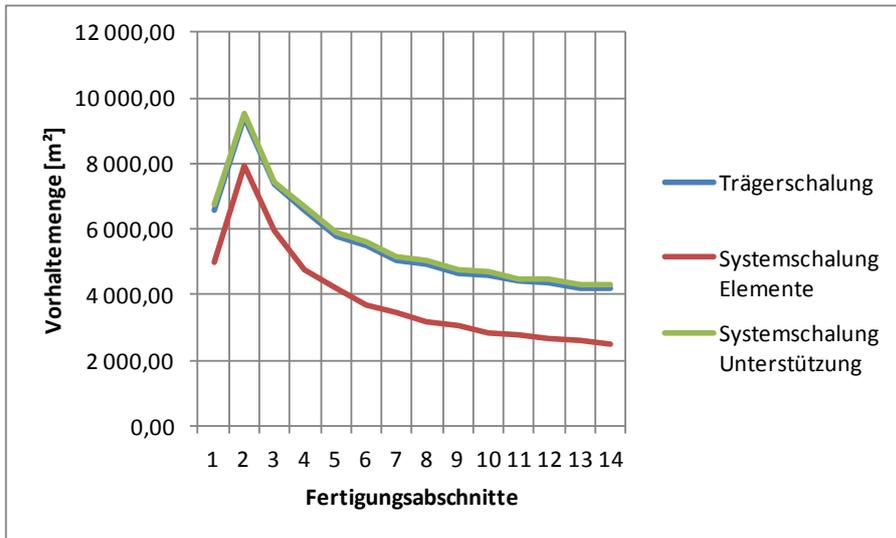


Bild 7.13 Vorhaltemengen in Abhängigkeit der Fertigungsabschnitte bei Fließfertigung

Man erkennt, dass für die Systemschalung weniger Schalungsmaterial vorgehalten werden muss, jedoch gleichviel Unterstützungsmaterial wie bei dem Trägerschalensystem. Dies ergibt sich daraus, dass für beide Systeme dieselbe Ausschalfzeit gewählt wurde. Die Ergebnisse aus den Bildern 7.13 und 7.14 decken sich mit jenen von Hofstadler.³⁷⁵

³⁷⁵ Vgl. HOFSTADLER, C.: Zur exakten Ermittlung der Vorhaltemenge von Schalung und Rüstung für die Herstellung von Stahlbetondecken und die Auswirkungen des Frühausschalens auf Bauzeit und Baukosten; Dissertation. S. 259

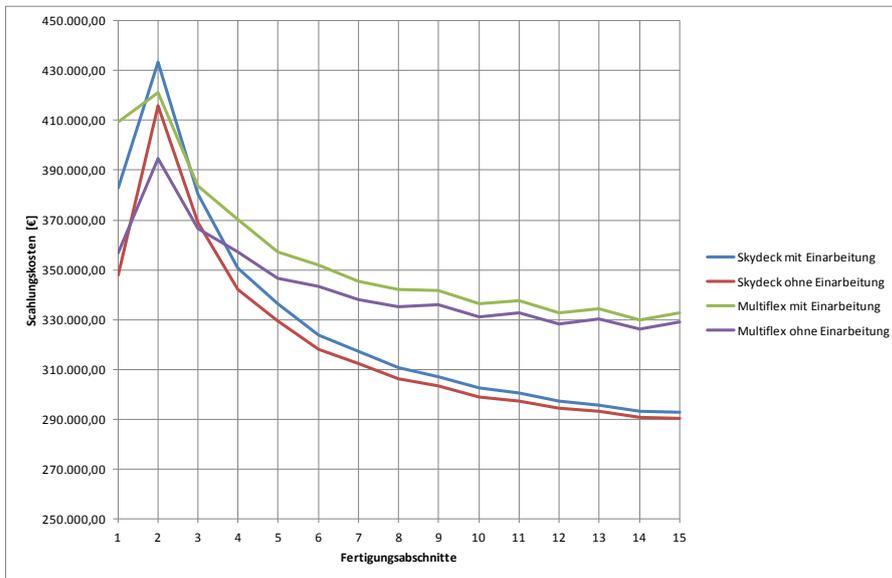


Bild 7.14 Kostenentwicklungsvergleich der beiden Schalsysteme bei Fließfertigung

Schlussendlich kann noch analog zu Bild 7.12, ein Kostenentwicklungsvergleich der beiden Systeme bei Fließfertigung, wie Bild 7.14 zeigt, gezogen werden. Aus Bild 7.14 ist gut ersichtlich, dass sich ab vier Fertigungsabschnitten die Systemschalung günstiger entwickelt als die Trägerschalung.

Wenn man die Bauablaufplanungen der Fließ- mit jener der Taktfertigung ganzheitlich vergleichen möchte, so ist man angehalten sich mit etwaigen Produktivitätsverlusten auseinanderzusetzen.

7.4.8 Produktivitätsverluste bei den Schalarbeiten

Durch den Einbezug der Produktivitätsverluste geschieht eine Systematisierung der Einflüsse auf den jeweiligen Bauablauf. Produktivitätsverluste entstehen im Allgemeinen durch Abweichungen, vom in der Kalkulation festgelegtem Soll und haben deren Ursprung in einer Bauablaufstörung.³⁷⁶ In dieser Arbeit wird jedoch nicht weiter darauf eingegangen, wer diese verursacht, oder ob daraus tatsächlich Mehrkostenforderungen und/oder Bauzeitverlängerungen gezogen werden können.

Es soll vielmehr dargestellt werden, wie „möglicherweise auftretende“ Produktivitätsverluste in der Grobplanung und der Kalkulation berücksichtigt werden können und welche monetären Auswirkungen diese auf

³⁷⁶ Vgl. HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb; Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 2

die Kostenentwicklung haben. Hofstadler führt in seiner Arbeit einige Ursachen für Produktivitätsverluste an:³⁷⁷

- suboptimale Arbeitsgruppengröße,
- Unterschreitung der Mindestarbeitsfläche,
- nicht abgestimmte Anzahl an Arbeitskräften je Kran,
- die Witterung,
- Überschreitung der täglichen Arbeitszeit,
- Effekte der Einarbeitung,
- Wechsel des Einsatzortes,
- Planungsqualität und
- die Form der Deckengrundrisse.

Für die vorliegende Arbeit wurden die Unterschreitung der Mindestarbeitsfläche, die Überschreitung der täglichen Arbeitszeit und die Effekte der Einarbeitung in die folgende Betrachtung mit aufgenommen. Auswirkungen aus einer nicht optimalen Zusammenstellung der Arbeitsgruppe werden nicht berücksichtigt, da davon ausgegangen wird, dass ausschließlich eingespielte, optimal zusammengestellte Parteien eingesetzt werden. Aus diesen Randbedingungen heraus werden in Tabelle 7.33 und 7.34 zunächst die Produktivitätsverluste bei Taktfertigung für die Trägerschalung berechnet und angeführt. Die Berechnungen in den angeführten Tabellen folgen den von Hofstadler entwickelten und nachsehend angeführten Gleichungen 7.12 bis 7.15.³⁷⁸

Tabelle 7.33 Zusammenstellung der Produktivitätsverluste je FA 1 – 6 bei Taktfertigung für Trägerschalung

Fertigungsabschnitte	1		2		4		6	
	25	30	20	24	20	18	20	18
Anzahl der AK [Std/h]								
Lohnstundenverlust/d mit Einarbeitung [Std/d]	30,9	10,5	4,5	0,1	2,6	7,0	2,1	6,0
Lohnstundenverlust/d ohne Einarbeitung [Std/d]	8,7	0,7	1,2	0,0	1,2	4,4	1,2	4,4
Mehrkosten mit Einarbeitung [€]	31 941,14	10 720,55	6 491,76	125,83	3 755,19	10 188,49	3 008,41	8 861,16
Mehrkosten ohne Einarbeitung [€]	8 842,31	750,13	1 747,74	0,00	1 747,74	6 435,12	1 747,74	6 435,12
Reduktion der Arbeitsfläche min: 29 m² [%]	26,98	39,15	36,66	47,22	36,66	29,63	36,66	29,63
Aufwandswerteerhöhung nach M-Schätzer [%]	14,31	23,85	21,76	31,14	21,76	16,23	21,76	16,23
Mehrkosten mit Einarbeitung [€]	44 142,91	73 590,52	61 507,38	88 028,39	58 693,68	43 781,98	57 755,79	43 082,36
Mehrkosten ohne Einarbeitung [€]	36 742,59	61 253,47	55 879,99	79 974,56	55 879,99	41 683,13	55 879,99	41 683,13
Summe mit Einarbeitungseffekt [€]	76 084,05	84 311,07	67 999,14	88 154,22	62 448,87	53 970,46	60 764,19	51 943,52
Summe ohne Einarbeitungseffekt [€]	45 584,90	62 003,59	57 627,73	79 974,56	57 627,73	48 118,24	57 627,73	48 118,24



MULTIFLEX Träger-Deckenschalung³⁷⁹

³⁷⁷ Vgl. HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb; Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 65

³⁷⁸ Vgl. HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb; Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 243

³⁷⁹ http://www.peri.de/ww/de/produkte.cfm/fuseaction/dia/show/product_ID/46/app_id/4/imgpath/09_10_multiflex_titel2.jpg m. Datum des Zugriffs: 08.03.2015

Bei erhöhter Arbeitszeit, d.h. über 8 h/d Normalarbeitszeit, treten naturgemäß Verluste der Arbeitsleistung auf. Zur Ermittlung dieser Verluste wird hier auf den Ansatz von Winter³⁸⁰ in der Überarbeitung durch Hofstadler zurückgegriffen.³⁸¹ Dabei muss zunächst die effektive Arbeitszeit, nach Gleichung 7.12, in Verbindung mit der in Tabelle 7.13 errechneten, erforderlichen Arbeitszeit, ermittelt werden.

$$\text{effektive AZ} = 12 - 16 * \left[1 - \frac{AZ_{erf}}{16}\right]^2 \quad (7.12)$$

Setzt man nun die Werte aus Tabelle 8.13 in die Gleichung 7.12 ein, so ergibt sich mit einer erforderlichen AZ von 12,4 h eine effektive Arbeitszeit von 11,19 h/d. Daraus ergibt sich ein Leistungsverlust von 12,4 h/d - 11,19 h/d = 1,21 Stunden pro Tag und Arbeitskraft. Multipliziert mit der Anzahl der Arbeitskräfte (25), ergibt ein Lohnstundenverlust L_{ver} von 30,9 Stunden pro Tag. Die zugehörigen Mehrkosten errechnen sich nach Gleichung 7.13.

$$\text{Mehrkosten} = L_{ver} * d_s * n_{fa} * n_g * MLK_i \quad (7.13)$$

Für einen Fertigungsabschnitt und beim Einsatz von 5er Partien ergeben sich die Mehrkosten zu:

$$30,9 \text{ Std/d} * 9,44 \text{ d} * 1 * 3 * 36,51 \text{ €/Std} = 31.941,14 \text{ €}.$$

Da die 12,4 h/d³⁸², aus Tabelle 7.13, über den Normalarbeitszeitstunden von 8 h/d liegen, muss mit einem höheren Mittellohn gerechnet werden. Die Kosten des höheren Mittellohn ergeben sich aus dem Umstand, dass abhängig vom vereinbarten Arbeitszeitmodell, die zusätzlichen Überstunden vergütet werden müssen. Als Grundlage zur Berechnung wurden aus einem K3-Blatt die Kosten, nach dem jeweiligen Stundensatz errechnet. Deshalb wird hier mit einem Mittellohn von 36,51 €/Std, statt den 35 €/Std, gerechnet.

Der zweite Produktivitätsverlust ergibt sich aus der Unterschreitung der Mindestarbeitsfläche. Die Berechnung folgt nach den Untersuchungsergebnissen von Hofstadler.³⁸³ Dazu wird zunächst eine reduzierte Arbeitsfläche nach Gleichung 7.14³⁸⁴ ermittelt.

$$AF_{red} = \left[1 - \frac{AF_{vor}}{AF_{min}}\right] * 100\% \quad (7.14)$$

³⁸⁰ Bei den Ansätzen nach Winter sei erwähnt, dass die Untersuchungen aus dem Erdbau herrühren und damit nicht adäquat für hochbautechnische Situationen anzuwenden sind.

³⁸¹ Vgl. HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb; Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 138

³⁸² Es sei darauf hingewiesen, dass im Modell keine Schranke betreffend der täglichen Arbeitszeit eingeführt wurde. Nichtsdestotrotz müssen klarerweise die gesetzlichen und arbeitsrechtlichen Bestimmungen eingehalten werden.

³⁸³ Vgl. HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb; Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 243

³⁸⁴ Vgl. HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb; Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 245

Diese reduzierte Arbeitsfläche kann nun in die Gleichung 7.15 (nach M-Schätzer) eingesetzt werden, die die Aufwandswerterhöhung in [%] ausweist.³⁸⁵

$$\Delta AW = -0,000013 * AF_{red}^3 + 0,007345 * AF_{red}^2 + 0,341648 * AF_{red} \quad (7.15)$$

Für einen Fertigungsabschnitt und beim Einsatz von 5er Partien ergibt sich die reduzierte Arbeitsfläche, mit einer Mindestarbeitsfläche für Trägerschalung mit 29 m²,³⁸⁷ zu:

$$(1 - 21,2 \text{ m}^2/\text{AK} / 29 \text{ m}^2/\text{AK}) * 100 \% = 26,28 \%$$

Diese reduzierte Arbeitsfläche wird sogleich in Gleichung 7.15 eingesetzt. Für das Beispiel ergibt sich somit eine Aufwandswerterhöhung des Basisaufwandswertes um 14,31 %. Die Mehrkosten ergeben sich in Abhängigkeit der Einarbeitungseffekte nach Gleichung 7.16.

$$\text{Mehrkosten} = \Delta AW * AW_{Grund} * DF_{ges} * MLK \quad (7.16)$$

Aus Gleichung 7.16 folgen die Mehrkosten aufgrund des verminderten Arbeitsraumes zu:

$$14,31 \% / 100 \% * 0,59 \text{ Std/m}^2 * 15\,000 \text{ m}^2 * 35 \text{ €/Std} = 44\,142,91 \text{ €}$$

Tabelle 7.34 Zusammenstellung der Produktivitätsverluste je FA 8 – 14 bei Taktfertigung für Trägerschalung

Fertigungsabschnitte	8		10		12		14	
	20	18	20	18	20	18	20	18
Anzahl der AK [Std/h]	1,8	5,6	1,7	5,4	1,6	5,2	1,6	5,1
Lohnstundenverlust/d mit Einarbeitung [Std/d]	1,2	4,4	1,2	4,4	1,2	4,4	1,2	4,4
Lohnstundenverlust/d ohne Einarbeitung [Std/d]	2 666,03	8 232,22	2 470,53	7 865,96	2 344,33	7 626,42	2 256,22	7 457,59
Mehrkosten mit Einarbeitung [€]	1 747,74	6 435,12	1 747,74	6 435,12	1 747,74	6 435,12	1 747,74	6 435,12
Mehrkosten ohne Einarbeitung [€]								
Reduktion der Arbeitsfläche min: 29 m ² [%]	36,66	29,63	36,66	29,63	36,66	29,63	36,66	29,63
Aufwandswerterhöhung nach M-Schätzer [%]	21,76	16,23	21,76	16,23	21,76	16,23	21,76	16,23
Mehrkosten mit Einarbeitung [€]	57 286,84	42 732,55	57 005,47	42 522,67	56 817,89	42 382,74	56 683,90	42 282,80
Mehrkosten ohne Einarbeitung [€]	55 879,99	41 683,13	55 879,99	41 683,13	55 879,99	41 683,13	55 879,99	41 683,13
Summe mit Einarbeitungseffekt [€]	59 952,87	50 964,77	59 476,00	50 388,63	59 162,22	50 009,17	58 940,12	49 740,39
Summe ohne Einarbeitungseffekt [€]	57 627,73	48 118,24	57 627,73	48 118,24	57 627,73	48 118,24	57 627,73	48 118,24

Nach demselben Schema werden auch die Produktivitätsverluste für die Systemschalung bei Taktfertigung berechnet und in den nachstehenden Tabellen 7.35 und 7.36 angeführt.

Unter M-Schätzer, versteht man eine Gewichtungsmethode bei der Bildung des Mittelwertes.³⁸⁶

³⁸⁵ Vgl. HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb; Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 245

³⁸⁶ Vgl. HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb; Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 106ff

³⁸⁷ Vgl. HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb; Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 195

Tabelle 7.35 Zusammenstellung der Produktivitätsverluste je FA 1 – 6 bei Taktfertigung für Systemschalung

Fertigungsabschnitte	1		2		4		6	
	25	30	20	24	20	18	20	18
Anzahl der AK [Std/h]								
Lohnstundenverlust/d mit Einarbeitung [Std/d]	21,9	7,0	5,7	0,6	4,0	15,8	3,5	14,6
Lohnstundenverlust/d ohne Einarbeitung [Std/d]	7,5	0,8	2,6	0,0	2,6	12,5	2,6	12,5
Mehrkosten mit Einarbeitung [€]	22 680,13	7 095,25	8 394,52	855,76	5 885,06	23 526,13	5 108,30	21 838,68
Mehrkosten ohne Einarbeitung [€]	7 626,51	751,63	3 791,09	5,09	3 791,09	18 652,16	3 791,09	18 652,16
Reduktion der Arbeitsfläche min: 37 m² [%]	28,46	40,38	33,81	44,84	33,81	17,26	33,81	17,26
Aufwandswertenerhöhung nach M-Schätzer [%]	15,37	24,92	19,45	28,92	19,45	8,02	19,45	8,02
Mehrkosten mit Einarbeitung [€]	37 156,19	60 231,65	43 652,81	64 916,13	41 976,44	17 313,40	41 417,65	17 082,92
Mehrkosten ohne Einarbeitung [€]	31 855,73	51 639,40	40 300,06	59 930,25	40 300,06	16 621,97	40 300,06	16 621,97
Summe mit Einarbeitungseffekt [€]	59 836,32	67 326,89	52 047,34	65 771,89	47 861,49	40 839,53	46 525,95	38 921,60
Summe ohne Einarbeitungseffekt [€]	39 482,24	52 391,03	44 091,15	59 935,34	44 091,15	35 274,13	44 091,15	35 274,13



SKYDECK Alu-Panel-Deckenschalung³⁸⁸

Man erkennt, dass sich die Produktivitätsverluste aus der reduzierten Arbeitsfläche ab vier Fertigungsabschnitten nicht mehr ändert, weil sich auch das Verhältnis zwischen der täglichen Schalleistung und der Anzahl der Arbeitskräfte nicht mehr verändert.

Tabelle 7.36 Zusammenstellung der Produktivitätsverluste je FA 8 – 14 bei Taktfertigung für Systemschalung

Fertigungsabschnitte	8		10		12		14	
	20	18	20	18	20	18	20	18
Anzahl der AK [Std/h]								
Lohnstundenverlust/d mit Einarbeitung [Std/d]	3,3	14,1	3,1	13,8	3,0	13,6	3,0	13,4
Lohnstundenverlust/d ohne Einarbeitung [Std/d]	2,6	12,5	2,6	12,5	2,6	12,5	2,6	12,5
Mehrkosten mit Einarbeitung [€]	4 760,62	21 018,51	4 557,89	20 533,93	4 425,19	20 214,03	4 331,60	19 987,06
Mehrkosten ohne Einarbeitung [€]	3 791,09	18 652,16	3 791,09	18 652,16	3 791,09	18 652,16	3 791,09	18 652,16
Reduktion der Arbeitsfläche min: 37 m² [%]	33,81	17,26	33,81	17,26	33,81	17,26	33,81	17,26
Aufwandswertenerhöhung nach M-Schätzer [%]	19,45	8,02	19,45	8,02	19,45	8,02	19,45	8,02
Mehrkosten mit Einarbeitung [€]	41 138,25	16 967,68	40 970,61	16 898,54	40 858,86	16 852,45	40 779,03	16 819,52
Mehrkosten ohne Einarbeitung [€]	40 300,06	16 621,97	40 300,06	16 621,97	40 300,06	16 621,97	40 300,06	16 621,97
Summe mit Einarbeitungseffekt [€]	45 898,87	37 986,19	45 528,50	37 432,47	45 284,04	37 066,47	45 110,63	36 806,58
Summe ohne Einarbeitungseffekt [€]	44 091,15	35 274,13	44 091,15	35 274,13	44 091,15	35 274,13	44 091,15	35 274,13

Die Tabellen 7.33 bis 7.36 zeigen, dass sich die Mehrkosten, resultierend aus der Unterschreitung der Arbeitsfläche, ohne Einarbeitungseffekt in Abhängigkeit der Anzahl der Fertigungsabschnitte nicht mehr ändert. Im Vergleich dazu reduzieren sich die Mehrkosten bei Einarbeitungseffekten, da sich der Aufwandswert mit Einarbeitung an den Grundaufwandswert ohne Einarbeitung annähert. Analog dazu werden in den Tabellen 7.37 bis 7.40 die Produktivitätsverluste beider Schalsysteme für Fließfertigung angeführt.

Tabelle 7.37 Zusammenstellung der Produktivitätsverluste je FA 1 – 6 bei Fließfertigung für Trägerschalung

Fertigungsabschnitte	1		2		4		6	
	25	30	15	12	15	12	10	12
Anzahl der AK [Std/h]								
Lohnstundenverlust/d mit Einarbeitung [Std/d]	30,9	10,5	1,7	10,1	0,0	3,5	8,1	2,1
Lohnstundenverlust/d ohne Einarbeitung [Std/d]	8,7	0,7	0,2	5,1	0,0	2,1	6,5	1,4
Mehrkosten mit Einarbeitung [€]	31 941,14	10 720,55	3 457,34	21 114,54	33,41	7 926,97	19 218,56	4 887,03
Mehrkosten ohne Einarbeitung [€]	8 842,31	750,13	449,88	10 547,67	0,00	4 716,96	15 411,88	3 224,07
Reduktion der Arbeitsfläche min: 29 m² [%]	26,98	39,15	40,18	25,23	45,46	31,83	20,83	34,03
Aufwandswertenerhöhung nach M-Schätzer [%]	14,31	23,85	24,74	13,09	29,49	17,89	10,19	19,62
Mehrkosten mit Einarbeitung [€]	44 142,91	73 590,52	69 946,50	36 989,36	79 547,08	48 267,69	27 037,34	52 067,14
Mehrkosten ohne Einarbeitung [€]	36 742,59	61 253,47	63 547,00	33 605,15	75 733,70	45 953,80	26 159,22	50 376,10
Summe mit Einarbeitungseffekt [€]	76 084,05	84 311,07	73 403,84	58 103,90	79 580,49	56 194,66	46 255,90	56 954,17
Summe ohne Einarbeitungseffekt [€]	45 584,90	62 003,59	63 996,88	44 152,83	75 733,70	50 670,77	41 571,10	53 600,16



MULTIFLEX Träger-Deckenschalung³⁸⁹

³⁸⁸ http://www.peri.de/ww/de/produkte.cfm/fuseaction/diashow/product_ID/44/app_id/4/imgpath/08_10_skydeck_titel.jpg.cfm. Datum des Zugriffs: 08.03.2015

³⁸⁹ http://www.peri.de/ww/de/produkte.cfm/fuseaction/diashow/product_ID/46/app_id/4/imgpath/09_10_multiflex_titel2.jpg.cfm. Datum des Zugriffs: 08.03.2015

In Verbindung mit den Tabellen aus Kapitel 7.4.3 können in gleicher Weise die Lohnstundenverluste und die daraus folgenden Mehrkosten ermittelt werden.

Tabelle 7.38 Zusammenstellung der Produktivitätsverluste je FA 8 – 14 bei Fließfertigung für Trägerschalung

Fertigungsabschnitte	8		10		12		14	
	10	12	10	12	10	12	10	12
Anzahl der AK [Std/h]	6,9	1,5	6,2	1,3	5,8	1,1	5,5	1,0
Lohnstundenverlust/d mit Einarbeitung [Std/d]	5,8	1,1	5,4	0,9	5,1	0,8	4,9	0,8
Lohnstundenverlust/d ohne Einarbeitung [Std/d]	16 567,02	3 654,23	15 066,17	2 998,00	14 103,33	2 595,60	13 337,39	2 325,45
Mehrkosten mit Einarbeitung [€]	13 909,62	2 569,25	12 940,73	2 207,49	12 372,84	1 979,73	11 972,85	1 823,76
Mehrkosten ohne Einarbeitung [€]	22,15	35,12	22,94	35,78	23,47	36,22	23,85	36,54
Reduktion der Arbeitsfläche min: 29 m² [%]	11,03	20,50	11,55	21,04	11,90	21,40	12,15	21,66
Aufwandswerterhöhung nach M-Schätzer [%]	29 038,75	53 968,80	30 250,56	55 109,72	31 062,74	55 870,14	31 644,89	56 413,15
Mehrkosten mit Einarbeitung [€]	28 325,62	52 643,44	29 653,31	54 021,67	30 549,98	54 947,88	31 196,09	55 613,07
Mehrkosten ohne Einarbeitung [€]	45 605,78	57 623,03	45 316,73	58 107,72	45 166,06	58 465,74	44 982,28	58 738,60
Summe mit Einarbeitungseffekt [€]	42 235,24	55 212,68	42 594,04	56 229,15	42 922,82	56 927,61	43 168,95	57 436,84
Summe ohne Einarbeitungseffekt [€]								

Aus diesen Tabellen kann entnommen werden, dass sich mit steigender Anzahl an Fertigungsabschnitten die Mehrkosten erhöhen, da bei geringerer Schalungsleistung mehr Arbeitskräfte auf engerem Raum arbeiten.

Tabelle 7.39 Zusammenstellung der Produktivitätsverluste je FA 1 – 6 bei Fließfertigung für Systemschalung

Fertigungsabschnitte	1		2		4		6	
	25	30	15	12	15	12	10	12
Anzahl der AK [Std/h]	21,9	7,0	6,1	1,2	1,9	0,0	1,1	0,0
Lohnstundenverlust/d mit Einarbeitung [Std/d]	7,5	0,8	3,2	0,2	1,2	0,0	0,7	0,0
Lohnstundenverlust/d ohne Einarbeitung [Std/d]	22 680,13	7 095,25	12 730,75	2 490,86	4 334,74	27,83	2 513,22	0,00
Mehrkosten mit Einarbeitung [€]	7 626,51	751,63	6 673,42	478,08	2 623,67	0,00	1 643,96	0,00
Mehrkosten ohne Einarbeitung [€]	28,46	40,38	29,67	41,40	35,88	46,57	37,95	48,29
Reduktion der Arbeitsfläche min: 37 m² [%]	15,37	24,92	16,27	25,81	21,11	30,52	22,83	32,16
Aufwandswerterhöhung nach M-Schätzer [%]	37 156,19	60 231,65	36 515,31	57 931,85	45 575,85	65 889,32	48 629,00	68 502,16
Mehrkosten mit Einarbeitung [€]	31 855,73	51 639,40	33 710,75	53 482,40	43 755,73	63 257,96	47 316,83	66 653,75
Mehrkosten ohne Einarbeitung [€]	59 836,32	67 326,89	49 246,06	60 422,72	49 910,59	65 917,15	51 142,22	68 502,16
Summe mit Einarbeitungseffekt [€]	39 482,24	52 391,03	40 384,17	53 960,49	46 379,40	63 257,96	48 960,79	66 653,75
Summe ohne Einarbeitungseffekt [€]								



SKYDECK Alu-Panel-Deckenschalung³⁹⁰

Tabelle 7.40 Zusammenstellung der Produktivitätsverluste je FA 8 – 14 bei Fließfertigung für Systemschalung

Fertigungsabschnitte	8		10		12		14	
	10	12	10	12	10	12	10	12
Anzahl der AK [Std/h]	0,8	0,0	0,6	0,0	0,5	0,0	0,4	0,0
Lohnstundenverlust/d mit Einarbeitung [Std/d]	0,5	0,0	0,4	0,0	0,4	0,0	0,3	0,0
Lohnstundenverlust/d ohne Einarbeitung [Std/d]	1 781,48	0,00	1 388,79	0,00	1 161,70	0,00	1 011,56	0,00
Mehrkosten mit Einarbeitung [€]	1 219,84	0,00	999,61	0,00	863,87	0,00	772,46	0,00
Mehrkosten ohne Einarbeitung [€]	38,98	49,15	39,60	49,67	40,02	50,01	40,31	50,26
Reduktion der Arbeitsfläche min: 37 m² [%]	23,71	32,99	24,24	33,50	24,60	33,83	24,86	34,07
Aufwandswerterhöhung nach M-Schätzer [%]	50 158,44	69 799,07	51 076,61	70 573,90	51 688,83	71 089,02	52 126,16	71 456,24
Mehrkosten mit Einarbeitung [€]	49 136,47	68 376,92	50 240,66	69 418,85	50 981,93	70 116,80	51 513,92	70 616,96
Mehrkosten ohne Einarbeitung [€]	51 939,92	69 799,07	52 465,40	70 573,90	52 850,54	71 089,02	53 137,73	71 456,24
Summe mit Einarbeitungseffekt [€]	50 356,31	68 376,92	51 240,26	69 418,85	51 845,80	70 116,80	52 286,38	70 616,96
Summe ohne Einarbeitungseffekt [€]								

Das vorliegende Tabellenwerk zeigt die Kostenkomponenten der Schalungskosten mit den systematisch berücksichtigten Produktivitätsverlusten.

Im nächsten Kapitel werden die Bewehrungskosten, aufgeteilt in Material- und Lohnkosten betrachtet. Dabei werden wiederum Produktivitätsverluste aufgrund verminderter Arbeitsfläche berücksichtigt.

³⁹⁰http://www.peri.de/ww/de/produkte.cfm/fuseaction/diashow/product_ID/44/app_id/4/imgpath/08_10_skydeck_titel.jpg.cfm. Datum des Zugriffs: 08.03.2015

7.5 Kostenkalkulation der Bewehrungsarbeiten

Ausgehend von den bauzeitlichen Rahmenbedingungen aus Tabelle 7.5 werden in den Tabellen 7.41 und 7.42 die Dauern für die Bewehrungsarbeiten und die sich daraus ergebende Leistung angeführt.

Tabelle 7.41 Aufstellung der Bewehrungsdauer und der Bewehrungsleistung pro Tag je FA 1 – 6 bei Taktfertigung

Fertigungsabschnitte	1	2	4	6
Versatz zwischen bewehren und schalen [d]	1,89	1,36	0,68	0,45
Dauer bewehren [d]	11,33	8,17	4,08	2,72
Bewehrungsleistung [to/d]	11,03	7,65	7,65	7,65

Tabelle 7.42 Aufstellung der Bewehrungsdauer und der Bewehrungsleistung pro Tag je FA 8 – 14 bei Taktfertigung

Fertigungsabschnitte	8	10	12	14
Versatz zwischen bewehren und schalen [d]	0,34	0,27	0,23	0,19
Dauer bewehren [d]	2,04	1,63	1,36	1,17
Bewehrungsleistung [to/d]	7,65	7,65	7,65	7,65

Der Versatz zwischen bewehren und schalen wird sukzessive geringer, da auch die Dauer für das Schalen dementsprechend kleiner wird. Demgegenüber bleibt das Verhältnis zwischen den Tonnen an Bewehrungsstahl pro Fertigungsabschnitt und der Tage der Fertigung ab dem zweiten Abschnitt unverändert, daher ändert sich auch die Leistung nicht.

Des Weiteren werden die Varianten Stabstahl, Mattenstahl und Gemischte Verlegung zur Bewehrung der Decke verglichen.

7.5.1 Stabstahl

Für Stabstahl werden die Kosten mit 600 €/to gewählt und der Aufwandswert mit 17,6 Std/to, als Mittel von verschiedenen Durchmesser³⁹¹, festgelegt.

Tabelle 7.43 Bewehrungskosten mit Stabstahl je FA 1 – 6 für Taktfertigung

Fertigungsabschnitte	1		2		4		6	
Anzahl der AK [Std/h]	24	20	18	15	18	15	18	15
tägliche Arbeitszeit [h/d]	8,1	9,7	7,5	9,0	7,5	9,0	7,5	9,0
Materialkosten [€]	225 000,00		225 000,00		225 000,00		225 000,00	
Lohnkosten [€]	231 000,00		231 000,00		231 000,00		231 000,00	
Summe [€]	456 000,00		456 000,00		456 000,00		456 000,00	



Bild 7.15 Betonstabstahl³⁹²

³⁹¹ Der Aufwandswert für das Bewehren ist abhängig vom einzusetzenden Durchmesser der Stäbe und Matten. Da aber noch nicht klar ist, welche Durchmesser und in welchem Verhältnis diese eingesetzt werden, wird wiederum ein gemittelter Mischaufwandswert aus: HOFFMANN, M.; KRAUSE, T.: Zahlentafeln für den Baubetrieb 8. Auflage. S. 1060 ermittelt.

³⁹² <http://www.archiexpo.de/prod/riva/betonstabstahl-stahlbeton-90408-867290.html>. Datum des Zugriffs: 09.03.2015

Tabelle 7.44 Bewehrungskosten mit Stabstahl je FA 8 – 14 für Taktfertigung

Fertigungsabschnitte	8		10		12		14	
Anzahl der AK [Std/h]	18	15	18	15	18	15	18	15
tägliche Arbeitszeit [h/d]	7,5	9,0	7,5	9,0	7,5	9,0	7,5	9,0
Materialkosten [€]	225 000,00		225 000,00		225 000,00		225 000,00	
Lohnkosten [€]	231 000,00		231 000,00		231 000,00		231 000,00	
Summe [€]	456 000,00		456 000,00		456 000,00		456 000,00	

Aus den Tabelle 7.44 und 7.45 erkennt man, dass keine Unterschiede bei der Variation der Fertigungsabschnitte festzustellen sind. Demnach können die Bewehrungskosten als konstant angenommen werden.

Im nächsten Schritt werden die Produktivitätsverluste je Abschnitt in den Tabellen 7.45 und 7.46 angeführt.

Tabelle 7.45 Produktivitätsverluste aus Stabstahl je FA 1 – 6 für Taktfertigung

Fertigungsabschnitte	1		2		4		6	
Leistung auf [m ² /d] umgelegt	441,2	441,2	306,1	306,1	306,1	306,1	306,1	306,1
Arbeitsfläche je Arbeitskraft [m ² /AK]	18,4	22,1	17,0	20,4	17,0	20,4	17,0	20,4
Reduktion der Arbeitsfläche min: 36 m ² [%]	48,9	38,7	52,8	43,3	52,8	43,3	52,8	43,3
Aufwandswerverhöhung nach M-Schätzer [%]	34,8	25,6	38,5	29,6	38,5	29,6	38,5	29,6
Mehrkosten Mindestarbeitsfläche [€]	80 443,90	59 176,95	88 956,03	68 453,75	88 956,03	68 453,75	88 956,03	68 453,75
Summe Produktivitätsverluste [€]	80 443,90	59 176,95	88 956,03	68 453,75	88 956,03	68 453,75	88 956,03	68 453,75

Die Produktivitätsverluste aus der Unterschreitung der Mindestarbeitsfläche ergeben sich zunächst aus der Umrechnung der Leistung pro Tonne auf Leistung pro m² über die Gleichung 7.17.

$$\text{Leistung} \left[\frac{\text{m}^2}{\text{d}} \right] = \frac{\text{Leistung} \left[\frac{\text{to}}{\text{d}} \right]}{\text{BW}_{\text{grad}} \left[\frac{\text{to}}{\text{m}^3} \right] * d_{\text{Decke}} [\text{m}]} \quad (7.17)$$

Nach Hofstadler ergibt sich die Mindestarbeitsfläche bei Flachdecken zu 36 m².³⁹³ Dadurch errechnet sich die Reduktion der Arbeitsfläche nach Gleichung 7.18 zu 48,9 %.³⁹⁴

$$\text{AF}_{\text{red}} [\%] = \left[1 - \frac{\text{AF}_{\text{vor}}}{\text{AF}_{\text{min}}} \right] * 100\% \quad (7.18)$$

Mit der Gleichung 7.19 lässt sich wiederum die Aufwandswerverhöhung errechnen.³⁹⁵

$$\Delta \text{AW} = -0,000008 * \text{AF}_{\text{red}}^3 + 0,006728 * \text{AF}_{\text{red}}^2 + 0,346493 * \text{AF}_{\text{red}} \quad (7.19)$$

Dies ergibt eine Aufwandswerverhöhung nach der Auswertungsmethode M-Schätzer³⁹⁶ von 34,8 %.

Die daraus resultierenden Mehrkosten lassen sich schließlich aus Gleichung 7.20 ermitteln.

$$\text{Mehrkosten} = \Delta \text{AW} * \text{AW}_{\text{Grund}} * \text{BW}_{\text{grad}} * \text{BT}_{\text{menge}} * \text{MLK} \quad (7.20)$$

³⁹³ Vgl. HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb; Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 213

³⁹⁴ Vgl. HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb; Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 220

³⁹⁵ Vgl. HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb; Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 321

³⁹⁶ Vgl. HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb; Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 106

Für das vorliegende Beispiel ergeben sich die Mehrkosten zu $34,8\% \cdot 17,6 \text{ Std/to} \cdot 0,1 \text{ to/m}^3 \cdot 3\,750 \text{ m}^3 \cdot 35 \text{ €/Std} = 80\,443,90 \text{ €}$.

Tabelle 7.46 Produktivitätsverluste aus Stabstahl je FA 8 – 14 für Taktfertigung

Fertigungsabschnitte	8		10		12		14	
Leistung auf [m ² /d] umgelegt	306,1	306,1	306,1	306,1	306,1	306,1	306,1	306,1
Arbeitsfläche je Arbeitskraft [m ² /AK]	17,0	20,4	17,0	20,4	17,0	20,4	17,0	20,4
Reduktion der Arbeitsfläche min: 36 m ² [%]	52,8	43,3	52,8	43,3	52,8	43,3	52,8	43,3
Aufwandsvererhöhung nach M-Schätzer [%]	38,5	29,6	38,5	29,6	38,5	29,6	38,5	29,6
Mehrkosten Mindestarbeitsfläche [€]	88 956,03	68 453,75	88 956,03	68 453,75	88 956,03	68 453,75	88 956,03	68 453,75
Summe Produktivitätsverluste [€]	88 956,03	68 453,75	88 956,03	68 453,75	88 956,03	68 453,75	88 956,03	68 453,75

Zum direkten Vergleich werden folgend in den Tabellen 7.47 bis 7.52 die Ergebnisse aus der Berechnung für Fließfertigung angeführt.

Tabelle 7.47 Aufstellung der Bewehrungsdauer und der Bewehrungsleistung pro Tag je FA 1 – 6 bei Fließfertigung

Fertigungsabschnitte	1	2	4	6
Versatz zwischen bewehren und schalen [d]	1,89	1,92	1,05	0,73
Dauer bewehren [d]	11,33	11,53	6,32	4,36
Bewehrungsleistung [to/d]	11,03	5,42	4,94	4,78

Tabelle 7.48 Aufstellung der Bewehrungsdauer und der Bewehrungsleistung pro Tag je FA 8 – 14 bei Fließfertigung

Fertigungsabschnitte	8	10	12	14
Versatz zwischen bewehren und schalen [d]	0,55	0,45	0,38	0,32
Dauer bewehren [d]	3,32	2,68	2,25	1,94
Bewehrungsleistung [to/d]	4,70	4,66	4,62	4,60

Vergleicht man die Tabellen 7.41 und 7.42, der Taktfertigung, mit jenen aus der Fließfertigung 7.47 und 7.48, so fällt auf, dass sich die Dauern bei der Fließfertigung erhöhen und sich die Leistung dementsprechend verringern. Dies lässt auf eine Entzerrung des Bauablaufes bei Taktfertigung und somit auf niedrigere Produktivitätsverluste schließen. Die weiteren Tabellen 7.49 und 7.50 zeigen die Entwicklung der Bewehrungskosten.

Tabelle 7.49 Bewehrungskosten mit Stabstahl je FA 1 – 6 für Fließfertigung

Fertigungsabschnitte	1		2		4		6	
Anzahl der AK [Std/h]	18	20	12	10	8	10	8	10
tägliche Arbeitszeit [h/d]	10,8	9,7	8,0	9,5	10,9	8,7	10,5	8,4
Materialkosten [€]	225 000,00	225 000,00	225 000,00	225 000,00	225 000,00	225 000,00	225 000,00	225 000,00
Lohnkosten [€]	231 000,00	231 000,00	231 000,00	231 000,00	231 000,00	231 000,00	231 000,00	231 000,00
Summe [€]	456 000,00	456 000,00	456 000,00	456 000,00	456 000,00	456 000,00	456 000,00	456 000,00

Tabelle 7.50 Bewehrungskosten mit Stabstahl je FA 8 – 14 für Fließfertigung

Fertigungsabschnitte	8		10		12		14	
Anzahl der AK [Std/h]	8	10	8	10	8	10	8	10
tägliche Arbeitszeit [h/d]	10,3	8,3	10,2	8,2	10,2	8,1	10,1	8,1
Materialkosten [€]	225 000,00	225 000,00	225 000,00	225 000,00	225 000,00	225 000,00	225 000,00	225 000,00
Lohnkosten [€]	231 000,00	231 000,00	231 000,00	231 000,00	231 000,00	231 000,00	231 000,00	231 000,00
Summe [€]	456 000,00	456 000,00	456 000,00	456 000,00	456 000,00	456 000,00	456 000,00	456 000,00

Auch hier nehmen die Kosten einen konstanten Betrag über die Anzahl der Abschnitte, wie bei Taktfertigung, ein. Vervollständigend sind in den Tabelle 7.51 und 7.52 die Produktivitätsverluste angeführt.

Tabelle 7.51 Produktivitätsverluste aus Stabstahl je FA 1 – 6 für Fließfertigung

Fertigungsabschnitte	1		2		4		6	
Anzahl der AK [Std/h]	18	20	12	10	8	10	8	10
Leistung auf [m ² /d] umgelegt	441,2	441,2	216,8	216,8	197,7	197,7	191,3	191,3
Arbeitsfläche je Arbeitskraft [m ² /AK]	24,5	22,1	18,1	21,7	24,7	19,8	23,9	19,1
Reduktion der Arbeitsfläche Minimal 36 m ² [%]	31,9	38,7	49,8	39,8	31,4	45,1	33,6	46,9
Aufwandserhöhung nach M-Schätzer [%]	20,0	25,6	35,7	26,5	19,6	31,2	21,3	32,9
Mehrkosten Mindestarbeitsfläche [€]	46 243,29	59 176,95	82 352,45	61 245,82	45 217,02	72 157,32	49 283,92	75 926,48
Summe [€]	46 243,29	59 176,95	82 352,45	61 245,82	45 217,02	72 157,32	49 283,92	75 926,48

Tabelle 7.52 Produktivitätsverluste aus Stabstahl je FA 8 – 14 für Fließfertigung

Fertigungsabschnitte	8		10		12		14	
Anzahl der AK [Std/h]	8	10	8	10	8	10	8	10
Leistung auf [m ² /d] umgelegt	188,1	188,1	186,2	186,2	184,9	184,9	184,0	184,0
Arbeitsfläche je Arbeitskraft [m ² /AK]	23,5	18,8	23,3	18,6	23,1	18,5	23,0	18,4
Reduktion der Arbeitsfläche Minimal 36 m ² [%]	34,7	47,7	35,3	48,3	35,8	48,6	36,1	48,9
Aufwandserhöhung nach M-Schätzer [%]	22,2	33,7	22,8	34,2	23,1	34,5	23,4	34,8
Mehrkosten Mindestarbeitsfläche [€]	51 358,21	77 835,45	52 615,77	78 988,60	53 459,54	79 760,59	54 064,86	80 313,59
Summe [€]	51 358,21	77 835,45	52 615,77	78 988,60	53 459,54	79 760,59	54 064,86	80 313,59

Erwartungsgemäß vermindern sich die Produktivitätsverluste bei geringer Anzahl an Fertigungsabschnitten, jedoch erhöhen sie sich sukzessive mit steigender Anzahl an Abschnitten.

Dasselbe Berechnungsschema wird auch bei der Variante Mattenstahl angewendet.

7.5.2 Mattenstahl

Für Mattenstahl werden die Kosten mit 700 €/to gewählt und der Aufwandswert mit 17 Std/to, als Mittel von verschiedenen Durchmesser, ³⁹⁷ festgelegt. Des Weiteren werden in den Tabellen 7.53 und 7.54 die Bewehrungskosten für Mattenstahl bei Taktfertigung angeführt.

Tabelle 7.53 Bewehrungskosten mit Mattenstahl je FA 1 – 6 für Taktfertigung

Fertigungsabschnitte	1		2		4		6	
Anzahl AK [Std/h]	24	20	12	15	12	15	12	15
tägliche Arbeitszeit [h/d]	7,8	9,4	10,8	8,7	10,8	8,7	10,8	8,7
Materialkosten [€]	262 500,00	262 500	262 500,00	262 500	262 500,00	262 500	262 500,00	262 500
Lohnkosten [€]	223 125,00	223 125	223 125,00	223 125	223 125,00	223 125	223 125,00	223 125
Summe [€]	485 625,00	485 625	485 625,00	485 625	485 625,00	485 625,00	485 625,00	485 625,00



Bild 7.16 Mattenstahl³⁹⁸

Tabelle 7.54 Bewehrungskosten mit Mattenstahl je FA 8 – 14 für Taktfertigung

Fertigungsabschnitte	8		10		12		14	
Anzahl AK [Std/h]	12	15	12	15	12	15	12	15
tägliche Arbeitszeit [h/d]	10,8	8,7	10,8	8,7	10,8	8,7	10,8	8,7
Materialkosten [€]	262 500,00	262 500	262 500,00	262 500	262 500,00	262 500	262 500,00	262 500
Lohnkosten [€]	223 125,00	223 125	223 125,00	223 125	223 125,00	223 125,00	223 125,00	223 125,00
Summe [€]	485 625,00	485 625,00	485 625,00	485 625,00	485 625,00	485 625,00	485 625,00	485 625,00

³⁹⁷ Der Aufwandswert für das Bewehren ist abhängig vom einzusetzenden Durchmesser der Stäbe und Matten. Da aber noch nicht klar ist, welche Durchmesser und in welchem Verhältnis diese eingesetzt werden, wird wiederum ein gemittelter Wert aus: HOFFMANN, M.; KRAUSE, T.: Zahlentafeln für den Baubetrieb 8. Auflage. S. 1060 ermittelt.

³⁹⁸ <http://www.stanze-stahl.de/produkte/betonstahl.html>. Datum des Zugriffs: 09.03.2015

Daraus folgend können wieder die Produktivitätsverluste in den Tabellen 7.55 und 7.56 errechnet werden.

Tabelle 7.55 Produktivitätsverluste aus Mattenstahl je FA 1 – 6 für Taktfertigung

Fertigungsabschnitte	1		2		4		6	
	24	20	12	15	12	15	12	15
Anzahl AK [Std/h]	18,4	22,1	25,5	20,4	25,5	20,4	25,5	20,4
Arbeitsfläche je Arbeitskraft [m²/AK]	58,2	49,9	42,0	53,6	42,0	53,6	42,0	53,6
Reduktion der Arbeitsfläche min: 44 m² [%]	44,0	35,7	28,5	39,4	28,5	39,4	28,5	39,4
Aufwandswerterhöhung nach M-Schätzer [%]	98 168,31	79 672,90	63 558,55	87 810,81	63 558,55	87 810,81	63 558,55	87 810,81
Mehrkosten Mindestarbeitsfläche [€]	98 168,31	79 672,90	63 558,55	87 810,81	63 558,55	87 810,81	63 558,55	87 810,81
Summe [€]	98 168,31	79 672,90	63 558,55	87 810,81	63 558,55	87 810,81	63 558,55	87 810,81

Tabelle 7.56 Produktivitätsverluste aus Mattenstahl je FA 8 – 14 für Taktfertigung

Fertigungsabschnitte	8		10		12		14	
	12	15	12	15	12	15	12	15
Anzahl AK [Std/h]	25,5	20,4	25,5	20,4	25,5	20,4	25,5	20,4
Arbeitsfläche je Arbeitskraft [m²/AK]	42,0	53,6	42,0	53,6	42,0	53,6	42,0	53,6
Reduktion der Arbeitsfläche min: 44 m² [%]	28,5	39,4	28,5	39,4	28,5	39,4	28,5	39,4
Aufwandswerterhöhung nach M-Schätzer [%]	63 558,55	87 810,81	63 558,55	87 810,81	63 558,55	87 810,81	63 558,55	87 810,81
Mehrkosten Mindestarbeitsfläche [€]	63 558,55	87 810,81	63 558,55	87 810,81	63 558,55	87 810,81	63 558,55	87 810,81
Summe [€]	63 558,55	87 810,81	63 558,55	87 810,81	63 558,55	87 810,81	63 558,55	87 810,81

Diese Ergebnisse aus der Taktfertigung werden wieder mit jenen aus der Fließfertigung in den Tabellen 7.57 bis 7.60 gegenübergestellt. Dabei gelten wieder dieselben Randbedingungen wie aus den Tabellen 7.41 und 7.42.

Tabelle 7.57 Bewehrungskosten mit Mattenstahl je FA 1 – 6 für Fließfertigung

Fertigungsabschnitte	1		2		4		6	
	18	20	12	10	8	10	8	10
Anzahl AK [Std/h]	10,4	9,4	7,7	9,2	10,5	8,4	10,2	8,1
tägliche Arbeitszeit [h/d]	262 500,00	262 500	262 500,00	262 500	262 500,00	262 500	262 500,00	262 500
Materialkosten [€]	223 125,00	223 125	223 125,00	223 125	223 125,00	223 125	223 125,00	223 125
Lohnkosten [€]	485 625,00	485 625	485 625,00	485 625	485 625,00	485 625	485 625,00	485 625
Summe	485 625,00	485 625	485 625,00	485 625	485 625,00	485 625	485 625,00	485 625

Tabelle 7.58 Bewehrungskosten mit Mattenstahl je FA 8 – 14 für Fließfertigung

Fertigungsabschnitte	8		10		12		14	
	8	10	8	10	8	10	8	10
Anzahl AK [Std/h]	10,0	8,0	9,9	7,9	9,8	7,9	9,8	7,8
tägliche Arbeitszeit [h/d]	262 500,00	262 500	262 500,00	262 500	262 500,00	262 500	262 500,00	262 500
Materialkosten [€]	223 125,00	223 125	223 125,00	223 125	223 125,00	223 125	223 125,00	223 125
Lohnkosten [€]	485 625,00	485 625,00	485 625,00	485 625,00	485 625,00	485 625,00	485 625,00	485 625,00
Summe	485 625,00	485 625,00	485 625,00	485 625,00	485 625,00	485 625,00	485 625,00	485 625,00

Die Bewehrungskosten bei Mattenstahl sind den Tabellen 7.57 und 7.58 zufolge höher als jene bei Stabstahl. Zusammenfassend werden in den Tabelle 7.59 und 7.60 die Produktivitätsverluste für Mattenstahl bei Fließfertigung ausgewiesen.

Tabelle 7.59 Produktivitätsverluste aus Mattenstahl je FA 1 – 6 für Fließfertigung

Fertigungsabschnitte	1		2		4		6	
	18	20	12	10	8	10	8	10
Anzahl AK [Std/h]	24,5	22,1	18,1	21,7	24,7	19,8	23,9	19,1
Arbeitsfläche je Arbeitskraft [m²/AK]	44,3	49,9	58,9	50,7	43,8	55,1	45,6	56,5
Reduktion der Arbeitsfläche min: 44 m² [%]	30,5	35,7	44,7	36,5	30,1	40,8	31,8	42,3
Aufwandswerterhöhung nach M-Schätzer [%]	68 101,77	79 672,90	99 802,40	81 498,32	67 170,41	91 027,94	70 848,96	94 285,23
Mehrkosten Mindestarbeitsfläche [€]	68 101,77	79 672,90	99 802,40	81 498,32	67 170,41	91 027,94	70 848,96	94 285,23
Summe [€]	68 101,77	79 672,90	99 802,40	81 498,32	67 170,41	91 027,94	70 848,96	94 285,23

Tabelle 7.60 Produktivitätsverluste aus Mattenstahl je FA 8 – 14 für Fließfertigung

Fertigungsabschnitte	8		10		12		14	
Anzahl AK [Std/h]	8	10	8	10	8	10	8	10
Arbeitsfläche je Arbeitskraft [m²/AK]	23,5	18,8	23,3	18,6	23,1	18,5	23,0	18,4
Reduktion der Arbeitsfläche min: 44 m² [%]	46,6	57,2	47,1	57,7	47,5	58,0	47,7	58,2
Aufwandswertehöherung nach M-Schätzer [%]	32,6	43,0	33,1	43,4	33,4	43,7	33,7	43,9
Mehrkosten Mindestarbeitsfläche [€]	72 713,05	95 928,83	73 839,40	96 919,76	74 593,58	97 582,35	75 133,88	98 056,60
Summe [€]	72 713,05	95 928,83	73 839,40	96 919,76	74 593,58	97 582,35	75 133,88	98 056,60

Auch bei den Produktivitätsverlusten bei Fließfertigung sieht man, dass sich mit steigender Anzahl an Fertigungsabschnitten die Produktivitätsverluste erhöhen. Als dritte Möglichkeit wird die Kombination der beiden Varianten angeführt.

7.5.3 Stab- und Mattenstahl

Für die Variante einer gemischten Bewehrungsverlegung, werden die Anteile mit 30 % Stab- und 70 % Mattenstahl angenommen. Die Kosten werden demnach zu 670 €/to gewichtet. Dasselbe wird mit dem Aufwandswert durchgeführt, der sich zu 17,18 Std/to, ergibt. Des Weiteren werden auf dieser Basis in den Tabellen 7.61 und 7.62 die Bewehrungskosten für Stab- und Mattenstahl gemischt, bei Taktfertigung angeführt.

Tabelle 7.61 Bewehrungskosten mit Stab- und Mattenstahl je FA 1 – 6 für Taktfertigung

Fertigungsabschnitte	1		2		4		6	
Anzahl AK [Std/h]	24	20	18	15	18	15	18	15
tägliche Arbeitszeit [h/d]	7,9	9,5	7,3	8,8	7,3	8,8	7,3	8,8
Materialkosten [€]	251 250,00	251 250,00	251 250,00	251 250,00	251 250,00	251 250,00	251 250,00	251 250,00
Lohnkosten [€]	225 487,50	225 487,50	225 487,50	225 487,50	225 487,50	225 487,50	225 487,50	225 487,50
Summe [€]	476 737,50	476 737,50	476 737,50	476 737,50	476 737,50	476 737,50	476 737,50	476 737,50

Tabelle 7.62 Bewehrungskosten mit Stab- und Mattenstahl je FA 8 – 14 für Taktfertigung

Fertigungsabschnitte	8		10		12		14	
Anzahl AK [Std/h]	18	15	18	15	18	15	18	15
tägliche Arbeitszeit [h/d]	7,3	8,8	7,3	8,8	7,3	8,8	7,3	8,8
Materialkosten [€]	251 250,00	251 250,00	251 250,00	251 250,00	251 250,00	251 250,00	251 250,00	251 250,00
Lohnkosten [€]	225 487,50	225 487,50	225 487,50	225 487,50	225 487,50	225 487,50	225 487,50	225 487,50
Summe [€]	476 737,50	476 737,50	476 737,50	476 737,50	476 737,50	476 737,50	476 737,50	476 737,50

Aus den Tabellen 7.61 und 7.62 lässt sich entnehmen, dass sich die Kosten erwartungsgemäß zwischen jenen bei reinem Stabstahl- und reinem Mattenstahl-Einsatz liegen. In Verbindung dazu werden in den Tabellen 7.63 und 7.64 die zugehörigen Produktivitätsverluste dargestellt.

Tabelle 7.63 Produktivitätsverluste aus Stab- und Mattenstahl je FA 1 – 6 für Taktfertigung

Fertigungsabschnitte	1		2		4		6	
Anzahl AK [Std/h]	24	20	18	15	18	15	18	15
Arbeitsfläche je Arbeitskraft [m²/AK]	18,4	22,1	17,0	20,4	17,0	20,4	17,0	20,4
Reduktion der Arbeitsfläche min: 36-44 m² [%]	55,8	47,0	59,1	50,9	59,1	50,9	59,1	50,9
Aufwandswertehöherung nach M-Schätzer [%]	41,5	33,0	44,9	36,7	44,9	36,7	44,9	36,7
Mehrkosten Mindestarbeitsfläche [€]	93 677,29	74 366,62	101 292,61	82 846,09	101 292,61	82 846,09	101 292,61	82 846,09
Summe [€]	93 677,29	74 366,62	101 292,61	82 846,09	101 292,61	82 846,09	101 292,61	82 846,09

Tabelle 7.64 Produktivitätsverluste aus Stab- und Mattenstahl je FA 8 – 14 für Taktfertigung

Fertigungsabschnitte	8		10		12		14	
	18	15	18	15	18	15	18	15
Anzahl AK [Std/h]	17,0	20,4	17,0	20,4	17,0	20,4	17,0	20,4
Arbeitsfläche je Arbeitskraft [m ² /AK]	59,1	50,9	59,1	50,9	59,1	50,9	59,1	50,9
Reduktion der Arbeitsfläche min: 36-44 m ² [%]	44,9	36,7	44,9	36,7	44,9	36,7	44,9	36,7
Aufwandswerterhöhung nach M-Schätzer [%]	101 292,61	82 846,09	101 292,61	82 846,09	101 292,61	82 846,09	101 292,61	82 846,09
Mehrkosten Mindestarbeitsfläche [€]	101 292,61	82 846,09	101 292,61	82 846,09	101 292,61	82 846,09	101 292,61	82 846,09
Summe [€]	101 292,61	82 846,09	101 292,61	82 846,09	101 292,61	82 846,09	101 292,61	82 846,09

Demgegenüber können in den Tabellen 7.65 bis 7.68 die Bewehrungskosten mit den zugehörigen Produktivitätskosten angeführt werden.

Tabelle 7.65 Bewehrungskosten mit Stab- und Mattenstahl je FA 1 – 6 für Fließfertigung

Fertigungsabschnitte	1		2		4		6	
	18	20	8	10	8	10	8	10
Anzahl AK [Std/h]	10,5	9,5	11,6	9,3	10,6	8,5	10,3	8,2
tägliche Arbeitszeit [h/d]	251 250,00	251 250,00	251 250,00	251 250,00	251 250,00	251 250,00	251 250,00	251 250,00
Materialkosten [€]	225 487,50	225 487,50	225 487,50	225 487,50	225 487,50	225 487,50	225 487,50	225 487,50
Lohnkosten [€]	476 737,50	476 737,50	476 737,50	476 737,50	476 737,50	476 737,50	476 737,50	476 737,50
Summe [€]	476 737,50	476 737,50	476 737,50	476 737,50	476 737,50	476 737,50	476 737,50	476 737,50

Tabelle 7.66 Bewehrungskosten mit Stab- und Mattenstahl je FA 8 – 14 für Fließfertigung

Fertigungsabschnitte	8		10		12		14	
	8	10	8	10	8	10	8	10
Anzahl AK [Std/h]	10,1	8,1	10,0	8,0	9,9	7,9	9,9	7,9
tägliche Arbeitszeit [h/d]	251 250,00	251 250,00	251 250,00	251 250,00	251 250,00	251 250,00	251 250,00	251 250,00
Materialkosten [€]	225 487,50	225 487,50	225 487,50	225 487,50	225 487,50	225 487,50	225 487,50	225 487,50
Lohnkosten [€]	476 737,50	476 737,50	476 737,50	476 737,50	476 737,50	476 737,50	476 737,50	476 737,50
Summe [€]	476 737,50	476 737,50	476 737,50	476 737,50	476 737,50	476 737,50	476 737,50	476 737,50

Die angeführten Tabellen 7.65 und 7.66 zeigen, dass sich im Vergleich zur Taktfertigung die Bewehrungskosten nicht verändern. Zusammenfassend können in den Tabellen 7.67 und 7.68 die zugehörigen Produktivitätsverluste angeführt werden.

Tabelle 7.67 Produktivitätsverluste aus Stab- und Mattenstahl je FA 1 – 6 für Fließfertigung

Fertigungsabschnitte	1		2		4		6	
	18	20	8	10	8	10	8	10
Anzahl AK [Std/h]	24,5	22,1	27,1	21,7	24,7	19,8	23,9	19,1
Arbeitsfläche je Arbeitskraft [m ² /AK]	41,1	47,0	34,8	47,9	40,6	52,5	42,5	54,0
Reduktion der Arbeitsfläche min: 34-42 m ² [%]	27,7	33,0	22,4	33,8	27,2	38,2	28,9	39,7
Aufwandswerterhöhung nach M-Schätzer [%]	62 364,42	74 366,62	50 446,47	76 266,10	61 401,50	86 205,95	65 207,57	89 611,88
Mehrkosten Mindestarbeitsfläche [€]	62 364,42	74 366,62	50 446,47	76 266,10	61 401,50	86 205,95	65 207,57	89 611,88
Summe [€]	62 364,42	74 366,62	50 446,47	76 266,10	61 401,50	86 205,95	65 207,57	89 611,88

Tabelle 7.68 Produktivitätsverluste aus Stab- und Mattenstahl je FA 8 – 14 für Fließfertigung

Fertigungsabschnitte	8		10		12		14	
	8	10	8	10	8	10	8	10
Anzahl AK [Std/h]	23,5	18,8	23,3	18,6	23,1	18,5	23,0	18,4
Arbeitsfläche je Arbeitskraft [m ² /AK]	43,5	54,8	44,0	55,2	44,4	55,5	44,7	55,8
Reduktion der Arbeitsfläche min: 34-42 m ² [%]	29,8	40,5	30,3	41,0	30,6	41,3	30,9	41,5
Aufwandswerterhöhung nach M-Schätzer [%]	67 139,13	91 331,99	68 307,14	92 369,52	69 089,58	93 063,48	69 650,30	93 560,27
Mehrkosten Mindestarbeitsfläche [€]	67 139,13	91 331,99	68 307,14	92 369,52	69 089,58	93 063,48	69 650,30	93 560,27
Summe [€]	67 139,13	91 331,99	68 307,14	92 369,52	69 089,58	93 063,48	69 650,30	93 560,27

Auch hier lässt sich die Tendenz herauslesen, dass sich bei steigender Anzahl an Fertigungsabschnitten die Produktivitätsverluste bei Fließfertigung, aufgrund der geringeren Arbeitsleistung und der gleichbleibenden Anzahl an Arbeitskräften erhöhen.

Im nächsten Unterkapitel wird die Kostenkalkulation der Betonarbeiten erläutert.

7.6 Kostenkalkulation der Betonarbeiten

Die Kostenentwicklung bei den Betonarbeiten hängen wesentlich von der Einbringungsart des Betons ab. Dabei kann dieser einerseits als Lieferbeton mit einem Betonmischwagen zur Baustelle gebracht werden oder bei großen, bzw. auch bei entlegenen Baustellen auf der Baustelle produziert werden. Als Entscheidungshilfe kann wiederum ein kalkulatorischer Vergleich der Kostenkomponenten geschehen. Im konkreten Beispiel wird aber davon ausgegangen, dass der Beton mit Betonmischlastkraftwagen als Lieferbeton zur Baustelle gebracht wird. Dort stehen zwei unterschiedliche Varianten der Betoneinbringung zur Verfügung, die folgend verglichen werden. Zum einen besteht die Möglichkeit, den Beton mittels Betonpumpe und zum anderen diesen mit Hilfe des Krans per Krankübel einzubringen. Vor dem Vergleich müssen noch einige Randbedingungen festgelegt werden. Dabei wird aber davon ausgegangen, dass die Baustelle durch die Betonmischwagen uneingeschränkt erreichbar ist und zudem auch genügend Platz für die Betonpumpen, sowie für die Krane besteht.

7.6.1 Pumpeinbringung

Bei der Variante des Pumpbetons zeigt Tabelle 7.69, dass Betonmisch-LKWs mit einem Fassungsvermögen von neun m³ eingesetzt werden und diese eine Entladezeit von 30 Minuten benötigen. Des Weiteren wird eine herkömmliche theoretische Pumpleistung von 20 m³/h angenommen. Jedoch kann diese Leistung in der Praxis nie erreicht werden, da diese mit den Mischwägen abgestimmt werden muss, dazu errechnet sich eine maximale Leistungsfähigkeit zur Betoneinbringung von 18 m³/h.

Tabelle 7.69 Randbedingungen bei Pumpeinbringung

Betonmisch-LKW	9 [m ³]
Entladezeit pro LKW	0,5 [h]
Pumpleistung theoretisch	20 [m ³ /h]
Leistung tatsächlich	18 [m ³ /h]

Tabellen 7.70 und 7.71 zeigen demzufolge die errechneten Daten je Fertigungsabschnitt.



Bild 7.17 Pumpeinbringung³⁹⁹

³⁹⁹ http://www.agir.biz/bilder/galerie/Betonpumpe_52_Meter.jpg. Datum des Zugriffs: 09.03.2015

Tabelle 7.70 Daten zur Pumpbetoneinbringung je FA 1 – 6 bei Taktfertigung

Fertigungsabschnitte	1		2		4		6	
Anzahl der AK [Std/h] bei Trägerschalung 9 [h/d]	25	30	20	24	20	18	20	18
Anzahl der AK [Std/h] bei Systemschalung 9 [h/d]	20	24	15	18	15	12	15	12
Aufwandswert bei Trägerschalung [Std/m³]	0,68	0,82	0,78	0,94	0,78	0,71	0,78	0,71
Aufwandswert bei Systemschalung [Std/m³]	0,54	0,65	0,59	0,71	0,59	0,47	0,59	0,47
Dauer betonieren [d]	3,78	3,78	2,72	2,72	1,36	1,36	0,91	0,91
erforderliche Leistung betonieren [m³/d]	330,9	330,9	229,6	229,6	229,6	229,6	229,6	229,6
Pumpstunden pro Tag [h/d]	8,0		8,0		8,0		8,0	
tatsächliche Leistung Betonpumpe pro Stunde [m³/h]	41,4		28,7		28,7		28,7	
Anzahl der Betonpumpen Mastlänge 20-36 m [-]	3		2		2		2	

Gemäß den vorangestellten Randbedingungen, wird davon ausgegangen, dass die Schalungspartie auch für die Betoneinbringung zuständig ist. Demzufolge wird des Weiteren in die Arbeitsgruppen der Trägerschalung und der Systemschalung unterschieden. Man erkennt, dass bei der Trägerschalung eine Partie mehr einzusetzen ist. Die Pumpdauer wird mit 8 h/d angenommen, wobei die tägliche Arbeitszeit der Arbeitskräfte mit 9 h/d veranschlagt wurde, da Vorbereitungsarbeiten und Nacharbeiten von den Arbeitern getätigt werden müssen. Aus diesen Ergebnissen werden die zugehörigen Aufwandswerte nach Gleichung 7.21 ermittelt.

$$AW_{\text{Beton}} = \frac{AZ \left[\frac{h}{d} \right] \cdot AK \left[\frac{\text{Std}}{h} \right]}{L \left[\frac{\text{m}^3}{d} \right]} \quad (7.21)$$

Über die Betonmenge je Fertigungsabschnitt und die errechnete Dauer der Betonarbeiten aus Tabelle 7.5 kann die erforderliche Betonierleistung errechnet werden. Daraus ergibt sich die Pumpleistung einer Betonpumpe, die schließlich durch die Leistung in Tabelle 7.69 dividiert wird, um daraus die benötigte Anzahl an Betonpumpen zu ermitteln. Tabelle 7.70 zeigt, dass nur für einen Fertigungsabschnitt drei Betonpumpen zur Einbringung nötig sind. Ansonsten reichen zwei Pumpen aus.

Tabelle 7.71 Daten zur Pumpbetoneinbringung je FA 8 – 14 bei Taktfertigung

Fertigungsabschnitte	8		10		12		14	
Anzahl der AK [Std/h] bei Trägerschalung 9 [h/d]	20	18	20	18	20	18	20	18
Anzahl der AK [Std/h] bei Systemschalung 9 [h/d]	15	12	15	12	15	12	15	12
Aufwandswert bei Trägerschalung [Std/m³]	0,78	0,71	0,78	0,71	0,78	0,71	0,78	0,71
Aufwandswert bei Systemschalung [Std/m³]	0,59	0,47	0,59	0,47	0,59	0,47	0,59	0,47
Dauer betonieren [d]	0,68	0,68	0,54	0,54	0,45	0,45	0,39	0,39
erforderliche Leistung betonieren [m³/d]	229,6	229,6	229,6	229,6	229,6	229,6	229,6	229,6
Pumpstunden pro Tag [h/d]	8,0		8,0		8,0		8,0	
tatsächliche Leistung Betonpumpe pro Stunde [m³/h]	28,7		28,7		28,7		28,7	
Anzahl der Betonpumpen Mastlänge 20-36 m [-]	2		2		2		2	

Aus diesen Zusammenstellungen ergeben sich die jeweiligen Kosten der Betoneinbringung zu den in den Tabellen 7.72 und 7.73 angeführten Ergebnissen.

Tabelle 7.72 Betonkosten bei Pumpbetoneinbringung je FA 1 – 6 bei Taktfertigung (demonstrativ AK bei Trägerschalung)

Fertigungsabschnitte	1		2		4		6	
Anzahl der AK [Std/h] bei Trägerschalung 9 [h/d]	25	30	20	24	20	18	20	18
Transportkosten inkl. 20 m³ pumpen [€]	13 320,00	13 320,00	13 320,00	17 760,00	17 760,00	17 760,00	13 320,00	13 320,00
Pumpkosten 10 €/m³ [€]	37 300,00	37 300,00	37 300,00	37 300,00	37 300,00	37 300,00	37 300,00	37 300,00
Beton C25/30 B3 107, 50 €/m³ [€]	443 437,50	443 437,50	443 437,50	443 437,50	443 437,50	443 437,50	443 437,50	443 437,50
Minderungen 4 €/m³ [€]	24,00	132,00	348,00	348,00	348,00	348,00	348,00	348,00
Summe Materialkosten [€]	494 081,50	494 189,50	494 189,50	498 845,50	498 845,50	494 405,50	494 405,50	494 405,50
Lohnkosten [€]	89 250,00	107 100,00	102 900,00	123 480,00	102 900,00	92 610,00	102 900,00	92 610,00
Summe Lohnkosten [€]	89 250,00	107 100,00	102 900,00	123 480,00	102 900,00	92 610,00	102 900,00	92 610,00

Die Kosten der Betonpumpe ergeben sich aus den jeweiligen Herstellerangaben. Die Transportkosten errechnen sich aus Gleichung 7.22.

$$\text{Transportkosten} = T_{\text{Pumpe}} * \text{ANZ}_{\text{Pumpen}} * d_{\text{bt}} * n_{\text{fa}} * n_g \quad (7.22)$$

Die Pumpkosten werden mit 10 €/m³ angegeben, multipliziert mit der Betonmenge ergeben sie sich zu 37 300 €. Die Kosten des Betons selbst wurden hier mit 107,50 €/m³ angenommen. Mit Mindermengen wird hier dem Umstand Sorge getragen, dass bei der jeweils letzten Fuhre eines LKWs, Mindermengen aufgrund eines reduzierten Bedarfs herrühren. Wird jedoch die Deckenfläche, im Zuge der Teilung in Fertigungsabschnitte so weit reduziert, dass der zu betonierende weniger als die vom Hersteller definierte Mindestmenge beträgt, so fallen zusätzliche Kostenzuschläge für Mindermengen an. Im vorliegenden Fall tritt dies aber nie auf, da selbst bei 14 Abschnitten noch eine ausreichende Betonmenge einzubauen ist.

Tabelle 7.73 Betonkosten bei Pumpbetoneinbringung je FA 8 – 14 bei Taktfertigung (demonstrativ AK bei Trägerschalung)

Fertigungsabschnitte	8		10		12		14	
Anzahl der AK [Std/h] bei Trägerschalung 9 [h/d]	20	18	20	18	20	18	20	18
Transportkosten inkl. 20 m³ pumpen [€]	17 760,00		22 200,00		26 640,00		31 080,00	
Pumpkosten 10 €/m³ [€]	37 300,00		37 300,00		37 300,00		37 300,00	
Beton C25/30 B3 107, 50 €/m³ [€]	443 437,50		443 437,50		443 437,50		443 437,50	
Mindermengen 4 €/m³ [€]	780,00		780,00		348,00		132,00	
Summe Materialkosten[€]	499 277,50		503 717,50		507 725,50		511 949,50	
Lohnkosten [€]	102 900,00	92 610,00	102 900,00	92 610,00	102 900,00	92 610,00	102 900,00	92 610,00
Summe Lohnkosten [€]	102 900,00	92 610,00	102 900,00	92 610,00	102 900,00	92 610,00	102 900,00	92 610,00

Aus den Ergebnissen für die Materialkosten sieht man, dass diese mit steigender Anzahl an Fertigungsabschnitten höher werden, da die Betonpumpe öfter anfahren muss.

Die weiteren Tabellen 7.74 bis 7.77 zeigen die Ergebnisse bei Fließfertigung.

Tabelle 7.74 Daten zur Pumpbetoneinbringung je FA 1 – 6 bei Fließfertigung

Fertigungsabschnitte	1		2		4		6	
Anzahl der AK [Std/h] bei Trägerschalung 9 [h/d]	25	30	15	12	15	12	10	12
Anzahl der AK [Std/h] bei Systemchalung 9 [h/d]	20	24	10	12	10	12	10	12
Aufandswert bei Trägerschalung [Std/m³]	0,68	0,82	0,83	0,66	0,91	0,73	0,63	0,75
Aufandswert bei Systemchalung [Std/m³]	0,54	0,65	0,55	0,66	0,61	0,73	0,63	0,75
Dauer betonieren [d]	3,78	3,78	3,84	3,84	2,11	2,11	1,45	1,45
erforderliche Leistung betonieren [m³/d]	330,9	330,9	162,6	162,6	148,3	148,3	143,5	143,5
Pumpstunden pro Tag [h/d]	8,0		8,0		8,0		8,0	
tatsächliche Leistung Betonpumpe pro Stunde [m³/h]	41,4		20,3		18,5		17,9	
Anzahl der Betonpumpen Mastlänge 20-36 m [-]	3		2		2		1	

Aus den Tabellen 7.74 und 7.75 erkennt man, dass bei der Fließfertigung sich die Leistungswerte je Fertigungsabschnitt verändern bzw. reduzieren. Daraus resultierend ergibt sich eine geringere Anzahl an Betonpumpen.

Tabelle 7.75 Daten zur Pumpbetoneinbringung je FA 8 – 14 bei Fließfertigung

Fertigungsabschnitte	8		10		12		14	
Anzahl der AK [Std/h] bei Trägerschalung 9 [h/d]	10	12	10	12	10	12	10	12
Anzahl der AK [Std/h] bei Systemchalung 9 [h/d]	10	12	10	12	10	12	10	12
Aufandswert bei Trägerschalung [Std/m³]	0,64	0,77	0,64	0,77	0,65	0,78	0,65	0,78
Aufandswert bei Systemchalung [Std/m³]	0,64	0,77	0,64	0,77	0,65	0,78	0,65	0,78
Dauer betonieren [d]	1,11	1,11	0,89	0,89	0,75	0,75	0,65	0,65
erforderliche Leistung betonieren [m³/d]	141,1	141,1	139,7	139,7	138,7	138,7	138,0	138,0
Pumpstunden pro Tag [h/d]	8,0		8,0		8,0		8,0	
tatsächliche Leistung Betonpumpe pro Stunde [m³/h]	17,6		17,5		17,3		17,3	
Anzahl der Betonpumpen Mastlänge 20-36 m [-]	1		1		1		1	

Die Tabellen 7.76 und 7.77 zeigen, dass sich tendenziell die Kosten der Betoneinbringung mit steigender Anzahl an Fertigungsabschnitten erhöhen. Diese Gegebenheit entwickelt sich in den angeführten Tabellen jedoch nicht, da sich die Anzahl der Betonpumpen und die Tage, an de-

nen betoniert wird, unterschiedlich ausprägen. Das Minimum wird erst ab 10 Fertigungsabschnitten erreicht. Von dort steigen die Kosten, in Abhängigkeit der Abschnitte, wieder an.

Tabelle 7.76 Betonkosten bei Pumpbetoneinbringung je FA 1 – 6 bei Fließfertigung (demonstrativ AK bei Trägerschalung)

Fertigungsabschnitte	1		2		4		6	
Anzahl der AK [Std/h] bei Trägerschalung 9 [h/d]	25	30	15	12	15	12	10	12
Transportkosten inkl. 20 m³ pumpen [€]	13 320,00		17 760,00		26 640,00		13 320,00	
Pumpkosten 10 €/m³ [€]	37 300,00		37 300,00		37 300,00		37 300,00	
Beton C25/30 B3 107, 50 €/m³ [€]	403 125,00		403 125,00		403 125,00		403 125,00	
Minderungen 4 €/m³ [€]	24,00		132,00		348,00		348,00	
Summe Materialkosten [€]	453 769,00		458 317,00		467 413,00		454 093,00	
Lohnkosten [€]	89 250,00	107 100,00	108 952,94	87 162,35	119 496,77	95 597,42	82 320,00	98 784,00
Summe Lohnkosten [€]	89 250,00	107 100,00	108 952,94	87 162,35	119 496,77	95 597,42	82 320,00	98 784,00

Tabelle 7.77 Betonkosten bei Pumpbetoneinbringung je FA 8 – 14 bei Fließfertigung (demonstrativ AK bei Trägerschalung)

Fertigungsabschnitte	8		10		12		14	
Anzahl der AK [Std/h] bei Trägerschalung 9 [h/d]	10	12	10	12	10	12	10	12
Transportkosten inkl. 20 m³ pumpen [€]	17 760,00		11 100,00		13 320,00		15 540,00	
Pumpkosten 10 €/m³ [€]	37 300,00		37 300,00		37 300,00		37 300,00	
Beton C25/30 B3 107, 50 €/m³ [€]	403 125,00		403 125,00		403 125,00		403 125,00	
Minderungen 4 €/m³ [€]	780,00		780,00		348,00		132,00	
Summe Materialkosten [€]	458 965,00		452 305,00		454 093,00		456 097,00	
Lohnkosten [€]	83 715,25	100 458,31	84 575,34	101 490,41	85 158,62	102 190,34	85 580,20	102 696,24
Summe Lohnkosten [€]	83 715,25	100 458,31	84 575,34	101 490,41	85 158,62	102 190,34	85 580,20	102 696,24

Neben der Einbringung des Betons durch Pumpen, wird die zweite Möglichkeit durch Krane im Folgenden dargebracht.

7.6.2 Kraneinbringung

Bei der Betoneinbringung mittels Kran muss zunächst die Kranleistung ermittelt werden, da diese als Hauptprozess am kritischen Weg liegt und damit alle anderen Betonierabläufe weiterbestimmt. Dazu werden in Tabelle 7.78 die Radbedingungen für das Volumen des eingesetzten Krankübels, das Kranspiel, sowie die tägliche Arbeitszeit angeführt. Aus dem Volumen und der Zeit für ein Kranspiel ergibt sich eine Leistung von 5 m³/h.



Bild 7.18 Kraneinbringung

Tabelle 7.78 Krandaten zur Betoneinbringung

Volumen Krankübel	0,5 [m³]
Dauer Befüllen, Kranspiel, Einbringen	0,100 [h]
Leistung pro Kran und Stunde	5,00 [m³/h]
tägliche Arbeitszeit	11 [h/d]
Leistung pro Kran und Tag	55,00 [m³/d]

Daraus ergibt sich eine tägliche Leistung von 55 m³/d und Kran. In den Tabellen 7.79 und 7.80 werden die Materialkosten und Lohnkosten je Fertigungsabschnitt aufgelistet.

Tabelle 7.79 Aufstellung der Material und Lohnkosten der Betonarbeiten je FA 1 – 6 bei Taktfertigung

Fertigungsabschnitte	1		2		4		6	
Anzahl der AK [Std/h] bei Trägerschalung 9 [h/d]	25	30	20	24	20	18	20	18
Anzahl der AK [Std/h] bei Systemschalung 9 [h/d]	20	24	15	18	15	12	15	12
Aufwandswert: [Std/m³]	AK Trägerschalung:		AK Trägerschalung:		AK Trägerschalung:		AK Trägerschalung:	
	0,83	1,00	0,96	1,15	0,96	0,86	0,96	0,86
	AK Systemschalung:		AK Systemschalung:		AK Systemschalung:		AK Systemschalung:	
	0,66	0,80	0,72	0,86	0,72	0,57	0,72	0,57
Anzahl der Krane zum Betonieren [-]	7		5		5		5	
Krankkosten betonieren Mietkosten 7000 €/MO [€]	18 511,11	18 511,11	19 055,56	19 055,56	19 055,56	19 055,56	19 055,56	19 055,56
Beton C25/30 B3 107, 50 €/m³ [€]	403 125,00	403 125,00	403 125,00	403 125,00	403 125,00	403 125,00	403 125,00	403 125,00
Minderungen 4 €/m³ [€]	24,00	24,00	132,00	132,00	348,00	348,00	348,00	348,00
Summe Materialkosten [€]	421 660,11	421 660,11	422 312,56	422 312,56	422 528,56	422 528,56	422 528,56	422 528,56
Lohnkosten Kranfahrer 5000 € [€]	13 222,22	13 222,22	13 611,11	13 611,11	13 611,11	13 611,11	13 611,11	13 611,11
Lohnkosten AK bei Trägerschalung [€]	109 083,33	130 900,00	125 766,67	150 920,00	125 766,67	113 190,00	125 766,67	113 190,00
Lohnkosten AK bei Systemschalung [€]	87 266,67	104 720,00	94 325,00	113 190,00	94 325,00	75 460,00	94 325,00	75 460,00
Summe mit AK bei Trägerschalung [€]	122 305,56	144 122,22	139 377,78	164 531,11	139 377,78	126 801,11	139 377,78	126 801,11
Summe mit AK bei Systemschalung [€]	100 488,89	117 942,22	107 936,11	126 801,11	107 936,11	89 071,11	107 936,11	89 071,11

Die angeführte Tabelle zeigt, dass allein für das Einbringen des Betons, bei einem Fertigungsabschnitt schon sieben Krane mittels Krankübel nötig wären. Diese Anzahl reduziert sich ab zwei Abschnitten um zwei auf fünf. Zudem wurden noch die Aufwandswerte, in Abhängigkeit der vorhandenen Arbeitskräfte bei Trägerschalung und Systemschalung berechnet, mit denen im nächsten Schritt die Lohnkosten berechnet werden.

Tabelle 7.80 Aufstellung der Material und Lohnkosten der Betonarbeiten je FA 8 – 14 bei Taktfertigung

Fertigungsabschnitte	8		10		12		14	
Anzahl der AK [Std/h] bei Trägerschalung 9 [h/d]	20	18	20	18	20	18	20	18
Anzahl der AK [Std/h] bei Systemschalung 9 [h/d]	15	12	15	12	15	12	15	12
Aufwandswert: [Std/m³]	AK Trägerschalung:		AK Trägerschalung:		AK Trägerschalung:		AK Trägerschalung:	
	0,96	0,86	0,96	0,86	0,96	0,86	0,96	0,86
	AK Systemschalung:		AK Systemschalung:		AK Systemschalung:		AK Systemschalung:	
	0,72	0,57	0,72	0,57	0,72	0,57	0,72	0,57
Anzahl der Krane zum Betonieren [-]	5		5		5		5	
Krankkosten betonieren Mietkosten 7000 €/MO [€]	19 055,56	19 055,56	19 055,56	19 055,56	19 055,56	19 055,56	19 055,56	19 055,56
Beton C25/30 B3 107, 50 €/m³ [€]	403 125,00	403 125,00	403 125,00	403 125,00	403 125,00	403 125,00	403 125,00	403 125,00
Minderungen 4 €/m³ [€]	780,00	780,00	780,00	780,00	348,00	348,00	132,00	132,00
Summe Materialkosten [€]	422 960,56	422 960,56	422 960,56	422 960,56	422 528,56	422 528,56	422 312,56	422 312,56
Lohnkosten Kranfahrer 5000 € [€]	13 611,11	13 611,11	13 611,11	13 611,11	13 611,11	13 611,11	13 611,11	13 611,11
Lohnkosten AK bei Trägerschalung [€]	125 766,67	113 190,00	125 766,67	113 190,00	125 766,67	113 190,00	125 766,67	113 190,00
Lohnkosten AK bei Systemschalung [€]	94 325,00	75 460,00	94 325,00	75 460,00	94 325,00	75 460,00	94 325,00	75 460,00
Summe mit AK bei Trägerschalung [€]	139 377,78	126 801,11	139 377,78	126 801,11	139 377,78	126 801,11	139 377,78	126 801,11
Summe mit AK bei Systemschalung [€]	107 936,11	89 071,11	107 936,11	89 071,11	107 936,11	89 071,11	107 936,11	89 071,11

Nachdem die tägliche Arbeitszeit mit 11 h/d definiert wurde, treten mit großer Wahrscheinlichkeit Produktivitätsverluste auf, die in den Tabellen 7.81 und 7.82 angeführt werden.

Tabelle 7.81 Zusammenstellung der Produktivitätsverluste je FA 1 – 6 bei Taktfertigung

Fertigungsabschnitte	1		2		4		6	
Anzahl der AK [Std/h] bei Trägerschalung 9 [h/d]	25	30	20	24	20	18	20	18
Anzahl der AK [Std/h] bei Systemschalung 9 [h/d]	20	24	15	18	15	12	15	12
Lohnstundenverlust/d AK bei Trägerschalung [Std/d]	14,1	16,9	11,3	13,5	11,3	10,1	11,3	10,1
Lohnstundenverlust/d AK bei Systemschalung [Std/d]	11,3	13,5	8,4	10,1	8,4	6,8	8,4	6,8
Mehrkosten bei AK Trägerschalung [€]	5 721,49	6 865,79	6 596,54	7 915,85	6 596,54	5 936,89	6 596,54	5 936,89
Mehrkosten bei AK Systemschalung [€]	4 577,19	5 492,63	4 947,41	5 936,89	4 947,41	3 957,93	4 947,41	3 957,93
Summe aus Produktivität und Lohn Trägerschalung [€]	128 027,05	150 988,01	145 974,32	172 446,96	145 974,32	132 738,00	145 974,32	132 738,00
Summe aus Produktivität und Lohn Systemschalung [€]	105 066,08	123 434,85	112 883,52	132 738,00	112 883,52	93 029,04	112 883,52	93 029,04

Tabelle 7.82 Zusammenstellung der Produktivitätsverluste je FA 8 – 14 bei Taktfertigung

Fertigungsabschnitte	8		10		12		14	
Anzahl der AK [Std/h] bei Trägerschalung 9 [h/d]	20	18	20	18	20	18	20	18
Anzahl der AK [Std/h] bei Systemschalung 9 [h/d]	15	12	15	12	15	12	15	12
Lohnstundenverlust/d AK bei Trägerschalung [Std/d]	11,3	10,1	11,3	10,1	11,3	10,1	11,3	10,1
Lohnstundenverlust/d AK bei Systemschalung [Std/d]	8,4	6,8	8,4	6,8	8,4	6,8	8,4	6,8
Mehrkosten bei AK Trägerschalung [€]	6 596,54	5 936,89	6 596,54	5 936,89	6 596,54	5 936,89	6 596,54	5 936,89
Mehrkosten bei AK Systemschalung [€]	4 947,41	3 957,93	4 947,41	3 957,93	4 947,41	3 957,93	4 947,41	3 957,93
Summe aus Produktivität und Lohn Trägerschalung [€]	145 974,32	132 738,00	145 974,32	132 738,00	145 974,32	132 738,00	145 974,32	132 738,00
Summe aus Produktivität und Lohn Systemschalung [€]	112 883,52	93 029,04	112 883,52	93 029,04	112 883,52	93 029,04	112 883,52	93 029,04

Die Tabellen zeigen, dass sich die Produktivitätsverluste ab zwei Fertigungsabschnitten konstant verhalten, da sich die Anzahl der Arbeitskräfte, sowie die Leistung nicht mehr ändert.

Zum Vergleich werden in den Tabellen 7.83 bis 7.86 die Ergebnisse aus der Fließfertigung aufgelistet.

Tabelle 7.83 Aufstellung der Material und Lohnkosten der Betonarbeiten je FA 1 – 6 bei Fließfertigung

Fertigungsabschnitte	1		2		4		6	
Anzahl der AK [Std/h] bei Trägerschalung 9 [h/d]	25	30	15	12	15	12	10	12
Anzahl der AK [Std/h] bei Systemschalung 9 [h/d]	20	24	10	12	10	12	10	12
Aufwandswert: [Std/m³] AK Trägerschalung:	0,83	1,00	1,01	0,81	1,11	0,89	0,77	0,92
AK Systemschalung:	0,66	0,80	0,68	0,81	0,74	0,89	0,77	0,92
Anzahl der Krane zum Betonieren [-]	7		3		3		3	
Krankkosten betonieren Mietkosten 7000 €/MO [€]	18 511,11	18 511,11	16 141,18	16 141,18	17 703,23	17 703,23	18 293,33	18 293,33
Beton C25/30 B3 107, 50 €/m³ [€]	403 125,00	403 125,00	403 125,00	403 125,00	403 125,00	403 125,00	403 125,00	403 125,00
Minderungen 4 €/m³ [€]	24,00	24,00	132,00	132,00	348,00	348,00	348,00	348,00
Summe Materialkosten [€]	421 660,11	421 660,11	419 398,18	419 398,18	421 176,23	421 176,23	421 766,33	421 766,33
Lohnkosten Kranfahrer 5000 € [€]	13 222,22	13 222,22	11 529,41	11 529,41	12 645,16	12 645,16	13 066,67	13 066,67
Lohnkosten AK bei Trägerschalung [€]	109 083,33	130 900,00	133 164,71	106 531,76	146 051,61	116 841,29	100 613,33	120 736,00
Lohnkosten AK bei Systemschalung [€]	87 266,67	104 720,00	88 776,47	106 531,76	97 367,74	116 841,29	100 613,33	120 736,00
Summe mit AK bei Trägerschalung [€]	122 305,56	144 122,22	144 694,12	118 061,18	158 696,77	129 486,45	113 680,00	133 802,67
Summe mit AK bei Systemschalung [€]	100 488,89	117 942,22	100 305,88	118 061,18	110 012,90	129 486,45	113 680,00	133 802,67

Vergleicht man die Ergebnisse mit der Tabelle 7.79 der Taktfertigung, so erkennt man, dass ab zwei Fertigungsabschnitten nur mehr drei statt fünf Krane benötigt werden.

Tabelle 7.84 Aufstellung der Material und Lohnkosten der Betonarbeiten je FA 8 – 14 bei Fließfertigung

Fertigungsabschnitte	8		10		12		14	
Anzahl der AK [Std/h] bei Trägerschalung 9 [h/d]	10	12	10	12	10	12	10	12
Anzahl der AK [Std/h] bei Systemschalung 9 [h/d]	10	12	10	12	10	12	10	12
Aufwandswert: [Std/m³] AK Trägerschalung:	0,78	0,94	0,79	0,95	0,79	0,95	0,80	0,96
AK Systemschalung:	0,78	0,94	0,79	0,95	0,79	0,95	0,80	0,96
Anzahl der Krane zum Betonieren [-]	3		3		3		3	
Krankkosten betonieren Mietkosten 7000 €/MO [€]	18 603,39	18 603,39	18 794,52	18 794,52	18 924,14	18 924,14	19 017,82	19 017,82
Beton C25/30 B3 107, 50 €/m³ [€]	403 125,00	403 125,00	403 125,00	403 125,00	403 125,00	403 125,00	403 125,00	403 125,00
Minderungen 4 €/m³ [€]	780,00	780,00	780,00	780,00	348,00	348,00	132,00	132,00
Summe Materialkosten [€]	422 508,39	422 508,39	422 699,52	422 699,52	422 397,14	422 397,14	422 274,82	422 274,82
Lohnkosten Kranfahrer 5000 € [€]	13 288,14	13 288,14	13 424,66	13 424,66	13 517,24	13 517,24	13 584,16	13 584,16
Lohnkosten AK bei Trägerschalung [€]	102 318,64	122 782,37	103 369,86	124 043,84	104 082,76	124 899,31	104 598,02	125 517,62
Lohnkosten AK bei Systemschalung [€]	102 318,64	122 782,37	103 369,86	124 043,84	104 082,76	124 899,31	104 598,02	125 517,62
Summe mit AK bei Trägerschalung [€]	115 606,78	136 070,51	116 794,52	137 468,49	117 600,00	138 416,55	118 182,18	139 101,78
Summe mit AK bei Systemschalung [€]	115 606,78	136 070,51	116 794,52	137 468,49	117 600,00	138 416,55	118 182,18	139 101,78

Schließlich können noch die Produktivitätsverluste aus den Betonarbeiten bei Fließfertigung in den Tabellen 7.85 und 7.86 angeführt werden.

Tabelle 7.85 Zusammenstellung der Produktivitätsverluste je FA 1 – 6 bei Fließfertigung

Fertigungsabschnitte	1		2		4		6	
Anzahl der AK [Std/h] bei Trägerschalung 9 [h/d]	25	30	15	12	15	12	10	12
Anzahl der AK [Std/h] bei Systemschalung 9 [h/d]	20	24	10	12	10	12	10	12
Lohnstundenverlust/d AK bei Trägerschalung [Std/d]	14,1	16,9	8,4	6,8	8,4	6,8	5,6	6,8
Lohnstundenverlust/d AK bei Systemschalung [Std/d]	11,3	13,5	5,6	6,8	5,6	6,8	5,6	6,8
Mehrkosten bei AK Trägerschalung [€]	5 721,49	6 865,79	6 984,58	5 587,66	7 660,50	6 128,40	5 277,24	6 332,68
Mehrkosten bei AK Systemschalung [€]	4 577,19	5 492,63	4 656,38	5 587,66	5 107,00	6 128,40	5 277,24	6 332,68
Summe aus Produktivität und Lohn Trägerschalung [€]	128 027,05	150 988,01	151 678,69	123 648,84	166 357,28	135 614,85	118 957,24	140 135,35
Summe aus Produktivität und Lohn Systemschalung [€]	105 066,08	123 434,85	104 962,27	123 648,84	115 119,91	135 614,85	118 957,24	140 135,35

Tabelle 7.86 Zusammenstellung der Produktivitätsverluste je FA 8 – 14 bei Fließfertigung

Fertigungsabschnitte	8		10		12		14	
Anzahl der AK [Std/h] bei Trägerschalung 9 [h/d]	10	12	10	12	10	12	10	12
Anzahl der AK [Std/h] bei Systemschalung 9 [h/d]	10	12	10	12	10	12	10	12
Lohnstundenverlust/d AK bei Trägerschalung [Std/d]	5,6	6,8	5,6	6,8	5,6	6,8	5,6	6,8
Lohnstundenverlust/d AK bei Systemschalung [Std/d]	5,6	6,8	5,6	6,8	5,6	6,8	5,6	6,8
Mehrkosten bei AK Trägerschalung [€]	5 366,68	6 440,02	5 421,82	6 506,18	5 459,21	6 551,05	5 486,23	6 583,48
Mehrkosten bei AK Systemchalung [€]	5 366,68	6 440,02	5 421,82	6 506,18	5 459,21	6 551,05	5 486,23	6 583,48
Summe aus Produktivität und Lohn Trägerschalung [€]	120 973,46	142 510,52	122 216,34	143 974,67	123 059,21	144 967,60	123 668,41	145 685,26
Summe aus Produktivität und Lohn Systemschalung [€]	120 973,46	142 510,52	122 216,34	143 974,67	123 059,21	144 967,60	123 668,41	145 685,26

Aus den Tabellen 7.85 und 7.86 lässt sich erkennen, dass mit steigender Anzahl an Fertigungsabschnitten die Produktivitätsverluste zunehmen.

Als letzten Punkt wird noch die Anzahl der Krane für den gesamten Produktionsprozess Schalen, Bewehren und Betonieren ermittelt.

7.7 Gemeinkosten aus Anzahl der Krane

Zur Ermittlung der Anzahl der Krane können verschiedene Zugänge zur Kapazitätsermittlung herangezogen werden. Zum einen kann die Anzahl der Krane über Richtwerte der monatlichen Leistungsfähigkeit eines Krans oder über die zu bedienenden Arbeitskräfte berechnet werden. So kann die monatliche Leistung eines Krans bei Stahlbetonarbeiten zwischen 2 500 bis 3 500 m³ BRI angenommen werden.⁴⁰⁰ Andererseits kann aus der Literatur der Ansatz genannt werden, der besagt, dass maximal 25 Arbeitskräfte von einem Kran bei Betoneinbau mit Pumpe bedient werden können und maximal 13 Arbeitskräfte bei Betoneinbau mit Kran versorgt werden können.⁴⁰¹ In dieser Arbeit werden diese Ermittlungsweisen aufgegriffen, sodass über die in der Tabelle 7.87 angeführten Eingangsdaten die Anzahl der Krane ermittelt werden können.

Tabelle 7.87 Ermittlung der Anzahl der Krane über den BRI

Gebäudekubatur	15 750,00 [m³]
Geschosshöhe	3,5 [m]
benötigte Krane bei 2 500 m³BRI/MO	6,3 [-]
benötigte Krane bei 3 500 m³BRI/MO	4,5 [-]

Aus Tabelle 7.87 lässt sich erkennen, dass sich über den Bruttorauminhalt sehr unterschiedliche Ergebnisse ergeben. Dazu ergibt sich die Anzahl der Krane nach Gleichung 7.23.

$$\text{Krananzahl} = \frac{\text{Kubatur} \left[\frac{\text{m}^3 \text{BRI}}{\text{MO}} \right]}{\text{Kranleistung} \left[\frac{\text{m}^3 \text{BRI}}{\text{MO} + \text{Kran}} \right]} \quad (7.23)$$

Des Weiteren kann die Krananzahl auch über die einzusetzenden Arbeitskräfte errechnet werden. Bei Taktfertigung wird davon ausgegan-

⁴⁰⁰ Vgl. HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb; Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 124

⁴⁰¹ ebd.

gen, dass entweder die Arbeitsgruppe für das Schalen und Betonieren oder die Gruppe für das Bewehren beschickt werden muss. Aus den unterschiedlichen Ergebnissen der Arbeitskräfteanzahl bei der Träger- und Systemschalung muss nun zwischen den beiden Szenarien differenziert werden. Dazu wird in den Tabellen 7.88 und 7.89 die Anzahl an maximalen Arbeitskräften zusammengefasst. Die weitere Auflistung erfolgt getrennt nach 5er und 6er Partien je Fertigungsabschnitt.

Tabelle 7.88 Zusammenfassung der Anzahl der Arbeitskräfte je FA 1 – 6 bei Taktfertigung

Fertigungsabschnitte	1		2		4		6	
zu bedienende AK bei Trägerschalung stab	25	30	20	24	20	18	20	18
zu bedienende AK bei Trägerschalung matten	25	30	20	24	20	18	20	18
zu bedienende AK bei Trägerschalung misch	25	30	20	24	20	18	20	18
zu bedienende AK bei Systemschalung stab	24	24	18	18	18	15	18	15
zu bedienende AK bei Systemschalung matten	24	24	15	18	15	15	15	15
zu bedienende AK bei Systemschalung misch	24	24	18	18	18	15	18	15

Tabelle 7.89 Zusammenfassung der Anzahl der Arbeitskräfte je FA 8 – 14 bei Taktfertigung

Fertigungsabschnitte	8		10		12		14	
zu bedienende AK bei Trägerschalung stab	20	18	20	18	20	18	20	18
zu bedienende AK bei Trägerschalung matten	20	18	20	18	20	18	20	18
zu bedienende AK bei Trägerschalung misch	20	18	20	18	20	18	20	18
zu bedienende AK bei Systemschalung stab	18	15	18	15	18	15	18	15
zu bedienende AK bei Systemschalung matten	15	15	15	15	15	15	15	15
zu bedienende AK bei Systemschalung misch	18	15	18	15	18	15	18	15

Die vorangestellten Tabellen zeigen, dass mit steigender Anzahl der Fertigungsabschnitte, immer weniger Arbeitskräfte benötigt werden. Ausgehend von diesen Tabellen werden die Krane für den Fall bei Pumpeinbringung durch Mittelung der Ergebnisse aus Tabelle 7.87 und 7.88 ermittelt und in den Tabellen 7.90 und 7.91 dargestellt.

Tabelle 7.90 Zusammenstellung der Anzahl an Krane bei Pumpeinbringung je FA 1 – 6 bei Taktfertigung

Fertigungsabschnitte	1		2		4		6	
Wahl Anzahl der Krane Träger stab minimal	2	2	2	2	2	2	2	2
Wahl Anzahl der Krane Träger stab maximal	3	3	3	3	3	3	3	3
Wahl Anzahl der Krane Träger matten minimal	2	2	2	2	2	2	2	2
Wahl Anzahl der Krane Träger matten maximal	3	3	3	3	3	3	3	3
Wahl Anzahl der Krane Träger misch minimal	2	2	2	2	2	2	2	2
Wahl Anzahl der Krane Träger misch maximal	3	3	3	3	3	3	3	3
Wahl Anzahl der Krane System stab minimal	2	2	2	2	2	2	2	2
Wahl Anzahl der Krane System stab maximal	3	3	3	3	3	3	3	3
Wahl Anzahl der Krane System matten minimal	2	2	2	2	2	2	2	2
Wahl Anzahl der Krane System matten maximal	3	3	3	3	3	3	3	3
Wahl Anzahl der Krane System misch minimal	2	2	2	2	2	2	2	2
Wahl Anzahl der Krane System misch maximal	3	3	3	3	3	3	3	3

Im konkreten Fall errechnet sich die Anzahl der Krane für einen Fertigungsabschnitt aus 4,5 Krane, da angenommen wird, dass bei Pumpeinbringung ein Kran mehr Kubikmeter Rauminhalt bedienen kann, plus jeweils weitere Krane aus der Ermittlung nach den Arbeitskräften aus den Tabelle 7.88 und 7.89. Daraus wird alsdann das arithmetische Mittel gebildet, was sich im gegenständlichen Fall zu 2,75 ergibt. Daraus ergeben sich die Möglichkeiten, entweder zwei oder drei Krane einzusetzen, deshalb wird das Ergebnis in Excel, einmal ab- und einmal aufgerundet, so wie in den Tabellen 7.90 und 7.91 angeführt. Dieses Vorgehen führt zu einer minimalen und einer maximalen Krananzahl.

Tabelle 7.91 Zusammenstellung der Anzahl an Krane bei Pumpeinbringung je FA 8 – 14 bei Taktfertigung

Fertigungsabschnitte	8	10	12	14
Wahl Anzahl der Krane Träger stab minimal	2	2	2	2
Wahl Anzahl der Krane Träger stab maximal	3	3	3	3
Wahl Anzahl der Krane Träger matten minimal	2	2	2	2
Wahl Anzahl der Krane Träger matten maximal	3	3	3	3
Wahl Anzahl der Krane Träger misch minimal	2	2	2	2
Wahl Anzahl der Krane Träger misch maximal	3	3	3	3
Wahl Anzahl der Krane System stab minimal	2	2	2	2
Wahl Anzahl der Krane System stab maximal	3	3	3	3
Wahl Anzahl der Krane System matten minimal	2	2	2	2
Wahl Anzahl der Krane System matten maximal	3	3	3	3
Wahl Anzahl der Krane System misch minimal	2	2	2	2
Wahl Anzahl der Krane System misch maximal	3	3	3	3

Daraus ergeben sich schließlich die Krankkosten nach den Tabellen 7.92 und 7.93.

Tabelle 7.92 Krankkosten bei Pumpeinbringung je FA 1 – 6 bei Taktfertigung

Fertigungsabschnitte	1	2	4	6
Krankkosten Mietkosten 7000 €/MO minimal [€]	68 537,78	68 537,78	66 204,44	66 204,44
Krankkosten Mietkosten 7000 €/MO maximal [€]	102 806,67	102 806,67	99 306,67	99 306,67
Lohnkosten Kranfahrer 5000 € minimal [€]	48 955,56	48 955,56	47 288,89	47 288,89
Lohnkosten Kranfahrer 5000 € maximal [€]	73 433,33	73 433,33	70 933,33	70 933,33
Summe minimal 2 Krane [€]	117 493,33	117 493,33	113 493,33	113 493,33
Summe maximal 3 Krane [€]	176 240,00	176 240,00	170 240,00	170 240,00

Tabelle 7.93 Krankkosten bei Pumpeinbringung je FA 8 – 14 bei Taktfertigung

Fertigungsabschnitte	8	10	12	14
Krankkosten Mietkosten 7000 €/MO minimal [€]	66 204,44	66 204,44	66 204,44	66 204,44
Krankkosten Mietkosten 7000 €/MO maximal [€]	99 306,67	99 306,67	99 306,67	99 306,67
Lohnkosten Kranfahrer 5000 € minimal [€]	47 288,89	47 288,89	47 288,89	47 288,89
Lohnkosten Kranfahrer 5000 € maximal [€]	70 933,33	70 933,33	70 933,33	70 933,33
Summe minimal 2 Krane [€]	113 493,33	113 493,33	113 493,33	113 493,33
Summe maximal 3 Krane [€]	170 240,00	170 240,00	170 240,00	170 240,00

Demgegenüber werden in den nächsten Tabellen 7.94 bis 7.107, die Ergebnisse bei Fließfertigung angeführt.

Tabelle 7.94 Zusammenfassung der Anzahl der Arbeitskräfte je FA 1 – 6 bei Fließfertigung

Fertigungsabschnitte	1	2	4	6
zu bedienende AK Trägerschalung stab	43	50	27	22
zu bedienende AK Trägerschalung matten	43	50	27	22
zu bedienende AK Trägerschalung misch	43	50	23	22
zu bedienende AK Systemschalung stab	38	44	22	18
zu bedienende AK Systemschalung matten	38	44	22	18
zu bedienende AK Systemschalung misch	38	44	18	22

Tabelle 7.95 Zusammenfassung der Anzahl der Arbeitskräfte je FA 8 – 14 bei Fließfertigung

Fertigungsabschnitte	8	10	12	14
zu bedienende AK Trägerschalung stab	18	22	18	22
zu bedienende AK Trägerschalung matten	18	22	18	22
zu bedienende AK Trägerschalung misch	18	22	18	22
zu bedienende AK Systemschalung stab	18	22	18	22
zu bedienende AK Systemschalung matten	18	22	18	22
zu bedienende AK Systemschalung misch	18	22	18	22

Vergleicht man die Tabellen 7.88 und 7.89 mit den zuletzt angeführten, so stellt man fest, dass bei der Fließfertigung tendenziell mehr Arbeitskräfte auf der Baustelle arbeiten. Dies rührt aus der Tatsache, dass die Prozesse Schalen und Bewehren parallel ablaufen, was zudem noch zu einer geringeren Fluktuation der Arbeitskräfte im Vergleich zur Taktfertigung beiträgt. In den Tabellen 7.96 und 7.97 werden wiederum die An-

zahl der Krane nach demselben Schema in den Tabellen 7.90 und 7.91 errechnet.

Tabelle 7.96 Zusammenstellung der Anzahl an Krane bei Pumpeinbringung je FA 1 – 6 bei Fließfertigung

Fertigungsabschnitte	1	2	4	6
Wahl Anzahl der Krane Träger stab minimal	3	3	2	2
Wahl Anzahl der Krane Träger stab maximal	4	4	3	3
Wahl Anzahl der Krane Träger matten minimal	3	3	2	2
Wahl Anzahl der Krane Träger matten maximal	4	4	3	3
Wahl Anzahl der Krane Träger misch minimal	3	3	2	2
Wahl Anzahl der Krane Träger misch maximal	4	4	3	3
Wahl Anzahl der Krane System stab minimal	3	3	2	2
Wahl Anzahl der Krane System stab maximal	4	4	3	3
Wahl Anzahl der Krane System matten minimal	3	3	2	2
Wahl Anzahl der Krane System matten maximal	4	4	3	3
Wahl Anzahl der Krane System misch minimal	3	3	2	2
Wahl Anzahl der Krane System misch maximal	4	4	3	3

Tabelle 7.97 Zusammenstellung der Anzahl an Krane bei Pumpeinbringung je FA 8 – 14 bei Fließfertigung

Fertigungsabschnitte	8	10	12	14
Wahl Anzahl der Krane Träger stab minimal	2	2	2	2
Wahl Anzahl der Krane Träger stab maximal	3	3	3	3
Wahl Anzahl der Krane Träger matten minimal	2	2	2	2
Wahl Anzahl der Krane Träger matten maximal	3	3	3	3
Wahl Anzahl der Krane Träger misch minimal	2	2	2	2
Wahl Anzahl der Krane Träger misch maximal	3	3	3	3
Wahl Anzahl der Krane System stab minimal	2	2	2	2
Wahl Anzahl der Krane System stab maximal	3	3	3	3
Wahl Anzahl der Krane System matten minimal	2	2	2	2
Wahl Anzahl der Krane System matten maximal	3	3	3	3
Wahl Anzahl der Krane System misch minimal	2	2	2	2
Wahl Anzahl der Krane System misch maximal	3	3	3	3

Man erkennt, dass bei der Fließfertigung, bei einem Fertigungsabschnitt jeweils ein Kran mehr einzusetzen ist, als bei der Taktfertigung. Daraus resultierend können die sich daraus ergebenden Kosten in den Tabellen 7.98 und 7.99 ermittelt werden.

Tabelle 7.98 Krankkosten bei Pumpeinbringung je FA 1 – 6 bei Fließfertigung

Fertigungsabschnitte	1	2	4	6
Krankkosten Mietkosten 7000 €/MO minimal [€]	102 806,67	102 806,67	63 065,88	62 024,52
Krankkosten Mietkosten 7000 €/MO maximal [€]	137 075,56	137 075,56	94 598,82	93 036,77
Lohnkosten Kranfahrer 5000 € minimal [€]	73 433,33	73 433,33	45 047,06	44 303,23
Lohnkosten Kranfahrer 5000 € maximal [€]	97 911,11	97 911,11	67 570,59	66 454,84
Summe minimal 2 Krane [€]	176 240,00	176 240,00	108 112,94	106 327,74
Summe maximal 3 Krane [€]	234 986,67	234 986,67	162 169,41	159 491,61

Tabelle 7.99 Krankkosten bei Pumpeinbringung je FA 8 – 14 bei Fließfertigung

Fertigungsabschnitte	8	10	12	14
Krankkosten Mietkosten 7000 €/MO minimal [€]	61 424,41	61 424,41	61 296,99	61 210,57
Krankkosten Mietkosten 7000 €/MO maximal [€]	92 136,61	92 136,61	91 945,48	91 815,86
Lohnkosten Kranfahrer 5000 € minimal [€]	43 874,58	43 874,58	43 783,56	43 721,84
Lohnkosten Kranfahrer 5000 € maximal [€]	65 811,86	65 811,86	65 675,34	65 582,76
Summe minimal 2 Krane [€]	105 298,98	105 298,98	105 080,55	104 932,41
Summe maximal 3 Krane [€]	157 948,47	157 948,47	157 620,82	157 398,62

Schließlich werden noch die Berechnungen für die Kraneinbringung bei Taktfertigung in den Tabellen 7.100 bis 7.103 angeführt.

Tabelle 7.100 Zusammenstellung der Anzahl an Krane bei Kraneinbringung je FA 1 – 6 bei Taktfertigung

Fertigungsabschnitte	1	2	4	6
Wahl Anzahl der Krane Träger stab minimal	6	6	4	4
Wahl Anzahl der Krane Träger stab maximal	7	7	5	5
Wahl Anzahl der Krane Träger matten minimal	6	6	4	4
Wahl Anzahl der Krane Träger matten maximal	7	7	5	5
Wahl Anzahl der Krane Träger misch minimal	6	6	4	4
Wahl Anzahl der Krane Träger misch maximal	7	7	5	5
Wahl Anzahl der Krane System stab minimal	6	6	4	4
Wahl Anzahl der Krane System stab maximal	7	7	5	5
Wahl Anzahl der Krane System matten minimal	6	6	4	4
Wahl Anzahl der Krane System matten maximal	7	7	5	5
Wahl Anzahl der Krane System misch minimal	6	6	4	4
Wahl Anzahl der Krane System misch maximal	7	7	5	5

Die Tabellen 7.100 und 7.101 zeigen, dass bei dieser Möglichkeit wesentlich mehr Krane zur Erfüllung des bauzeitlichen Rahmens nötig sein werden.

Tabelle 7.101 Zusammenstellung der Anzahl an Krane bei Kraneinbringung je FA 8 – 14 bei Taktfertigung

Fertigungsabschnitte	8	10	12	14
Wahl Anzahl der Krane Träger stab minimal	4	4	4	4
Wahl Anzahl der Krane Träger stab maximal	5	5	5	5
Wahl Anzahl der Krane Träger matten minimal	4	4	4	4
Wahl Anzahl der Krane Träger matten maximal	5	5	5	5
Wahl Anzahl der Krane Träger misch minimal	4	4	4	4
Wahl Anzahl der Krane Träger misch maximal	5	5	5	5
Wahl Anzahl der Krane System stab minimal	4	4	4	4
Wahl Anzahl der Krane System stab maximal	5	5	5	5
Wahl Anzahl der Krane System matten minimal	4	4	4	4
Wahl Anzahl der Krane System matten maximal	5	5	5	5
Wahl Anzahl der Krane System misch minimal	4	4	4	4
Wahl Anzahl der Krane System misch maximal	5	5	5	5

Aus diesen Ergebnissen ergeben sich auch die in den nachfolgenden Tabellen 7.102 und 7.103 zusammengeführten Kosten.

Tabelle 7.102 Krankkosten bei Kraneinbringung je FA 1 – 6 bei Taktfertigung

Fertigungsabschnitte	1	2	4	6
Krankkosten Mietkosten 7000 €/MO minimal [€]	205 613,33	205 613,33	132 408,89	132 408,89
Krankkosten Mietkosten 7000 €/MO maximal [€]	239 882,22	239 882,22	165 511,11	165 511,11
Lohnkosten Kranfahrer 5000 €/MO minimal [€]	146 866,67	146 866,67	94 577,78	94 577,78
Lohnkosten Kranfahrer 5000 €/MO maximal [€]	171 344,44	171 344,44	118 222,22	118 222,22
Summe minimal 4 Krane [€]	352 480,00	352 480,00	226 986,67	226 986,67
Summe maximal 5 Krane [€]	411 226,67	411 226,67	283 733,33	283 733,33

Tabelle 7.103 Krankkosten bei Kraneinbringung je FA 8 – 14 bei Taktfertigung

Fertigungsabschnitte	8	10	12	14
Krankkosten Mietkosten 7000 €/MO minimal [€]	132 408,89	132 408,89	132 408,89	132 408,89
Krankkosten Mietkosten 7000 €/MO maximal [€]	165 511,11	165 511,11	165 511,11	165 511,11
Lohnkosten Kranfahrer 5000 €/MO minimal [€]	94 577,78	94 577,78	94 577,78	94 577,78
Lohnkosten Kranfahrer 5000 €/MO maximal [€]	118 222,22	118 222,22	118 222,22	118 222,22
Summe minimal 4 Krane [€]	226 986,67	226 986,67	226 986,67	226 986,67
Summe maximal 5 Krane [€]	283 733,33	283 733,33	283 733,33	283 733,33

Die Tabellen 7.104 bis 7.107 zeigen die zusammenfassenden Ergebnisse beim Bauablauf der Fließfertigung.

Tabelle 7.104 Zusammenstellung der Anzahl an Krane bei Kraneinbringung je FA 1 –6 bei Fließfertigung

Fertigungsabschnitte	1	2	4	6
Wahl Anzahl der Krane Träger stab minimal	6	4	3	3
Wahl Anzahl der Krane Träger stab maximal	7	5	4	4
Wahl Anzahl der Krane Träger matten minimal	6	3	2	2
Wahl Anzahl der Krane Träger matten maximal	7	4	3	3
Wahl Anzahl der Krane Träger misch minimal	6	3	2	2
Wahl Anzahl der Krane Träger misch maximal	7	4	3	3
Wahl Anzahl der Krane System stab minimal	6	2	2	2
Wahl Anzahl der Krane System stab maximal	7	3	3	3
Wahl Anzahl der Krane System matten minimal	6	2	2	2
Wahl Anzahl der Krane System matten maximal	7	3	3	3
Wahl Anzahl der Krane System misch minimal	6	2	2	2
Wahl Anzahl der Krane System misch maximal	7	3	3	3

Tabelle 7.105 Zusammenstellung der Anzahl an Krane bei Kraneinbringung je FA 8 – 14 bei Fließfertigung

Fertigungsabschnitte	8	10	12	14
Wahl Anzahl der Krane Träger stab minimal	3	3	3	3
Wahl Anzahl der Krane Träger stab maximal	4	4	4	4
Wahl Anzahl der Krane Träger matten minimal	2	2	2	2
Wahl Anzahl der Krane Träger matten maximal	3	3	3	3
Wahl Anzahl der Krane Träger misch minimal	2	2	2	2
Wahl Anzahl der Krane Träger misch maximal	3	3	3	3
Wahl Anzahl der Krane System stab minimal	2	2	2	2
Wahl Anzahl der Krane System stab maximal	3	3	3	3
Wahl Anzahl der Krane System matten minimal	2	2	2	2
Wahl Anzahl der Krane System matten maximal	3	3	3	3
Wahl Anzahl der Krane System misch minimal	2	2	2	2
Wahl Anzahl der Krane System misch maximal	3	3	3	3

Die Tabellen zeigen, dass bei Fließfertigung die Anzahl der Krane erheblich von der Anzahl der einzusetzenden Arbeitskräfte abhängen. Dabei können sogar Unterschiede in Abhängigkeit des eingesetzten Schaltungssystems und von der Art der Bewehrung (Stab oder Matten) festgemacht werden.

Tabelle 7.106 Krankkosten bei Kraneinbringung je FA 1 – 6 bei Fließfertigung

Fertigungsabschnitte	1	2	4	6
Krankosten Mietkosten 7000 €/MO minimal [€]	205 613,33	126 131,76	93 036,77	92 446,67
Krankosten Mietkosten 7000 €/MO maximal [€]	239 882,22	157 664,71	124 049,03	123 262,22
Lohnkosten Kranfahrer 5000 €/MO minimal [€]	146 866,67	90 094,12	66 454,84	66 033,33
Lohnkosten Kranfahrer 5000 €/MO maximal [€]	171 344,44	112 617,65	88 606,45	88 044,44
Summe minimale Anzahl an Kranen [€]	352 480,00	216 225,88	159 491,61	158 480,00
Summe maximale Anzahl an Kranen [€]	411 226,67	270 282,35	212 655,48	211 306,67

Tabelle 7.107 Krankkosten bei Kraneinbringung je FA 8 – 14 bei Fließfertigung

Fertigungsabschnitte	8	10	12	14
Krankosten Mietkosten 7000 €/MO minimal [€]	92 136,61	91 945,48	91 815,86	91 722,18
Krankosten Mietkosten 7000 €/MO maximal [€]	122 848,81	122 593,97	122 421,15	122 296,24
Lohnkosten Kranfahrer 5000 €/MO minimal [€]	65 811,86	65 675,34	65 582,76	65 515,84
Lohnkosten Kranfahrer 5000 €/MO maximal [€]	87 749,15	87 567,12	87 443,68	87 354,46
Summe minimale Anzahl an Kranen [€]	157 948,47	157 620,82	157 398,62	157 238,02
Summe maximale Anzahl an Kranen [€]	210 597,97	210 161,10	209 864,83	209 650,69

Aus den unterschiedlichen Ergebnissen in der Krananzahl ergeben sich auch unterschiedliche Kosten. Im nächsten Unterkapitel wird nun gezeigt, wie die vorhin dargestellten und erläuterten Ergebnisse in den Entscheidungsbaum implementiert werden und wie deren chronologische Ablauffolge vonstattengeht.

7.8 Darstellung der Rechenergebnisse im Entscheidungsbaum

Nachdem in den vorangegangenen Kapiteln die Bauablaufmodelle mit den jeweiligen Berechnungen der Dauern und Kosten dargebracht wurden, folgt im nächsten Schritt die Implementierung in den Entscheidungsbaum selbst, mit Hilfe der Software PrecisionTree. Vorab wurde versucht den Baum als Ganzes aufzubauen, jedoch erwies sich dies aus Gründen der Darstellbarkeit und der Übersichtlichkeit als nachteilig, da sich die Anzahl der weiterführenden Zweige an den Astverzweigungen potenzieren und somit als zu groß erschienen. Das bedeutet, dass bei einem Ausgangsknoten von zwei Zweigmöglichkeiten die nächste Ebene aus vier, also 2^2 Möglichkeiten, die nächste zu 2^3 , also 8, die übernächste Ebene zu 2^4 , also 16, die nächste zu 2^5 , also 32 Möglichkeiten, usw. besteht. Im Groben können nun die drei wesentlichen Prozesse zur Herstellung der Stahlbetondecken in Bild 7.19 schematisch dargestellt werden.

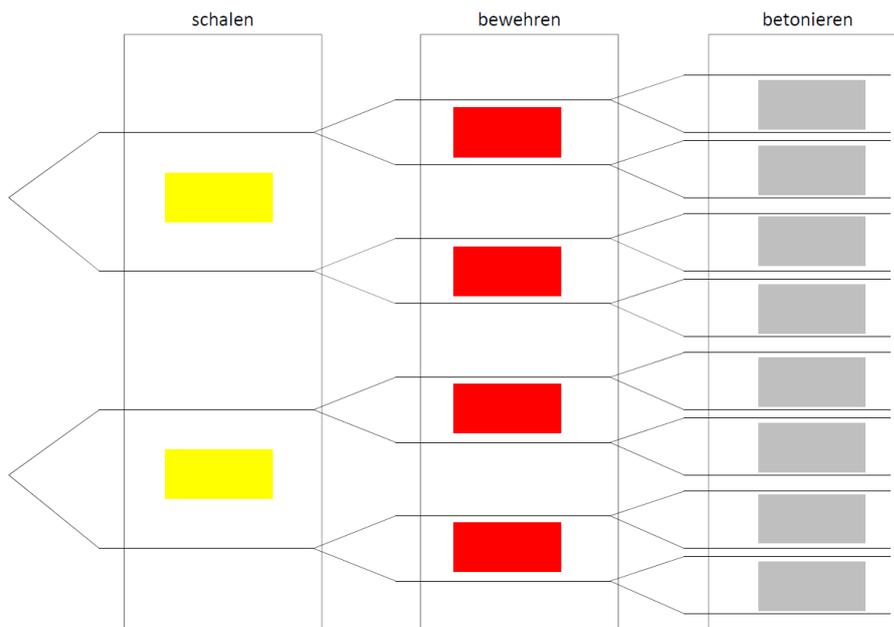


Bild 7.19 Baumablaufschema der Prozesse schalen, bewehren und betonieren

Hier wurde ausgehend von acht Startknoten, die für die Anzahl der Fertigungsabschnitte stehen, der Schalungsprozess, der allein mit 2^3 Möglichkeiten, acht Abläufe je Abschnitt darstellt, aufgesetzt. Daraus ergeben sich $8 * 8 = 64$ Gesamtablaufpunkte. Darauf setzen die Bewehrungsarbeiten fort, die insgesamt sechs weitere Möglichkeiten zur Weiterführung des Baumes offenbaren. Bis hierhin können somit bereits $64 * 6 = 384$ Punkte errechnet werden. Den letzten Abschnitt bilden die Betonarbeiten, die 2^3 , also acht weitere Verzweigungen aufweisen. Insgesamt resultieren daraus $384 * 8 = 3\,072$ Ablaufwerte und in weiterer

Folge auch Excel-Zeilen. Aus diesem Grund wird die gesamte Baumstruktur, dem prozesstechnischem Ablauf entsprechend in drei, einander Untergeordnete Detailbäume, wie in Bild 7.20 dargestellt, untergeordnet.

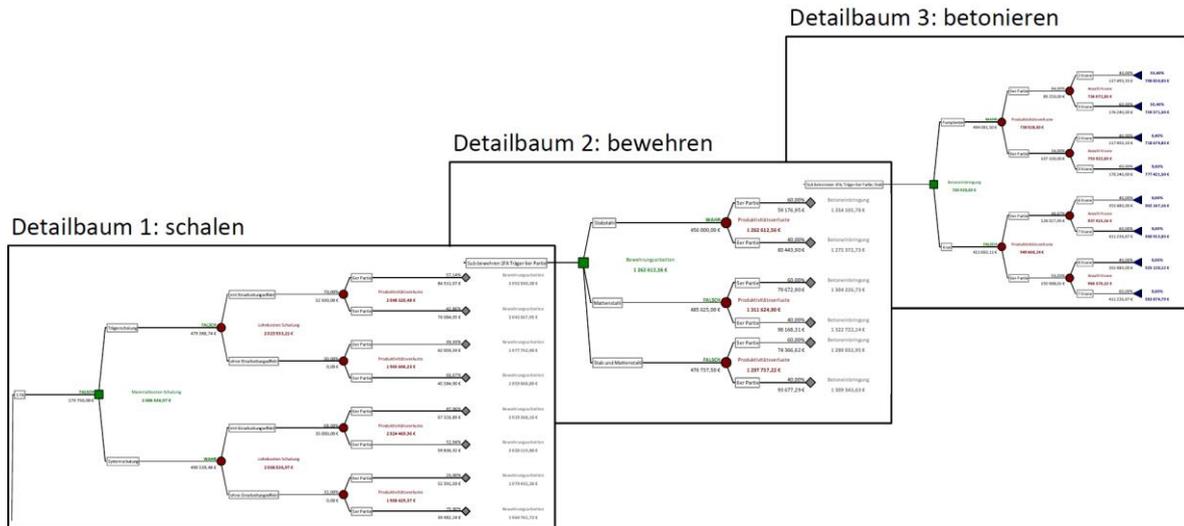


Bild 7.20 Übersichtsdiagramm der drei Unterbaumsysteme

Der Aufbau gilt für Taktfertigung sowie auch für Fließfertigung gleichermaßen. So werden im Folgenden die Zweigbenennungen und zugehörigen kalkulierten Werte beschrieben.

7.8.1 Detailbaum 1 schalen

Bild 7.20 zeigt dazu die ersten vier Entscheidungsebenen des Entscheidungsbaumes. Die erste Ebene startet von einem Entscheidungsbaumknoten, von dem die Anzahl der Fertigungsabschnitte ausgeht. Die Werte an den Ästen bezeichnen die Kosten der Arbeitsfugen und Dehnfugen. Bei einem Fertigungsabschnitt müssen bekanntlich mehr Dehnungsfugen angeordnet werden als bei der Aufteilung nach mehreren Abschnitten, da bei einem Fertigungsabschnitt der Beton in einem Zug eingebracht wird und sich daraus zusätzliche Zwängungen beim Erhärtungsprozess ergeben.

In der zweiten Ebene, die ebenfalls von einem Entscheidungsbaumknoten ausgeht, werden die Schalungskosten einbezogen. Dabei werden die Zweigwerte, die sich aus den Anteilen der Material- und Gerätekosten als Sonstiges sowie der Lohnkosten zusammensetzen, eingetragen.

Im nächsten Schritt, der dritten Ebene, werden die Produktivitätsverluste aus den Einarbeitungseffekten ermittelt. Diese Ebene hat den Ursprung in einem Zufallsknoten, was bedeutet, dass beide Zweigmöglichkeiten eintreten können und somit jede Möglichkeit durch eine Belegung einer

Zufallswahrscheinlichkeit bezüglich deren Eintretens bewertet werden kann. Einarbeitungseffekte treten meist dann auf, wenn sich die Arbeitspartien auf neue Grundrissstrukturen einstellen müssen und werden durch eine Aufwandswerterhöhung berücksichtigt. Bild 7.21 zeigt eine detaillierte Aufgliederung des ersten Detailbaumes „schalen“.

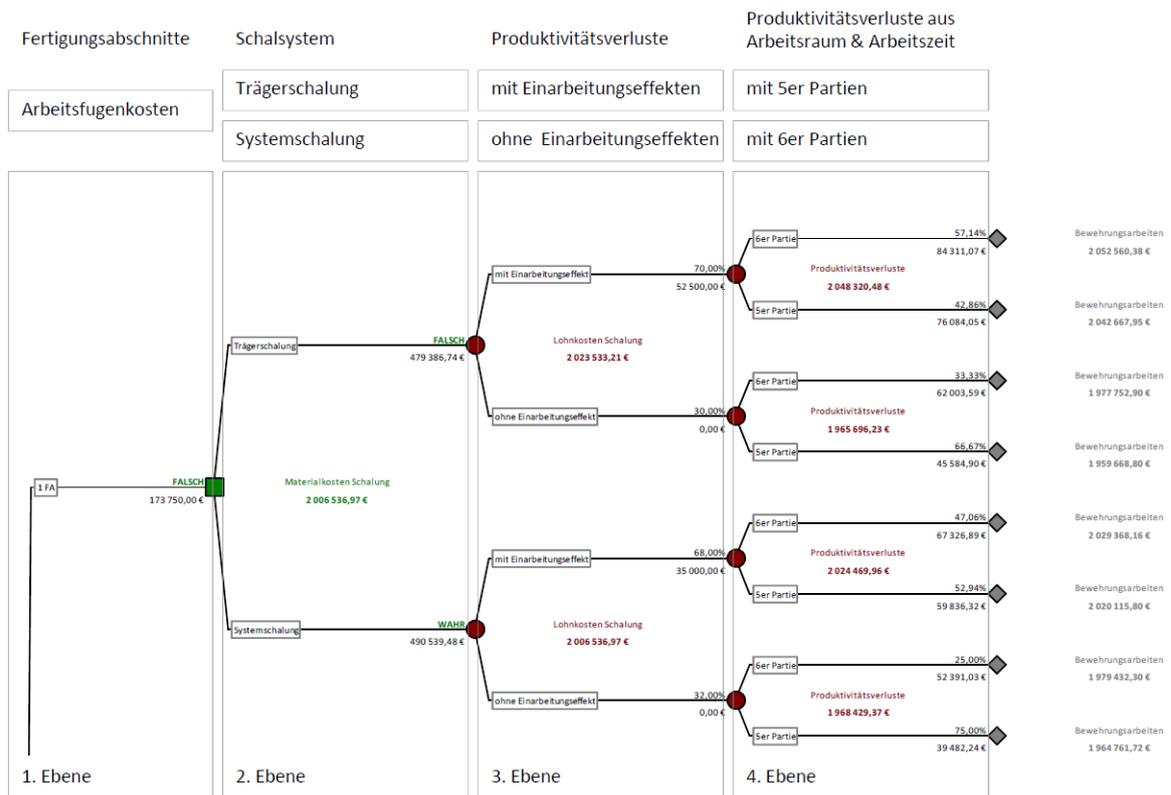


Bild 7.21 Detailbaum 1: Schalen

In der vierten Ebene wird der Umstand berücksichtigt, dass einerseits 5er Partien und andererseits 6er Partien zum Einsatz kommen können und sich daraus die Produktivitätsverluste aus veränderlicher täglicher Arbeitszeit und der Unterschreitung der Mindestarbeitsfläche ergeben. Jedoch hängen die Wahrscheinlichkeiten für den Einsatz der jeweiligen Partien wesentlich von jenen der Einarbeitung ab und können daher nicht isoliert für sich betrachtet werden. Dazu müssen in Verbindung zu den Wahrscheinlichkeiten der Einarbeitung, Beziehungen und Abhängigkeitsverhältnisse geschaffen werden, da ja die Verluste aus erhöhter Arbeitszeit und des verminderten Arbeitsraumes von den Einarbeitungseffekten abhängen. Diesem Umstand kann in PrecisionTree durch den Einbezug des Theorems von Bayes, das in den nächsten Kapiteln erläutert wird, geschehen.

7.8.2 Ermittlung der Zweigwahrscheinlichkeiten zur Bewertung von Produktivitätsverlusten durch das Theorem von Bayes bei der Trägerschalung

Zur Ermittlung der Zweigwahrscheinlichkeiten werden vorab Unterbäume zur Optimierung der Produktivitätsverluste konstruiert. Mit steigender Anzahl an Arbeitskräften sinkt die tägliche Arbeitszeit. Gleichzeitig steigt aber auch der dadurch entstehende Verlust aus der Verminderung des Arbeitsraumes. Diese Unterbäume erlauben es nun, zwischen den Verlusten aus der Erhöhung der täglichen Arbeitszeit und der verminderten Arbeitsfläche, die bestmögliche Kombination zu erhalten. Zudem kann daraus die bestmögliche Zusammensetzung aus 5er- und 6er Partien abgeleitet werden. Dazu muss zunächst aber wieder eine Kalkulationstabelle entworfen werden, mit der flexibel in Variation der jeweiligen Aufwandswerte und der Anzahl der Arbeitskräfte (Vielfache von 5er und 6er Partien), die bestmögliche Variante im Baum gefunden werden kann. Tabelle 7.108 zeigt nun die Grundeinstellung der anschließenden Berechnungen.

Tabelle 7.108 Grundtabelle zur Ermittlung der Produktivitätsverluste für Trägerschalung in Abhängigkeit der Fertigungsabschnitte

Kriterien	Trägerschalung	
	1 FA	2 FA
Gesamtdeckenfläche :	15 000,00 m ²	15 000,00 m ²
Gesamtdauer	100,00 d	100,00 d
Schalleistung:	529,41 m ² /d	367,35 m ² /d
AW mit Einarbeitung Variation Aufwandswert	0,5877 Std/m ²	0,5384 Std/m ²
Anzahl AK Variation 5er/6er Partie	24,00 Std/h	25,00 Std/h
MLK	35,00 €/Std	35,00 €/Std
Arbeitsfläche je Arbeitskraft	22,06 m ² /Std/h	14,69 m ² /Std/h
Reduktion der Arbeitsfläche	23,94 %	49,33 %
Aufwandswerterhöhung nach M-Schätzer	12,21 %	33,17 %
Mehrkosten durch Unterschreitung Mindestarbeitsfläche	37 663,74 €	93 752,80 €
tägliche Arbeitszeit	12,96 h/d	7,91 h/d
Lohnstundenverlust/d aufgrund erhöhter Arbeitszeit	36,96 Std/d	0,01 Std/d
Mehrkosten aufgrund erhöhter Arbeitszeit	134 965,12 €	0,00 €
Summe Produktivitätsverluste	172 628,86 €	93 752,80 €

Die rund 13 h/d an Arbeitszeit aus Tabelle 7.108 sind hier als theoretische Grundgröße zu verstehen. An konkreten Beispielen müssen natürlich arbeitsrechtliche Bestimmungen eingehalten werden, wodurch die tägliche Arbeitszeit begrenzt wird.

Dabei stellen die Werte in den blau markierten Feldern, die in Bild 7.22 dargestelltem Baum, veränderlichen Parameter dar. Der Baum wurde mit der Pfadablaufmethode der verknüpften Kalkulationstabelle entworfen, siehe dazu zur Erklärung Kapitel 6. Das bedeutet, dass ausgehend von der Tabelle 7.108, die lediglich ein Szenario der Berechnung zeigt, beliebig viele weitere Szenarien als Äste im Baum angefügt werden können, sodass die Berechnung wieder automatisch auf die Grundeinstellungen in der Kalkulationstabelle zurückgreifen kann. Bild 7.22 zeigt nun diesen beschriebenen Baum, bei dem das Kostenminimum bei 30 Arbeitskräften erreicht wird. Daraus kann der Einsatz von 5er Partien und 6er Partien gleichermaßen erklärt werden, da 30 ein Vielfaches von fünf und sechs ist.

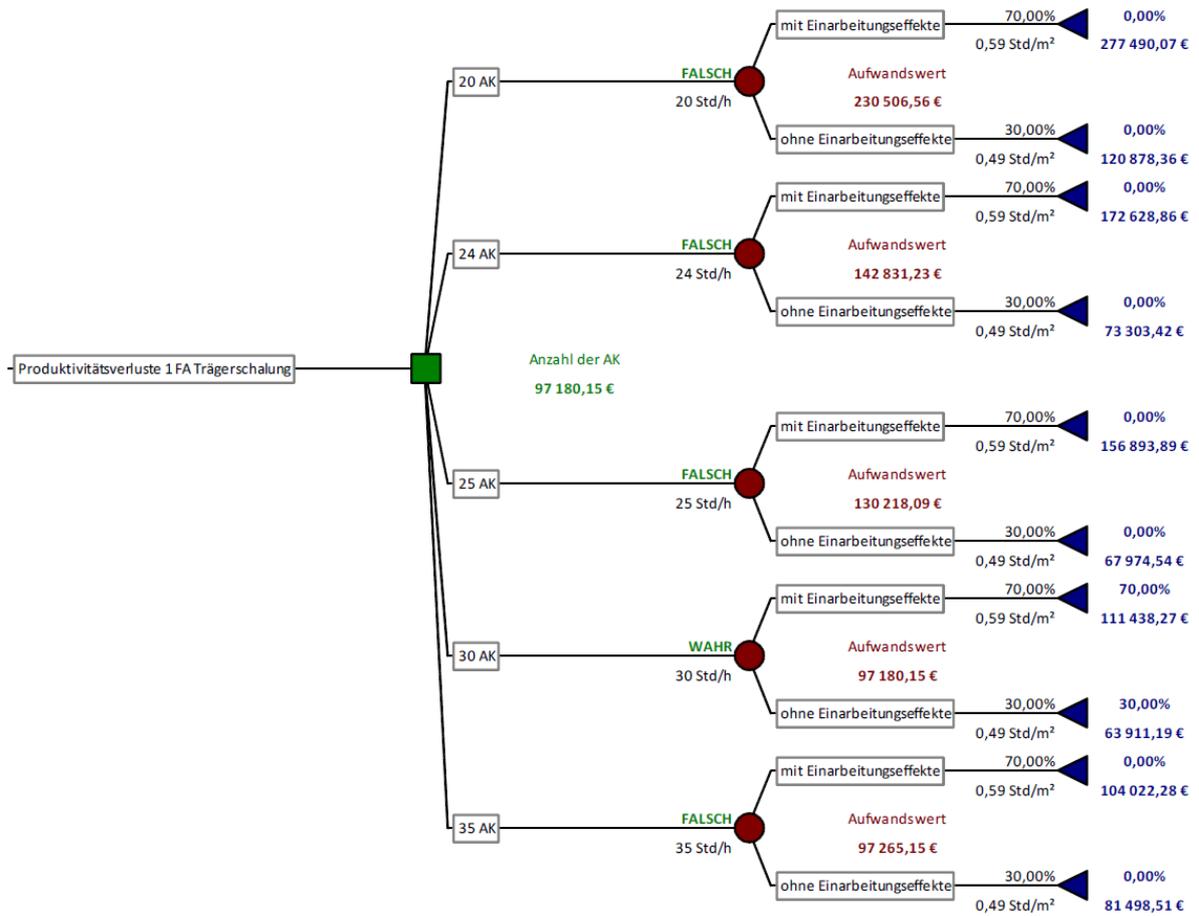


Bild 7.22 Produktivitätsverluste für 1 FA bei Trägerschalung in Abhängigkeit der eingesetzten Arbeitsgruppen

Bild 7.22 zeigt nun, dass ausgehend für einen Fertigungsabschnitt bei Trägerschalung, der Ast mit 30 Arbeitskräften mit der Variation des Aufwandswertes nach den Einarbeitungseffekten, mit „Wahr“ erscheint und dadurch das Optimum darstellt.

Als weitere Versinnbildlichung kann noch das Bild 7.23 angeführt werden, was den Verlauf der Produktivitätskurve zeigt.

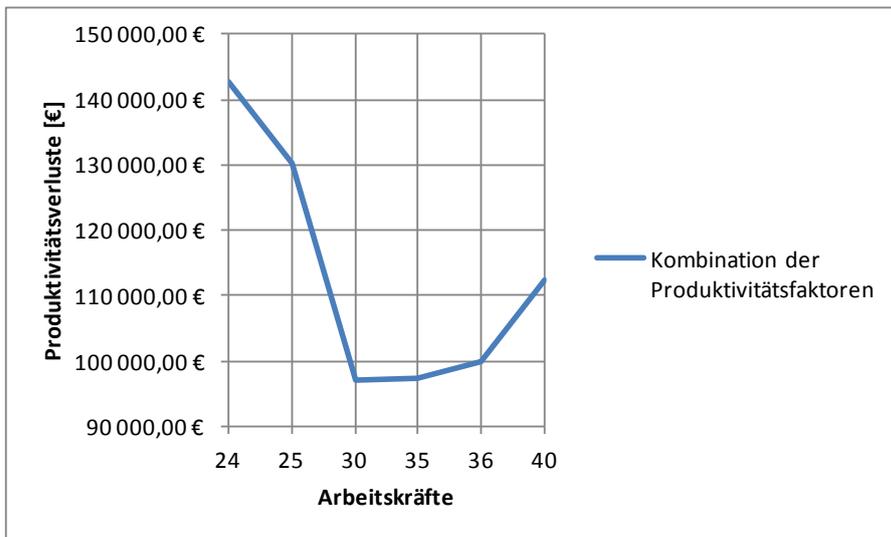


Bild 7.23 Verlauf der Produktivitätsverluste bei 1 FA und Trägerschalung

Zur Ermittlung der Zweigwahrscheinlichkeiten müssen nun im nächsten Schritt einige Grundannahmen getroffen werden. Dazu wird in Bild 7.24 ein weiterer Baum dargestellt, der die Grundeinstellung für die weitere Berechnung (Baumumkehrung der Bayes'schen Revision) zeigt.

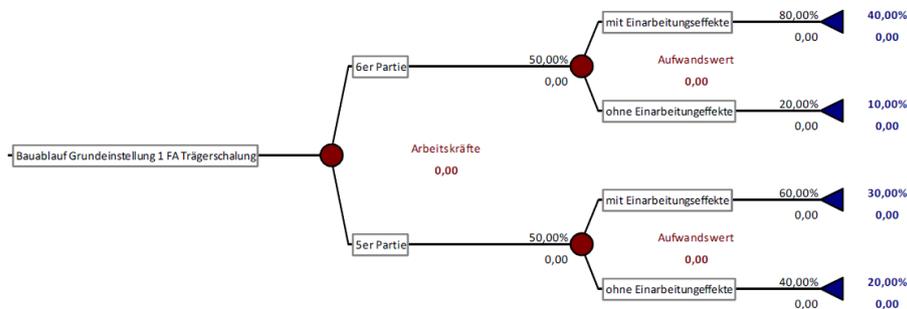


Bild 7.24 Grundeinstellung zur Bayes'schen Revision bei 1 FA und Träger-schalung

Da 30 ein Vielfaches von fünf und auch sechs ist, besteht die Möglichkeit, 5er- als auch 6er Partien einzusetzen. Demnach kann die Wahrscheinlichkeit mit 50 zu 50 % angenommen werden. Die weitere Annahme besagt, dass grundsätzlich mit Einarbeitungseffekten zu rechnen sein wird und diese mit 6er Partien zu 80 % und mit 5er Partien nur mit einer subjektiven Wahrscheinlichkeit von 60 % eintreten werden, da die Mutmaßung besteht, dass die 5er Partien besser eingespielt sind. Die jeweiligen Gegenwahrscheinlichkeiten ergeben sich daraus, dass die Zweigsummen 100 % ergeben müssen. Aus diesen Grundannahmen kann nun die Bayes'sche Revision durchgeführt werden. Die Ergebnisse sind in Bild 7.25 dargestellt.

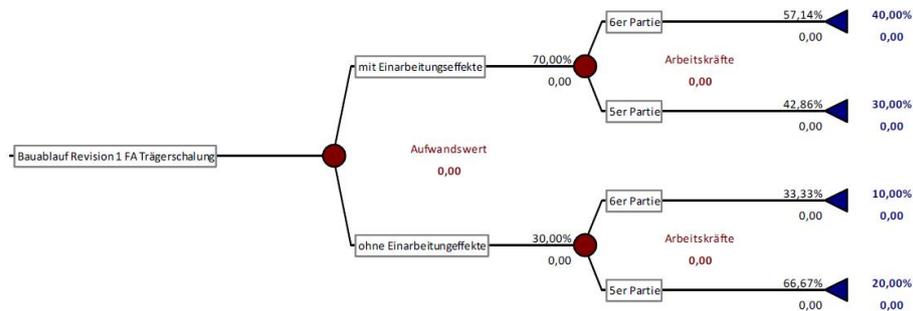


Bild 7.25 Bayes'sche Revision bei 1 FA und Trägerschalung

Aus Bild 7.25 lassen sich folgende Aussagen ableiten: Es besteht eine Wahrscheinlichkeit von 70 %, dass Einarbeitungseffekte am betrachteten Bauwerk auftreten. Des Weiteren besteht eine Wahrscheinlichkeit, dass bei Einarbeitungseffekten, 6er Partien eingesetzt werden, zu 57,14 %. Demgegenüber existiert eine Wahrscheinlichkeit von 30 %, dass keine Einarbeitungseffekte eintreten. Die Wahrscheinlichkeit, dass dann 5er Partien eingesetzt werden, beläuft sich auf 66,67 %. Die jeweiligen Gegenwahrscheinlichkeiten ergeben aus der Randbedingung, dass die Summe 100 % ergeben muss. Diese Wahrscheinlichkeiten können nun in den Detailbaum aus Bild 7.21 übergeführt werden und bilden einen essentiellen Bestandteil der weiteren Betrachtung.

Im Folgenden können nun die Arbeitskräftezusammenstellung sowie die zugehörigen Wahrscheinlichkeiten für zwei Fertigungsabschnitte nach demselben Schema errechnet werden.

Dazu zeigt Bild 7.26 den Baum zur Ermittlung der bestmöglichen Kombination der Arbeitsgruppengrößen. Dabei geht hervor, dass der Einsatz einer Arbeitsgruppe von 20 Arbeitskräften, also 5er Partien ein Kostenminimum ergibt.

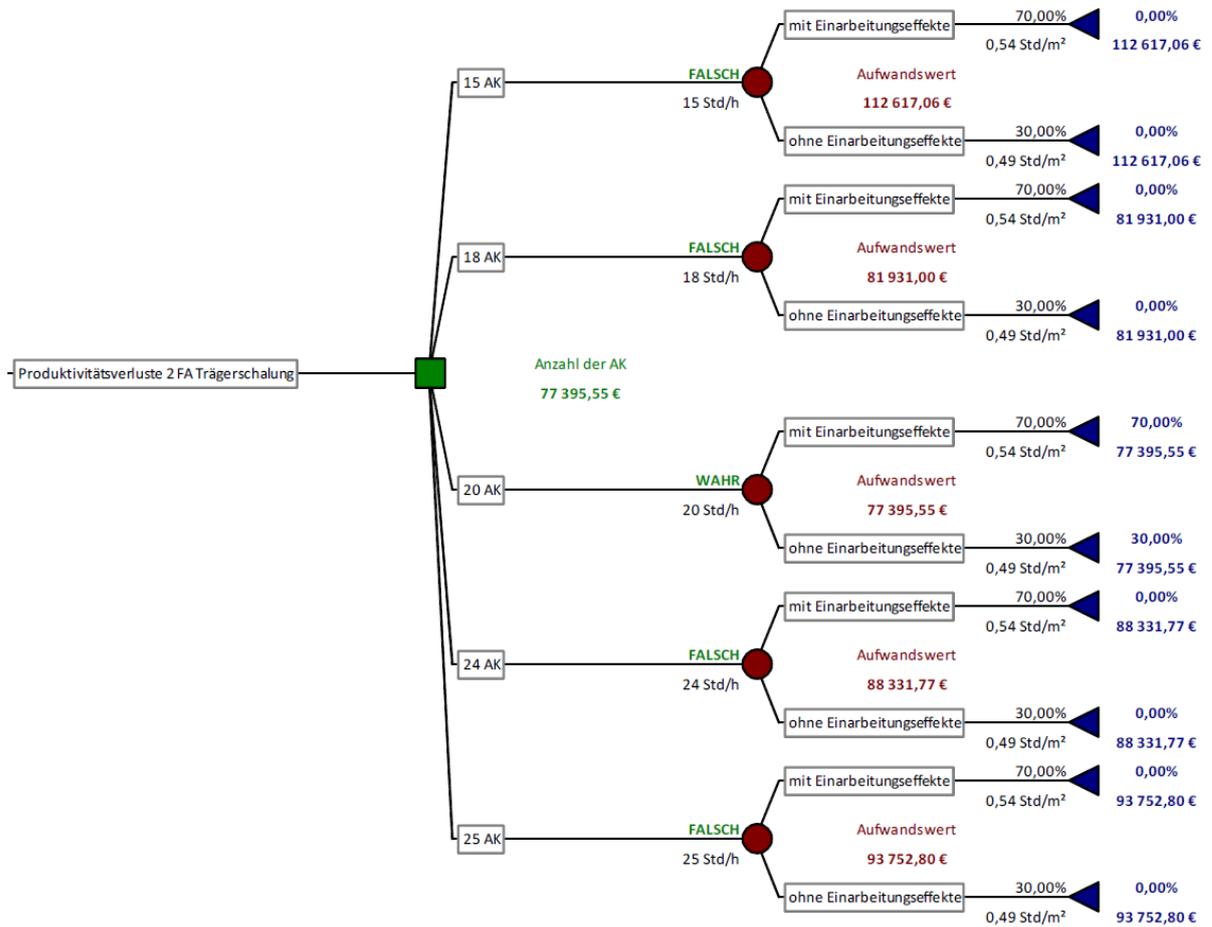


Bild 7.26 Produktivitätsverluste für 2 FA bei Trägerschalung in Abhängigkeit der eingesetzten Arbeitsgruppen

Zur Veranschaulichung kann wieder ein Diagramm der Produktivitätsverluste, in Abhängigkeit der Arbeitsgruppengröße in Bild 7.27 dargestellt werden.

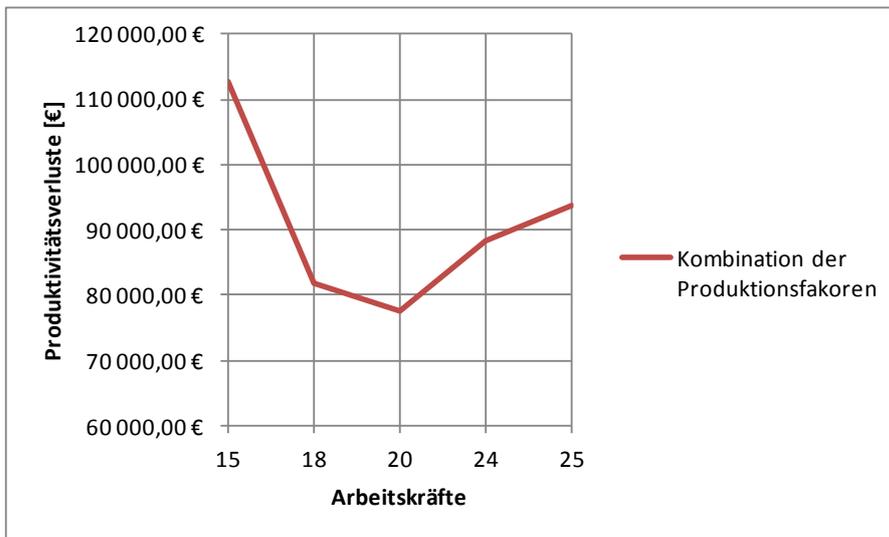


Bild 7.27 Verlauf der Produktivitätsverluste bei 2 FA und Trägerschalung

Das Diagramm in Bild 7.27 zeigt deutlich, dass bei einer Arbeitsgruppengröße von 20 Arbeitern das Optimum erreicht werden kann. Daraus kann wiederum die Annahme zur subjektiven Wahrscheinlichkeitsverteilung gewählt werden, dass zu 95 % 5er Partien eingesetzt werden. Die daraus resultierenden Grundannahmen der Wahrscheinlichkeiten der Einarbeitungseffekte bleiben gleich, da sich an der Gesamtsituation nichts verändert hat.

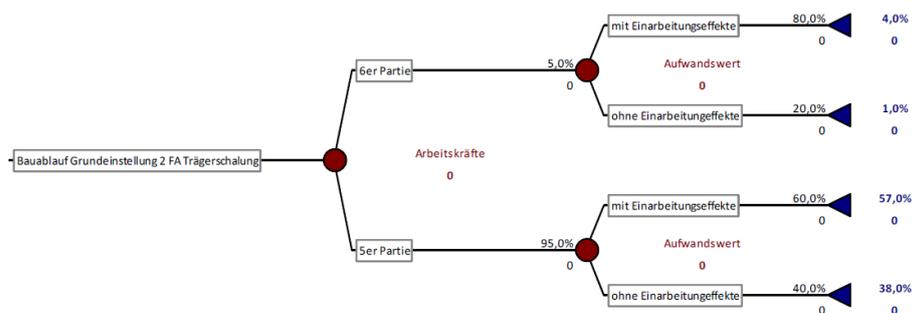


Bild 7.28 Grundeinstellung zur Bayes'schen Revision bei 2 FA und Trägerschalung

Somit zeigt Bild 7.28 die Grundeinstellung für den vorliegenden Fall.

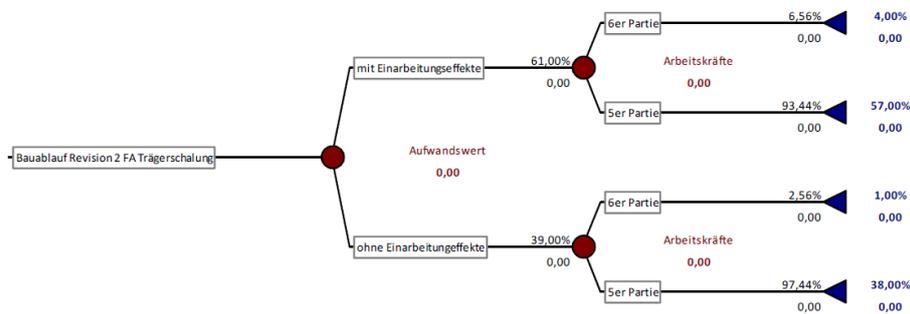


Bild 7.29 Bayes'sche Revision bei 2 FA und Trägerschalung

Bild 7.29 stellt den umgedrehten Baum mit den errechneten Zweigwahrscheinlichkeiten dar und lässt sich wie folgt interpretieren: Die Wahrscheinlichkeit, dass Einarbeitungseffekte am betrachteten Bauwerk auftreten, liegt nun bei 61 %. Des Weiteren besteht eine Wahrscheinlichkeit, dass bei Einarbeitungseffekten, 6er Partien eingesetzt werden, nur mehr zu 6,56 %. Demgegenüber existiert eine Wahrscheinlichkeit, dass keine Einarbeitungseffekte eintreten, von 39 %. Die Wahrscheinlichkeit, dass dann 5er Partien eingesetzt werden, beläuft sich in diesem Fall schon auf 97,44 %. Diese Wahrscheinlichkeiten können wiederum in den Detailbaum aus Bild 7.21 für alle weiteren Fertigungsabschnittsszenarien übernommen und übergeführt werden und bilden somit einen essentiellen Bestandteil der weiteren Betrachtung.

7.8.3 Ermittlung der Zweigwahrscheinlichkeiten zur Bewertung von Produktivitätsverlusten durch das Theorem von Bayes bei der Trägerschalung

Dieselbe Vorgehensweise wird nun für die Systemschalung dargebracht.

Tabelle 7.109 Grundtabelle zur Ermittlung der Produktivitätsverluste für Systemschalung in Abhängigkeit der Fertigungsabschnitte

Kriterien	Systemschalung		
	1 FA	2 FA	
Gesamtdeckenfläche :	15 000,00 m ²	15 000,00 m ²	
Gesamtdauer	100,00 d	100,00 d	
Schalleistung:	529,41 m ² /d	367,35 m ² /d	
AW mit Einarbeitung	Variation Aufwandswert	0,4604 Std/m ²	0,4276 Std/m ²
Anzahl AK	Variation 5er/6er Partie	20,00 Std/h	12,00 Std/h
MLK		35,00 €/Std	35,00 €/Std
Arbeitsfläche je Arbeitskraft	26,47 m ² /Std/h	30,61 m ² /Std/h	
Reduktion der Arbeitsfläche	28,46 %	17,26 %	
Aufwandswerterhöhung nach M-Schätzer	15,37 %	8,02 %	
Mehrkosten durch Unterschreitung Mindestarbeitsfläche	37 154,02 €	18 005,41 €	
tägliche Arbeitszeit	12,19 h/d	13,09 h/d	
Lohnstundenverlust/d aufgrund erhöhter Arbeitszeit	21,91 Std/d	19,43 Std/d	
Mehrkosten aufgrund erhöhter Arbeitszeit	80 020,27 €	71 464,42 €	
Summe Produktivitätsverluste	117 174,29 €	89 469,83 €	

Dazu werden in Tabelle 7.109 die Grunddaten zur Ermittlung der jeweiligen Verluste angeführt. Im Wesentlichen ändern sich bei dieser Anordnung die Aufwandswerte, in Abhängigkeit des Auftretens von Einarbeitungseffekten.

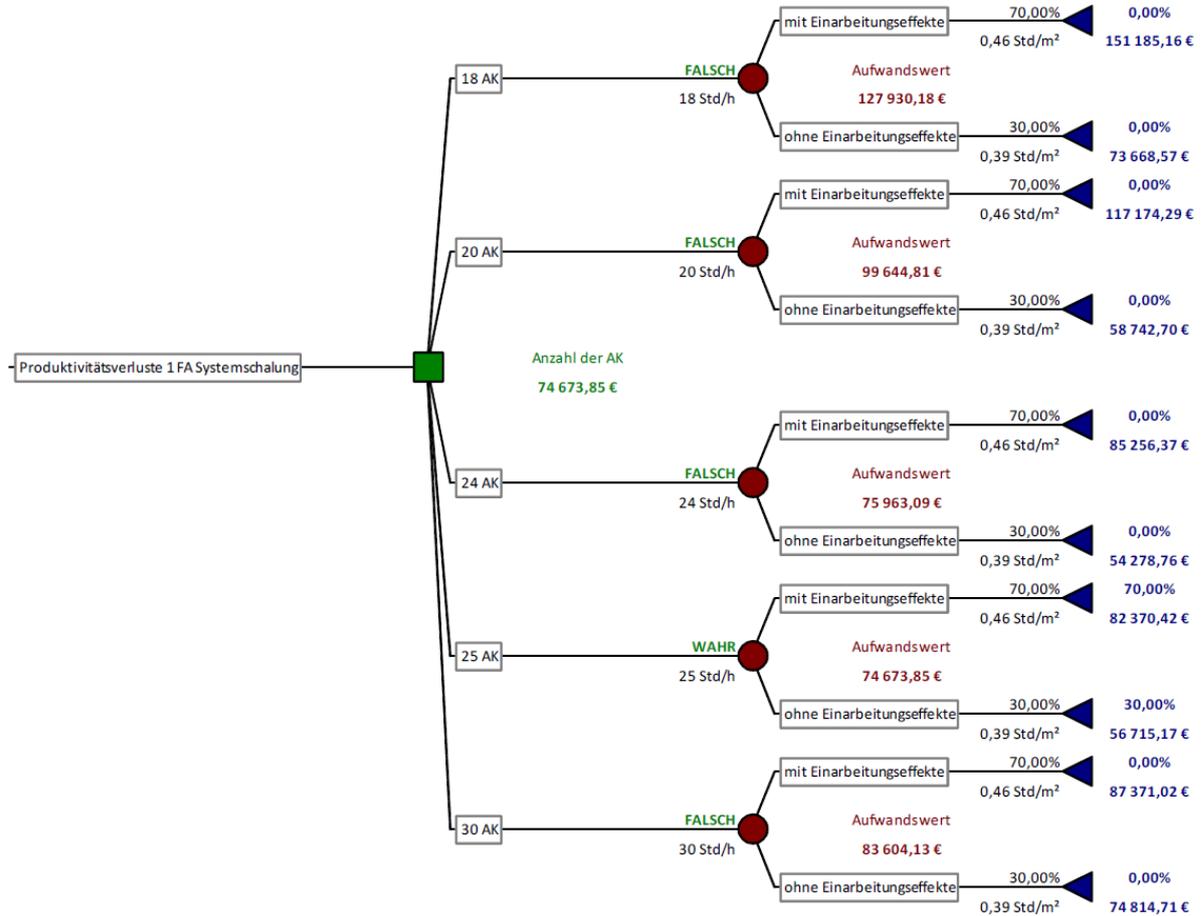


Bild 7.30 Produktivitätsverluste für 1 FA bei Systemschaltung in Abhängigkeit der eingesetzten Arbeitsgruppen

Der Baum in Bild 7.30 zeigt die bestmögliche Kombination der Produktivitätsverluste, die zu einem Minimum an Kosten führen. Es geht hervor, dass wieder der Einsatz von 5er Partien (25 AK) am besten erscheint. Bei genauerer Betrachtung erkennt man jedoch, dass auch beim Einsatz von 6er Partien (24 AK) geringe Kosten erreicht werden können. Dazu zeigt das Diagramm in Bild 7.31 die Zusammenfassung über die Erwartungswerte.

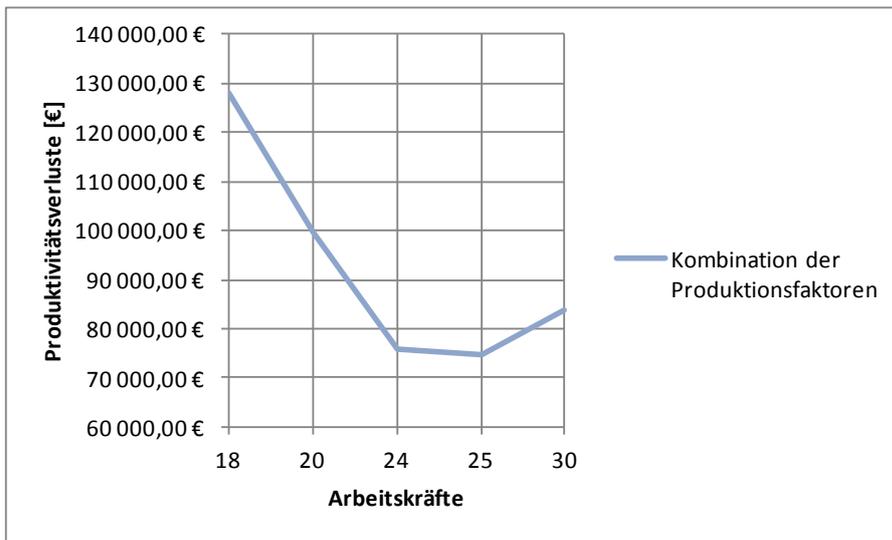


Bild 7.31 Verlauf der Produktivitätsverluste bei 1 FA und Systemschalung

Über diese Erkenntnisse können wieder die jeweiligen Wahrscheinlichkeiten durch die Bayes'sche Revision ermittelt werden. Dazu zeigt Bild 7.32 die Ausgangssituation.

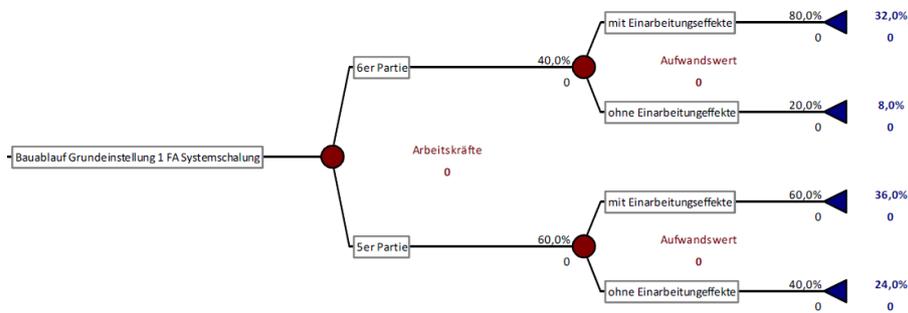


Bild 7.32 Grundeinstellung zur Bayes'schen Revision bei 1 FA und System-schalung

Dadurch, dass bei 25 Arbeitskräften (Vielfaches von fünf) das Minimum erreicht ist, werden mit höherer Wahrscheinlichkeit (60 %) 5er Partien eingesetzt. Die übrigen Werte werden gleich wie bei der zuvor angeführten Trägerschalung angenommen, da sich am Gesamtsystem nichts ändert.

Mit dieser in Bild 7.32 angeführten Ausgangssituation, wird im Folgenden der umgedrehte Baum mit den jeweiligen Wahrscheinlichkeiten in Bild 7.33 angeführt.

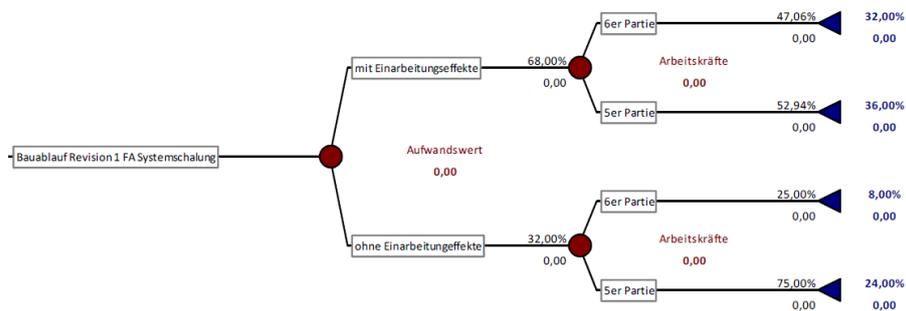


Bild 7.33 Bayes'sche Revision bei 1 FA und Systemschalung

Bild 7.33 stellt den umgedrehten Baum mit den errechneten Zweigwahrscheinlichkeiten dar und lässt sich wie folgt interpretieren: Die Wahrscheinlichkeit, dass Einarbeitungseffekte am betrachteten Bauwerk auftreten, liegt nun bei 68 %. Des Weiteren besteht eine Wahrscheinlichkeit, dass bei Einarbeitungseffekten, 6er Partien eingesetzt werden, zu 47,06 %. Demgegenüber existiert eine Wahrscheinlichkeit, dass keine Einarbeitungseffekte eintreten, von 32 %. Die Wahrscheinlichkeit, dass dann 5er Partien eingesetzt werden, beläuft sich in diesem Fall auf immerhin 75 %. Die jeweiligen Gegenwahrscheinlichkeiten ergeben aus der Randbedingung, dass die Summe 100 % ergeben muss.

Diese Wahrscheinlichkeiten können wiederum in den Detailbaum aus Bild 7.21 für alle weiteren Fertigungsabschnittsszenarien übernommen und übergeführt werden und bilden somit einen essentiellen Bestandteil der weiteren Betrachtung.

Neben den Ergebnissen für einen Fertigungsabschnitt können folgend noch jene für zwei bzw. mehrere Abschnitte dargebracht werden.

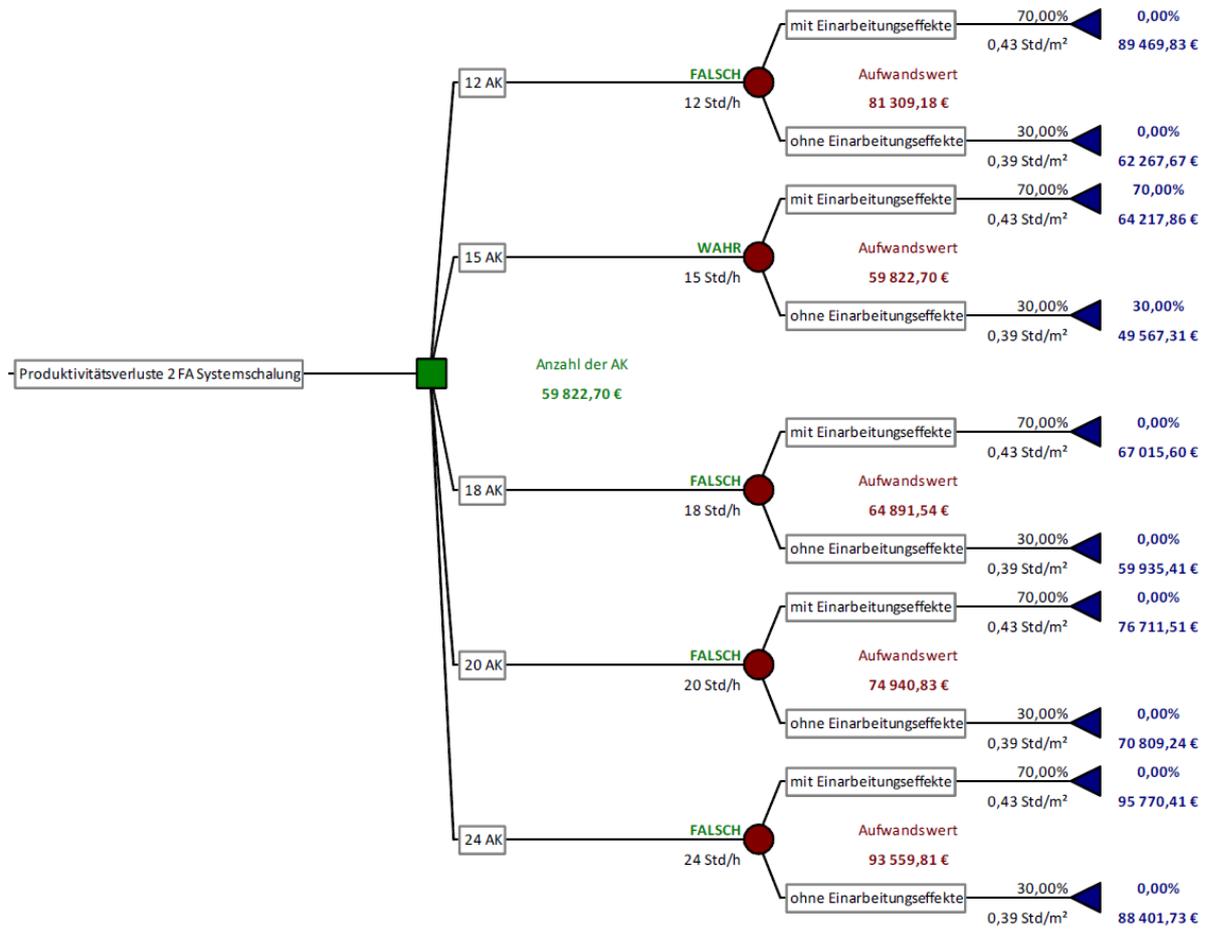


Bild 7.34 Produktivitätsverluste für 2 FA bei Systemschalung in Abhängigkeit der eingesetzten Arbeitsgruppen

Aus Bild 7.34 geht hervor, dass der Einsatz von 5er Partien ein Kostenminimum darstellt. Zum besseren Verständnis wird in Bild 7.35 das Diagramm zum Produktivitätsverlauf dargebracht.

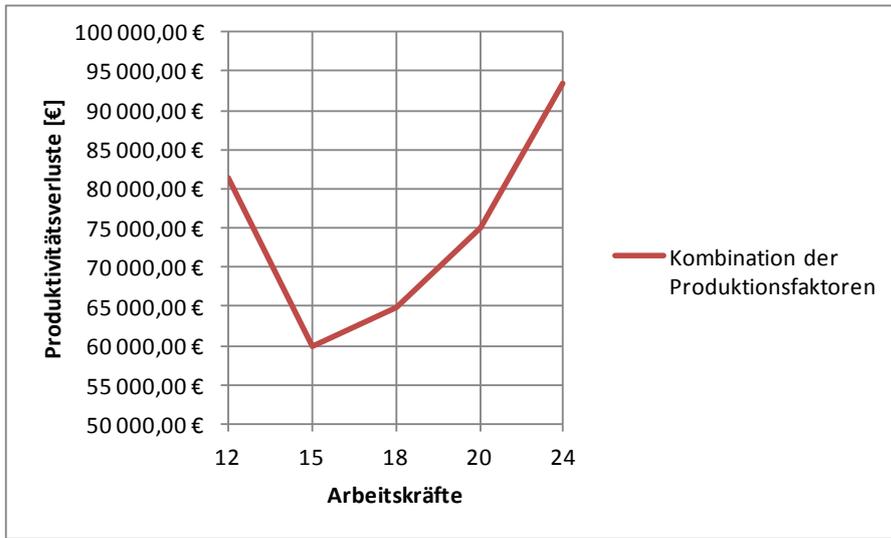


Bild 7.35 Verlauf der Produktivitätsverluste bei 2 FA und Systemschalung

Demnach kann wieder eine subjektive Wahrscheinlichkeit von 95 % für 5er Partien, wie schon in Bild 7.28 dargestellt, angenommen werden. Dazu zeigt Bild 7.36 die Grundeinstellung zur weiteren Berechnung.

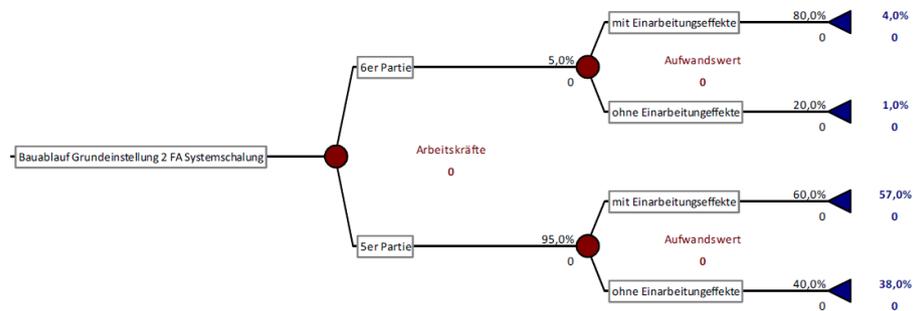


Bild 7.36 Grundeinstellung zur Bayes'schen Revision bei 2 FA und Systemschalung

Bild 7.37 stellt den sich daraus ergebenden umgedrehten Baum mit den Zweigwahrscheinlichkeiten dar.

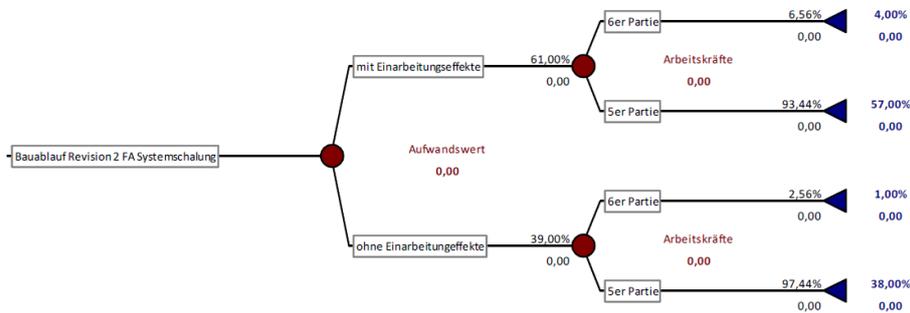


Bild 7.37 Bayes'sche Revision bei 2 FA und Systemschalung

Diese berechneten Wahrscheinlichkeiten werden in den Detailbaum in Bild 7.21 implementiert und gewichten schlussendlich die jeweiligen Produktivitätsverluste.

7.8.4 Detailbaum 2 bewehren

Den nächsten Schritt der Baumgliederung werden die Bewehrungsarbeiten, nach dem Schema in Bild 7.38, beleuchtet.

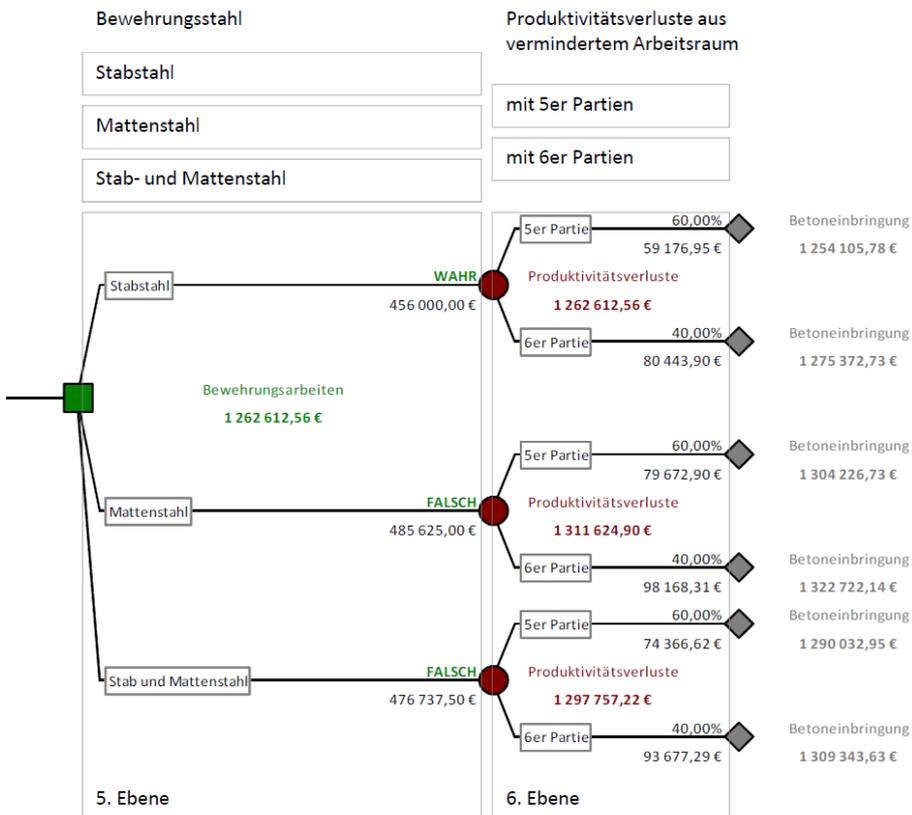


Bild 7.38 Detailbaum 2: bewehren

Das Baumschema in Bild 7.38 zeigt die Weiterführung aus dem Detailbaum 1 „schalen“. Durch einen weiteren Entscheidungsknoten, bei dem die drei Möglichkeiten der Bewehrungslegung durch Stabstahl, Mattenstahl und gemischte Verlegung aus Stab- und Mattenstahl ausgeführt werden kann, wird der Baum fortgesetzt.

In der 6. Ebene werden wieder Produktivitätsverluste aus vermindertem Arbeitsraum berücksichtigt. Die zugehörigen Wahrscheinlichkeiten werden aus einer reinen subjektiven Einschätzung gebildet. Für den Bewehrungsprozess selbst werden andere, von den Schalungspartien unabhängige Arbeitspartien, eingesetzt. Daher erfolgen die Bewertungen der Wahrscheinlichkeiten separiert von den Schalungsarbeiten.

7.8.5 Detailbaum 3 betonieren

Im dritten Detailbaum werden die Betonarbeiten, in Abhängigkeit der Betoneinbringungsart betrachtet. Dazu zeigt Bild 7.39 den dazu aufgebauten Detailbaum. Ausgehend von jedem Zweig des, in Bild 7.38 dargestellten, Bewehrungsdetailbaumes baut sich die dritte Gliederungsebene auf. Dieser dritte Baum startet mit einem Entscheidungsknoten, an dem die Auswahl entweder für Pump- oder für Kraneinbringung, in Abhängigkeit des bis sich dorthin errechneten Erwartungswertes, getroffen wird. Es werden hier die Kosten für die Pumpe mit jenen des Krans gegenübergestellt.

In der 8. Ebene werden zum einen die Lohnkosten für das Einbringen des Pumpbetons über den jeweiligen Aufwandswert der Arbeitsgruppe und zum anderen die Produktivitätsverluste bei Kraneinsatz durch die erhöhte tägliche Arbeitszeit mit aufgenommen.

In der 9. und letzten Ebene werden die Kosten für die Krane mitberücksichtigt. Hier findet eine Differenzierung zwischen der minimal und der maximal einzusetzenden Krananzahl statt. Diese Ebene wird durch einen Zufallsknoten ausgeführt, was bedeutet, dass der Entscheider beide Möglichkeiten in Betracht zieht und die Präferenzierung einer Möglichkeit durch die Wahrscheinlichkeitszuweisung geschieht.

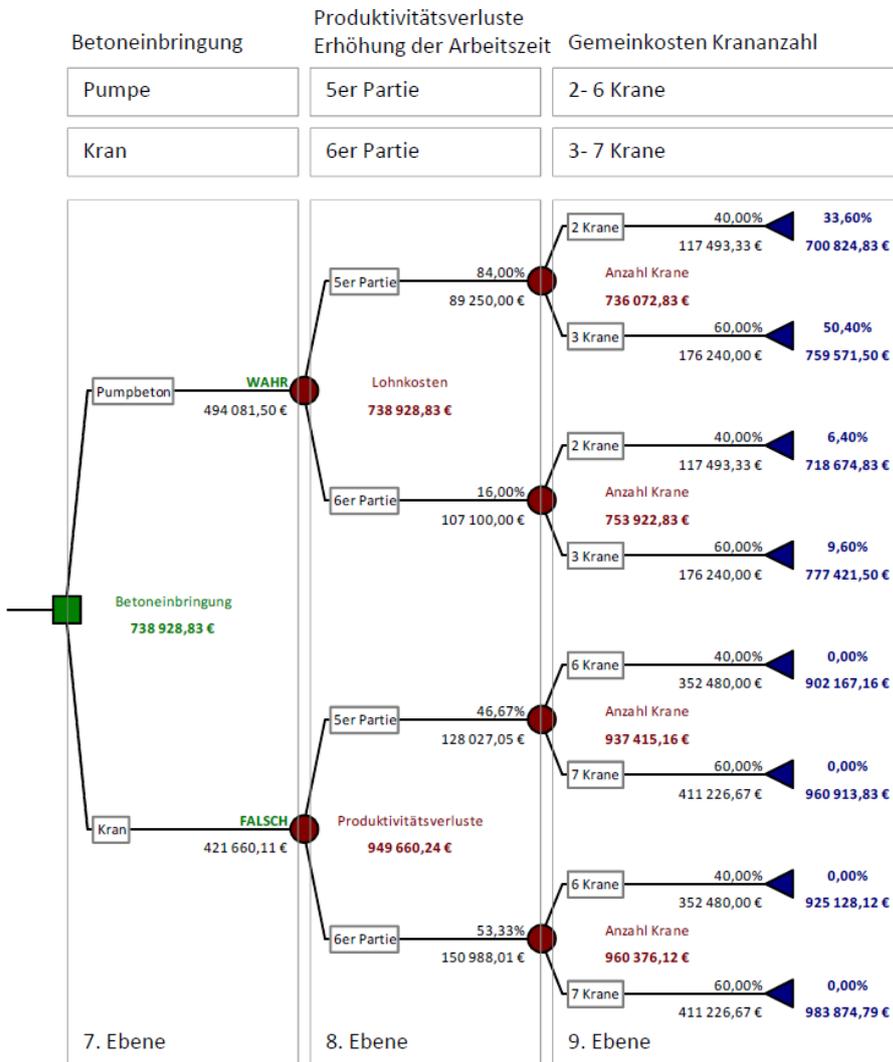


Bild 7.39 Detailbaum 3: betonieren

In Bild 7.39 sind zudem in der 8. Ebene Wahrscheinlichkeiten, die in Abhängigkeit der Schalarbeiten gesetzt werden, eingetragen. Nach den Bestimmungen der Randbedingungen werden die Schalungspartien auch für die Betonierarbeiten eingesetzt, sodass sich daraus wiederum Abhängigkeiten zwischen den Wahrscheinlichkeiten des Schalungsprozesses, abhängig von 5er und 6er Parteeinsatz und den Betonarbeiten ergeben.

7.8.6 Ermittlung der Zweigwahrscheinlichkeiten zur Bewertung von Produktivitätsverlusten beim Betoneinbringungsprozess durch das Theorem von Bayes

In Analogie zum Schalungsprozess werden folgend weitere Unterbäume konstruiert, die zur Ermittlung der Zweigwahrscheinlichkeiten für den

Betoneinbringungsprozesses dienen. Es werden dabei unterschiedliche Kombinationen zur Anwendung kommen. Dabei müssen zunächst die Fälle für einen und mehrere Fertigungsabschnitte, des Weiteren die Unterschiede in den Arbeitspartien, in Abhängigkeit des Schalungssystems, mit einbezogen werden und zuletzt die Pumpeinbringung von der Kraneinbringung getrennt betrachtet werden. Als ersten Unterbaum kann bei einem Fertigungsabschnitt und Trägerschalung in Pumpbetoneinbringung und Kraneinbringung unterschieden werden. Dazu stellt Bild 7.40 den ersten Unterbaum dar.

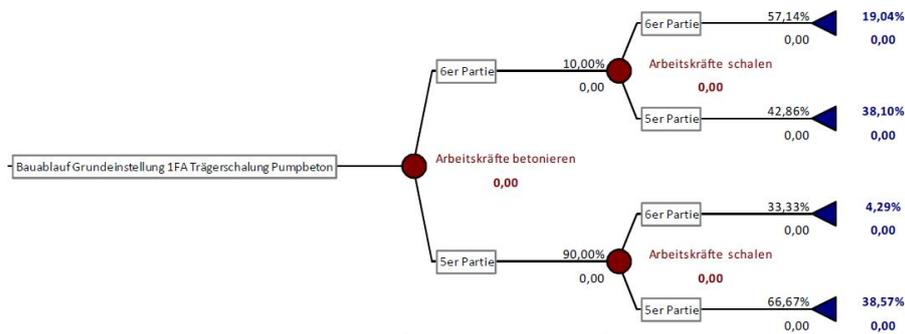


Bild 7.40 Grundeinstellung zur Bayes'schen Revision bei 1 FA, Trägerschalung und Pumpeinbringung

Bild 7.40 zeigt, dass zur Ermittlung der Wahrscheinlichkeiten für Pumpeinbringung, die Wahrscheinlichkeiten aus den Schalarbeiten aus Bild 7.21 herangezogen werden. Zudem fließen an dieser Stelle wieder die subjektiven Wahrscheinlichkeitsannahmen von 90 % für den Einsatz von 5er Partien und 10 % für den Einsatz von 6er Partien ein. Diese können wiederum unterschiedlich angenommen werden. Im konkreten Fall wird davon ausgegangen, dass bei Pumpeinbringung 5er Partien zu bevorzugen sind. Bild 7.41 zeigt nun den umgekehrten Baum mit den zugehörigen Wahrscheinlichkeiten.

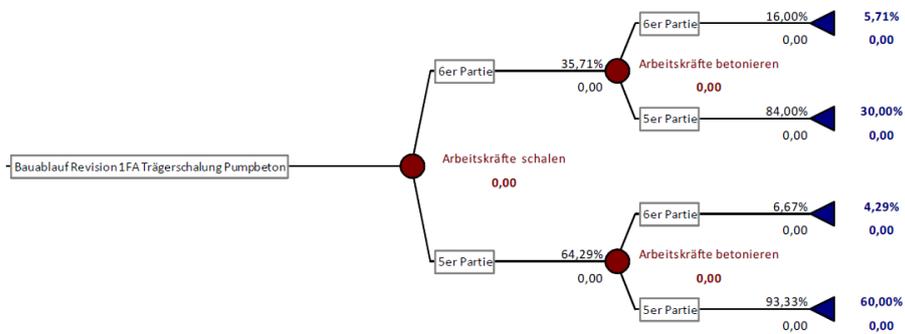


Bild 7.41 Bayes'sche Revision bei 1 FA, Trägerschalung und Pumpeinbringung

Somit ergibt sich die Wahrscheinlichkeit, dass beim Schalen 6er Partien und auch beim Betonieren 6er Partien eingesetzt werden zu 16 %, demgegenüber ergibt sich die Wahrscheinlichkeit, dass beim Schalen 5er Partien und auch beim Betonieren 5er Partien eingesetzt werden schon zu 93,33 %. Die Komplementärwahrscheinlichkeiten ergeben sich wieder aus der Definition, dass die Zweigsumme 100 % ergeben muss. Sodann werden die berechneten Zweigwahrscheinlichkeiten auf die zugehörigen Äste platziert. Die Wahrscheinlichkeiten aus Bild 7.41 sind im Detailbaum in Bild 7.39 nicht vollständig abgebildet, da sich die Wahrscheinlichkeiten für die 5er Partie auf einem Nebenast befinden.

In gleicher Weise können die Wahrscheinlichkeiten bei Kraneinbringung nach den Bildern 7.42 bis 7.36 ermittelt werden.

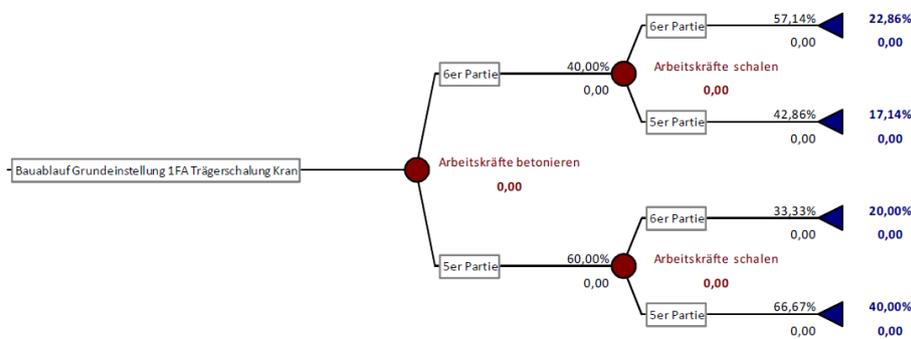


Bild 7.42 Grundeinstellung zur Bayes'schen Revision bei 1 FA, Trägerschalung und Kraneinbringung

Die Verteilungen der Wahrscheinlichkeiten unterscheiden sich im Vergleich zu Bild 7.40 lediglich dadurch, dass bei der Kraneinbringung eine größere Arbeitsgruppe, also 6er Partie nötig eingesetzt wird, da eine zusätzliche Arbeitskraft benötigt wird. Deshalb fällt die Bewertung der Partien mit 60 zu 40 aus.

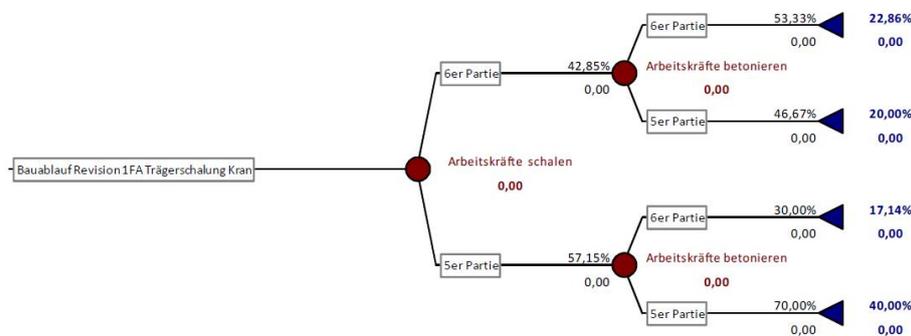


Bild 7.43 Bayes'sche Revision bei 1 FA, Trägerschalung und Kraneinbringung

Aus dieser Konstellation ergeben sich die Wahrscheinlichkeiten in Bild 7.43 zu 53,33 % beim 6er Parteeinsatz und zu 70 % beim Einsatz von

5er Partien. Die jeweils anderen Wahrscheinlichkeiten können als Gegenwahrscheinlichkeiten ebenso übernommen werden. Nachdem die Wahrscheinlichkeiten für Trägerschalung dargebracht wurden, können im nächsten Schritt, in den Bildern 7.44 und 7.45, jene für Systemschalung angeführt werden.

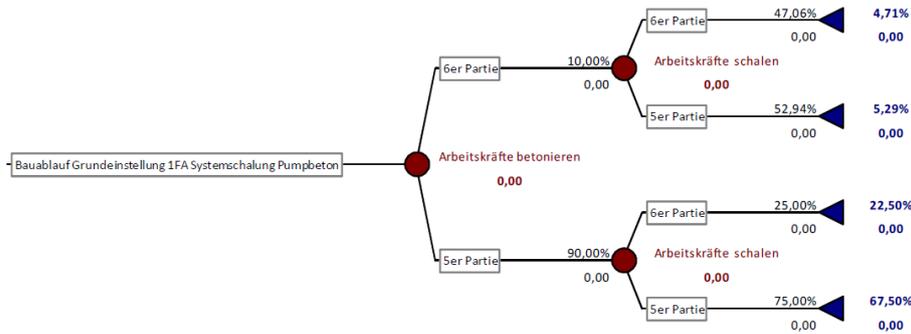


Bild 7.44 Grundeinstellung zur Bayes'schen Revision bei 1 FA, Systemschalung und Pumpeinbringung

Bild 7.44 stellt die Grundwahrscheinlichkeiten in derselben Weise wie in Bild 7.45 dar – nur mit veränderten Wahrscheinlichkeiten aus dem Schalungsprozess.

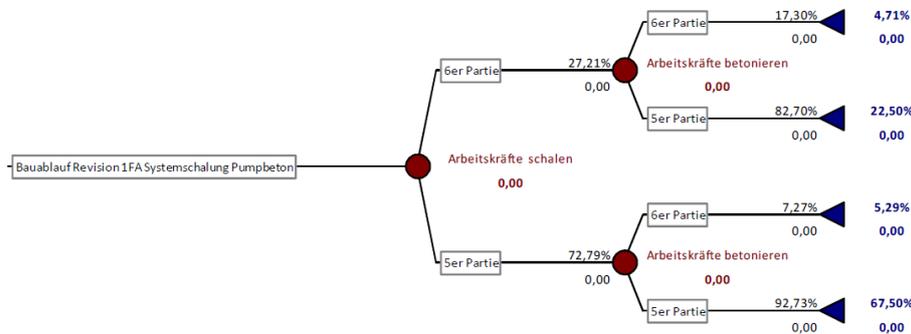


Bild 7.45 Bayes'sche Revision bei 1 FA, Systemschalung und Pumpeinbringung

Aus Bild 7.45 können wiederum die jeweiligen Wahrscheinlichkeiten entnommen und im Entscheidungsbaum integriert werden. Dasselbe Vorgehen kann nun auch für Kraneinbringung in den weiteren Bildern dargebracht werden.

Dazu zeigt Bild 7.46 den zugehörigen Ausgangsbaum.

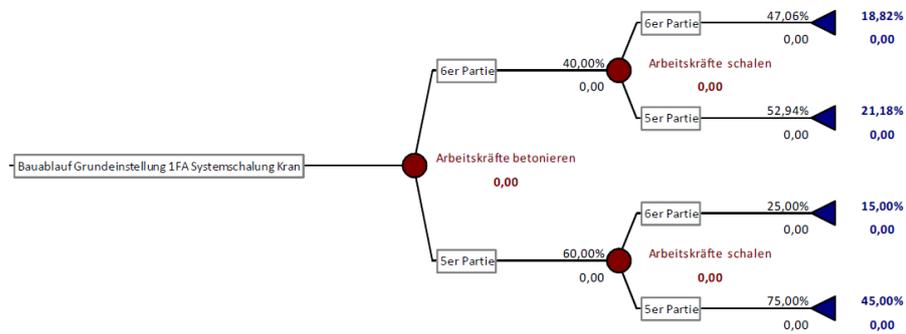


Bild 7.46 Grundeinstellung zur Bayes'schen Revision bei 1 FA, Systemschalung und Kraneinbringung

Wiederum stellt die Grundannahme, dass bei Kraneinbringung tendenziell mehr Arbeitskräfte nötig sein werden, die Ausgangslage dar. Daraus resultierend kann der umgedrehte Baum in Bild 7.47 dargestellt werden.

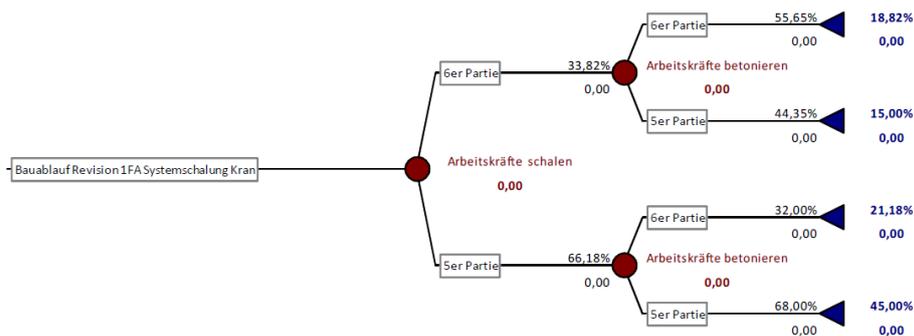


Bild 7.47 Bayes'sche Revision bei 1 FA, Systemschalung und Kraneinbringung

Die entsprechenden Wahrscheinlichkeiten können dem Baum in Bild 7.47 entnommen werden und in den Baum aufgenommen werden.

Dieselben Betrachtungen werden nun folgend noch für zwei und mehr als zwei Fertigungsabschnitte angestellt.

Dazu zeigt Bild 7.48 die Ausgangssituation beim Einsatz einer Träger-schalung bei Pumpeinbringung. Im Wesentlichen ändern sich wiederum nur die Wahrscheinlichkeiten aus der vorangegangenen Ermittlung des Schalungsprozesses.

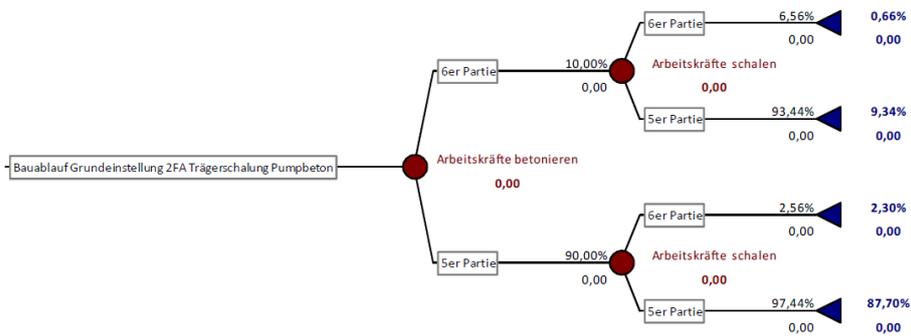


Bild 7.48 Grundeinstellung zur Bayes'schen Revision bei 2 FA, Trägerschalung und Pumpeinbringung

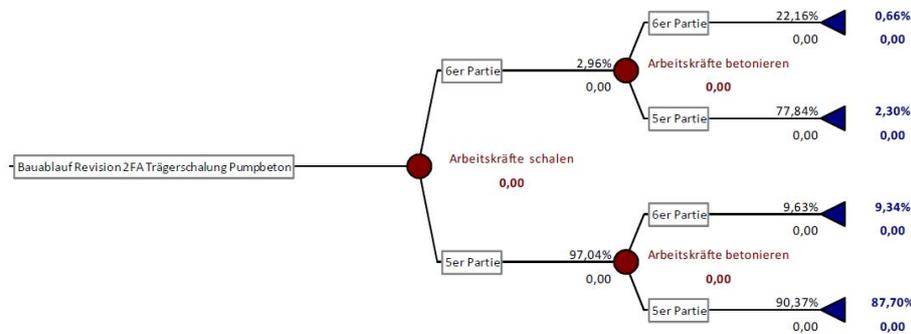


Bild 7.49 Bayes'sche Revision bei 2 FA, Trägerschalung und Pumpeinbringung

Das Ergebnis in Bild 7.49 zeigt, dass die Wahrscheinlichkeit, dass beim Schalen und beim Betonieren 6er Partien eingesetzt werden, bei 22,16 % liegt. Umgekehrt dazu kann festgehalten werden, dass beim Einsatz von 5er Partien, die Wahrscheinlichkeit bei 90,37 % liegt. Diese Wahrscheinlichkeiten können nun auf alle weiteren Fertigungsabschnitte bei Pumpeinsatz, angewandt werden.

Abschließend werden noch die Wahrscheinlichkeiten für Kraneinbringung berechnet.

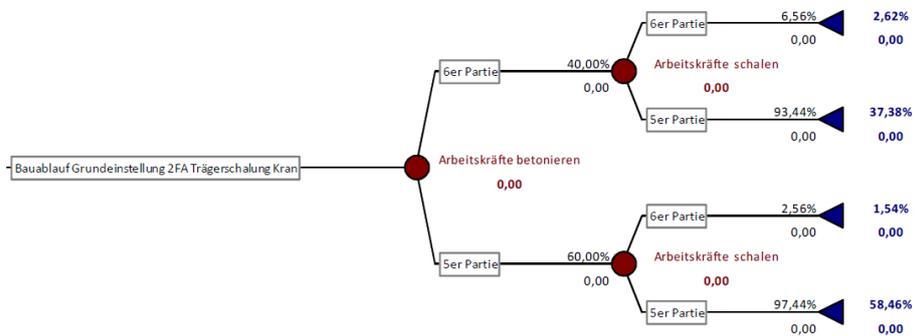


Bild 7.50 Grundeinstellung zur Bayes'schen Revision bei 2 FA, Trägerschalung und Kraneinbringung

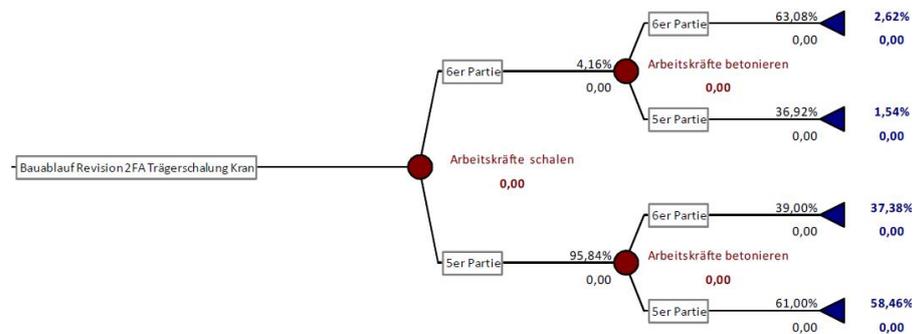


Bild 7.51 Bayes'sche Revision bei 2 FA, Trägerschalung und Kraneinbringung

Das Ergebnis in Bild 7.51 zeigt, dass die Wahrscheinlichkeit, dass beim Schalen und beim Betonieren 6er Partien eingesetzt werden, bei 63,08 % liegt. Umgekehrt dazu kann festgehalten werden, dass beim Einsatz von 5er Partien, die Wahrscheinlichkeit bei 61,00 % liegt. Diese Wahrscheinlichkeiten können nun auf alle weiteren Fertigungsabschnitte bei Kraneinsatz angewandt werden.

In den folgenden Ausführungen werden zunächst noch der Berechnungsvorgang und die sich daraus ergebenden Ergebnisse dargebracht.

7.9 Berechnungsablauf im Entscheidungsbaummodell

Zum besseren Verständnis des Berechnungs- und somit Entscheidungsablaufes wird hier noch einmal auf den Berechnungsvorgang nach dem Roll-Back-Verfahren eingegangen. Exemplarisch wird ein zufälliger Entscheidungsweg gewählt.

Der gesamte Berechnungsvorgang beginnt am Ende eines jeden Baumes. Dazu wird am Ende des Baumes für einen Fertigungsabschnitt, dargestellt in Bild 7.52, begonnen.

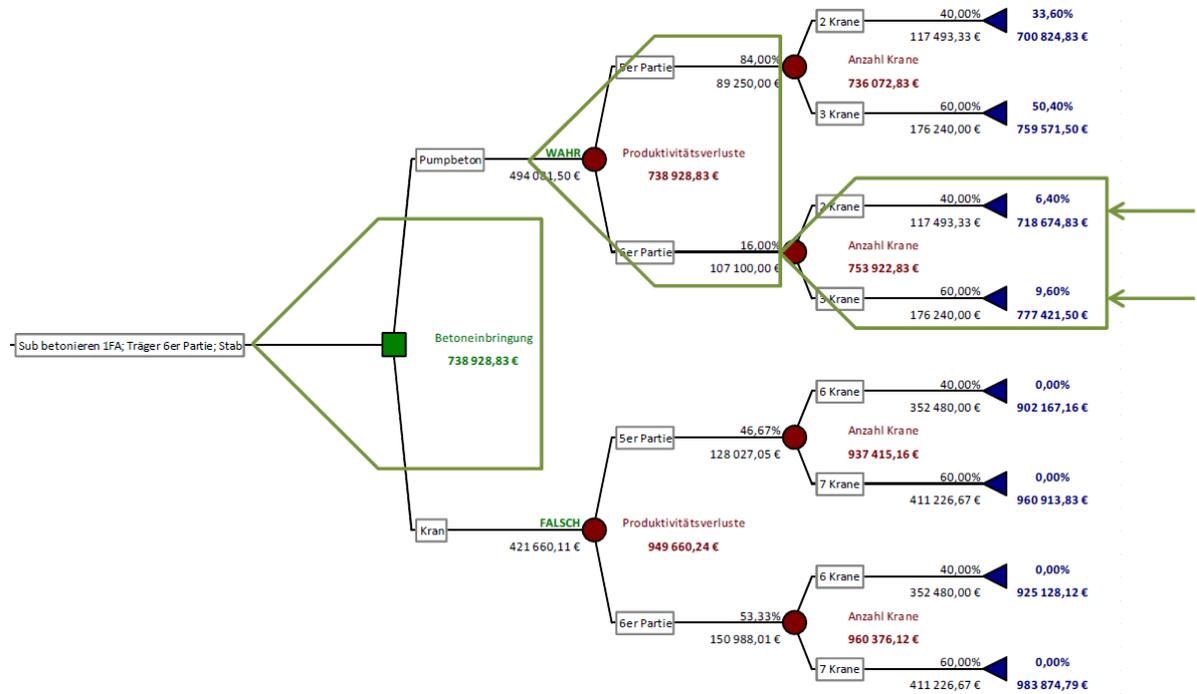


Bild 7.52 Baumberechnung Schritt 1: Betoneinbringung

Das Bild 7.52 stellt den Ablauf zur Baumberechnung, ausgehend vom Summenablaufwert, dar. Zuerst wird dieser Wert mit den Wahrscheinlichkeiten multipliziert:

$$(718\ 674,83\ € \cdot 40\ \% + 777\ 421,50\ € \cdot 60\ \% = 753\ 922,83\ €).$$

Die weitere Rechnung folgt nach den letztbestimmten Erwartungswerten mit $736\ 072,83\ € \cdot 84\ \% + 753\ 922,83\ € \cdot 16\ \% = 738\ 928,83\ €$.

Am Entscheidungsknoten werden somit die beiden Ergebnisse der weiteren zulaufenden Pfade untereinander verglichen und mit dem niedrigsten der beiden, die Berechnung fortgeführt. Aus dieser Baumstruktur geht hervor, dass der Erwartungswert für die Betoneinbringung mittels Betonpumpe niedriger als jener bei Kraneinbringung ist und somit zu bevorzugen ist.

Bild 7.53 zeigt den nächsten Berechnungsschritt der Bewehrungsarbeiten.

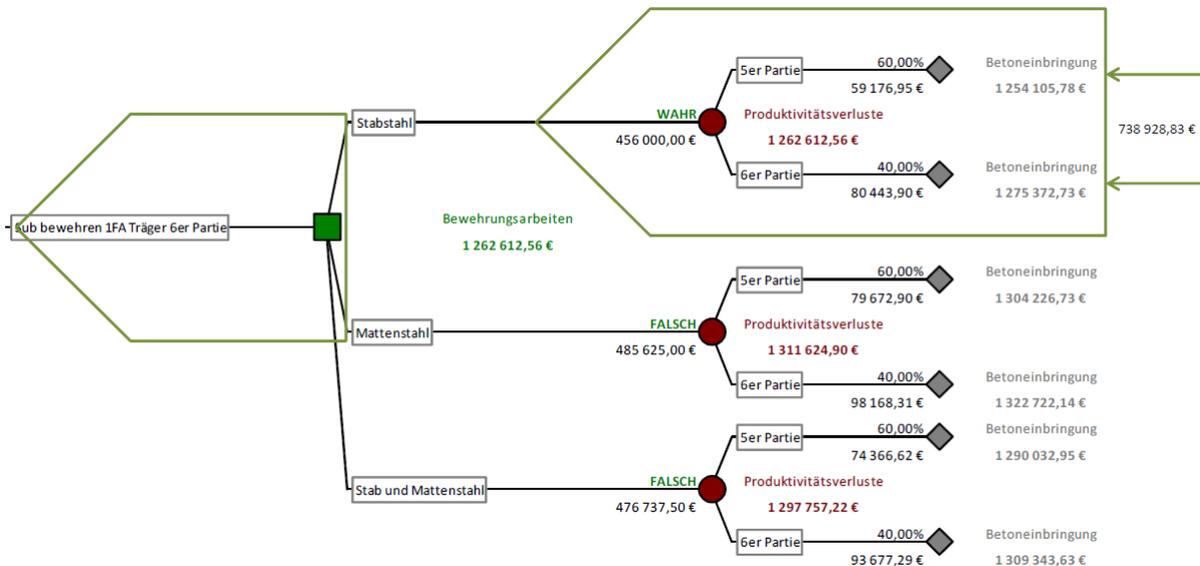


Bild 7.53 Baumberechnung Schritt 2: Bewehrungsarbeiten

Aus dem Berechnungsablauf aus Bild 7.52 resultiert ein Erwartungswert von 738 928,83 €. Mit diesem Ergebnis erfolgt die Aufsummierung des in Bild 7.53 dargestellten Baumes zu: $456\,000,00\text{ €} + 59\,176,95\text{ €} + 738\,928,83 = 1\,254\,105,78\text{ €}$, bzw. zu $456\,000,00\text{ €} + 80\,443,90\text{ €} + 738\,928,83 = 1\,275\,372,73\text{ €}$.

Mit diesen Ablaufwerten wird wieder eine Rückrechnung wie folgt gestartet: $1\,254\,105,78\text{ €} * 60\% + 1\,275\,372,73\text{ €} * 40\% = 1\,262\,612,56\text{ €}$.

Am Entscheidungsknoten erfolgt wiederum die Wahl für den niedrigsten Erwartungswert aus dem jeweiligen Pfad. Hier ergibt sich die Bewehrungsart des Stabstahls als beste Variante.

Bild 7.54 zeigt den nächsten und letzten Berechnungsschritt der Schalungsarbeiten.

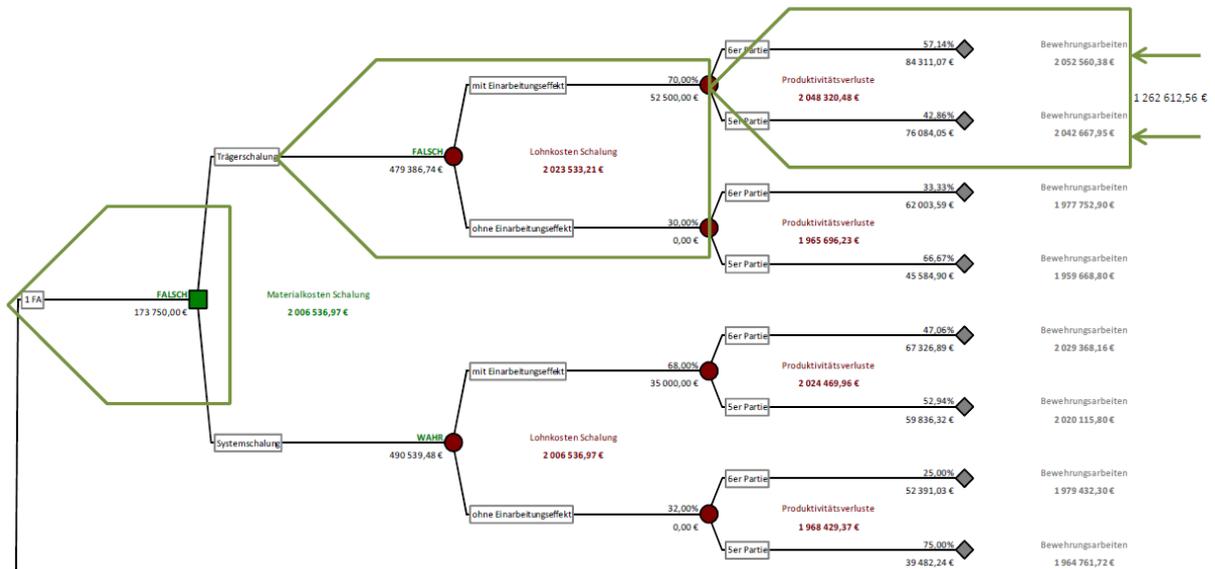


Bild 7.54 Baumberechnung Schritt 3: Schalungsarbeiten

Das Bild 7.54 stellt nun den letzten Abschnitt zur Baumberechnung dar. Dazu muss wieder zunächst der Summenablauf jedes Pfades mit $173\,750,00\text{ €} + 479\,386,74 + 52\,500,00\text{ €} + 84\,311,07\text{ €} + 1\,262\,612,56\text{ €} = 2\,052\,560,37\text{ €}$ bzw. mit $173\,750,00\text{ €} + 479\,386,74 + 52\,500,00\text{ €} + 76\,084,05\text{ €} + 1\,262\,612,56\text{ €} = 2\,042\,667,95\text{ €}$ berechnet werden. Ausgehend von diesen Ablaufwerten wird wieder die Rückrechnung gestartet: $2\,052\,560,37\text{ €} * 57,14\% + 2\,042\,667,95\text{ €} * 42,86\% = 2\,048\,320,48\text{ €}$. Die nächste Ebene ergibt sich nach folgender Rechnung: $2\,048\,320,48\text{ €} * 70\% + 1\,965\,696,23\text{ €} * 30\% = 2\,023\,533,21\text{ €}$. Dieser Wert wird schließlich mit jenen der nebenführenden Äste verglichen, um daraus jenen Pfad auszuwählen, der ein Kostenminimum darstellt.

7.10 Auswertung der Ergebnisse

Nachdem der Berechnungsgegenstand, sowie das Ziel der vorangestellten Ausführungen und die Berechnungsart durch den Entscheidungsbaum in PrecisionTree dargebracht wurden, können auf dieser Grundlage nun die Ergebnisse dargestellt werden.

7.10.1 Zusammenfassung der Resultate der Entscheidungsanalyse

PrecisionTree bietet zur Auswertung einige Werkzeuge, wie sie schon im Kapitel 6 dargebracht wurden. Dabei sei auch erwähnt, dass gerade bei dieser mannigfaltigen Auswahl an Analyseinstrumenten, auf eine sinnvolle, zielorientierte Lösungsermittlung geachtet werden muss, um aussagekräftige Entscheidungshilfen zu generieren. Zur Veranschaulichung

werden im Folgenden zunächst die gesammelten Gesamtergebnisse, getrennt nach Takt- und Fließfertigung, dargebracht, um später eventuelle spezielle Lösungen daraus zu entwickeln.

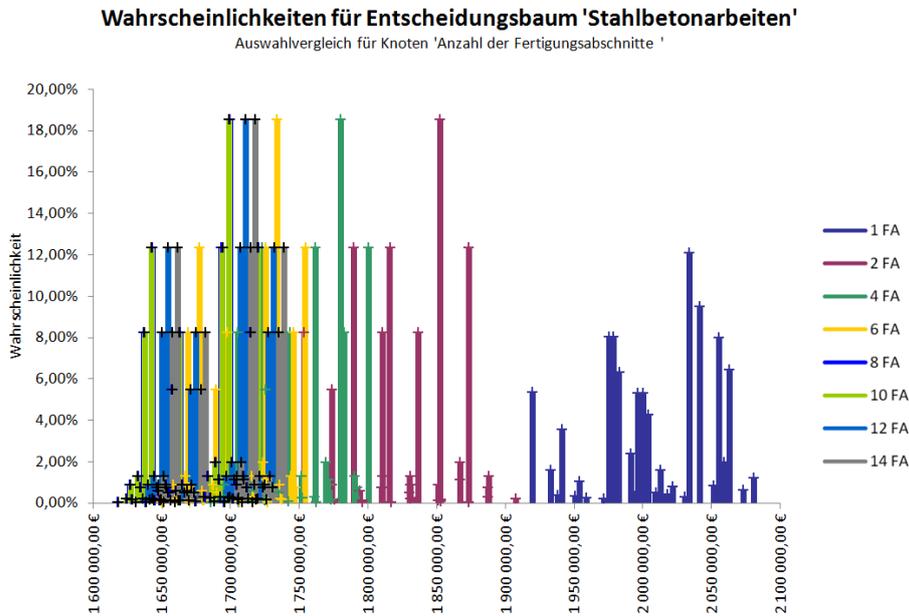


Bild 7.55 Wahrscheinlichkeitsdiagramm für den gesamten Entscheidungsbaum bei Taktfertigung

Das Bild 7.55 zeigt die Zusammenstellung der Ergebnisse aller Ablaufknoten mit deren jeweiligen Wahrscheinlichkeiten. Man erkennt, dass die Werte für einen bzw. zwei Fertigungsabschnitte deutlich höher sind, als bei den anderen Szenarien. Daraus lässt sich bereits schließen, dass die Unterteilung der Deckenfläche in mehrere Abschnitte durchaus Sinn macht. In Verbindung zu diesem Diagramm erstellt PrecisionTree eine Tabelle mit allen vorkommenden Diagrammdaten. Hier wurden die Parameter, in den Tabellen 7.110 und 7.111 in reduzierter Form dargestellt, sodass nur die wichtigsten Kennwerte in die Betrachtung mit aufgenommen werden.

Tabelle 7.110 Statistische Kennwerte der Wahrscheinlichkeitsverteilung je FA 1 – 6 bei Taktfertigung

Diagrammdaten								
Parameter	1 FA		2 FA		4 FA		6 FA	
	Wert	Wahrsch.	Wert	Wahrsch.	Wert	Wahrsch.	Wert	Wahrsch.
Maximalwert	2 080 481,77 €	1,23%	1 907 655,07 €	0,21%	1 800 171,43 €	12,36%	1 754 248,38 €	12,36%
Minimalwert	1 919 773,51 €	5,38%	1 753 049,63 €	8,24%	1 685 176,85 €	0,05%	1 649 624,28 €	0,05%
Wahrscheinlichster Wert	2 033 874,25 €	12,10%	1 852 417,71 €	18,54%	1 779 669,15 €	18,54%	1 733 746,10 €	18,54%
Unwahrscheinlichster Wert	1 971 799,24 €	0,20%	1 816 478,74 €	0,04%	1 705 679,13 €	0,04%	1 670 126,56 €	0,04%

Tabelle 7.111 Statistische Kennwerte der Wahrscheinlichkeitsverteilung je FA 8 – 14 bei Taktfertigung

Diagrammdaten								
Parameter	8 FA		10 FA		12 FA		14 FA	
	Wert	Wahrsch.	Wert	Wahrsch.	Wert	Wahrsch.	Wert	Wahrsch.
Maximalwert	1 719 990,85 €	12,36%	1 719 414,37 €	12,36%	1 731 416,32 €	12,36%	1 738 553,82 €	12,36%
Minimalwert	1 617 452,16 €	0,05%	1 618 121,05 €	0,05%	1 630 950,80 €	0,05%	1 638 678,38 €	0,05%
Wahrscheinlichster Wert	1 699 488,57 €	18,54%	1 698 912,10 €	18,54%	1 710 914,05 €	18,54%	1 718 051,55 €	18,54%
Unwahrscheinlichster Wert	1 637 954,44 €	0,04%	1 638 623,33 €	0,04%	1 651 453,07 €	0,04%	1 659 180,66 €	0,04%

In den beiden Tabellen wurden der maximale, sowie der minimale auftretende Wert mit der zugehörigen Wahrscheinlichkeit herausgefiltert. Wird die Deckenfläche öfter unterteilt, so ist es wahrscheinlicher, dass sich daraus tendenziell höhere Kosten ergeben werden. Demgegenüber kommt der wahrscheinlichste Wert näher beim Maximum zu liegen. Der unwahrscheinlichste Wert kann wiederum eher beim Minimum angesiedelt werden.

In Verbindung mit dem Wahrscheinlichkeitsdiagramm kann das Summendiagramm angeführt werden.

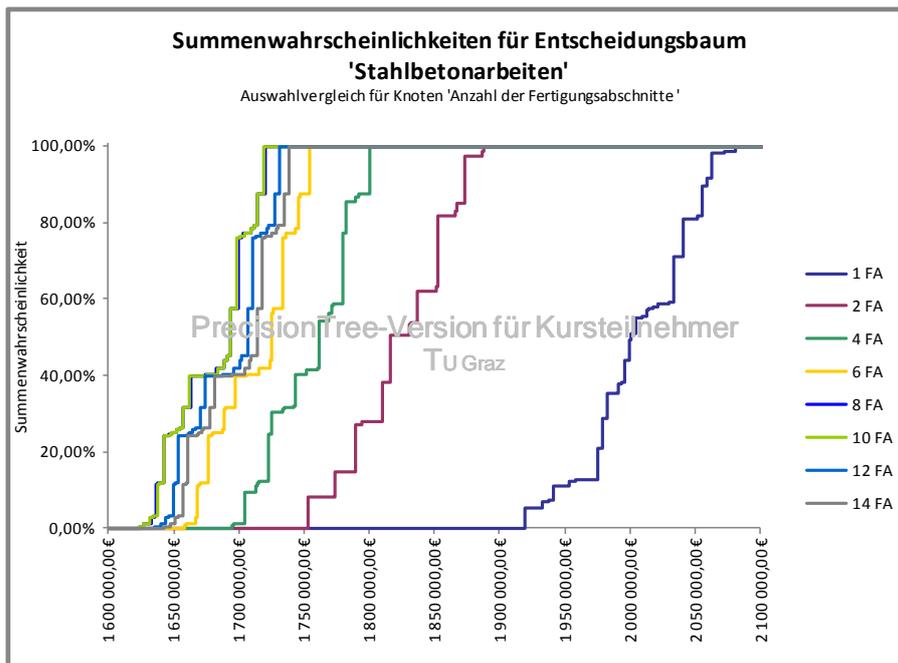


Bild 7.56 Summendiagramm für den gesamten Entscheidungsbaum bei Taktfertigung

Das in Bild 7.56 dargestellte Summendiagramm weist die kumulierten Wahrscheinlichkeiten aus Bild 7.55 aus. Aus diesem Diagramm können unter anderem Wertebereiche der Ergebnisse abgelesen werden. Zudem können über die Form und die Steigung, Rückschlüsse auf die Streuung und Entwicklung der Ergebnisse gewonnen werden.

In Bild 7.57 werden die Ergebnisse aus 7.55 und 7.56 übereinandergelegt.

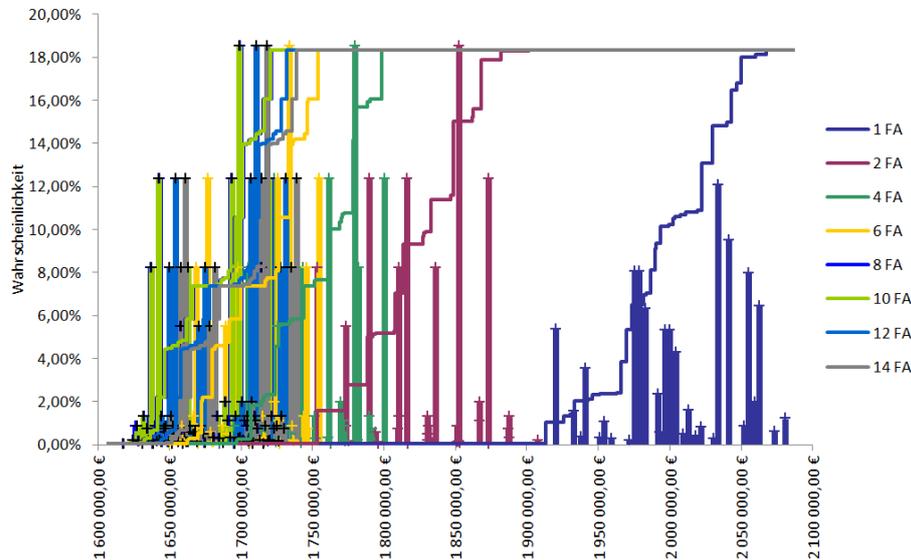


Bild 7.57 Überlagerung des Summendiagramms und des Wahrscheinlichkeitsdiagramms für den gesamten Entscheidungsbaum bei Taktfertigung

Aus Bild 7.57 kann die Entwicklung der Silhouette aus dem Summendiagramm in Bild 7.56 nachvollzogen werden.

Die Ergebnisse aus dem Wahrscheinlichkeitsdiagramm aus Bild 7.55, stellen Einzelergebnisse dar, die, wenn man eine umhüllende Kurve darüberlegt, die Form einer kontinuierlichen Verteilung annimmt. Jede Verteilung kann schließlich durch einige Parameter, wie den Mittelwert und die Standardabweichung beschrieben werden. So können auch die diskontinuierlichen Histogramme in Bild 7.55 durch Minimum, Maximum, Mittelwert (hier: Erwartungswert), Modus (hier: wahrscheinlichster Wert) und der Standardabweichung, wie sie die Tabellen 7.112 und 7.113 zeigen, beschrieben werden.

Tabelle 7.112 Parameter der Verteilungen je FA 1 – 6 für Taktfertigung

Statistiken	1 FA	2 FA	4 FA	6 FA
Mittelwert	1.992.260,22 €	1.823.868,68 €	1.733.154,72 €	1.685.512,67 €
Minimum	1.905.496,75 €	1.753.049,63 €	1.665.585,79 €	1.620.560,89 €
Maximum	2.066.205,01 €	1.907.655,07 €	1.774.462,10 €	1.725.184,99 €
Modus	2.019.597,49 €	1.852.417,71 €	1.753.959,82 €	1.704.682,72 €
Std. Abweichung	40.956,46 €	37.409,60 €	30.373,94 €	30.039,24 €
Schiefe	-0,3339	-0,2648	-0,3052	-0,3132
Wölbung	2,3167	2,1030	1,6896	1,6326

Tabelle 7.113 Parameter der Verteilungen je FA 8 – 14 für Taktfertigung

Statistiken	8 FA	10 FA	12 FA	14 FA
Mittelwert	1.650.957,37 €	1.649.883,11 €	1.662.014,41 €	1.668.904,32 €
Minimum	1.587.290,03 €	1.586.982,78 €	1.599.623,90 €	1.606.877,22 €
Maximum	1.689.828,72 €	1.688.276,10 €	1.700.089,43 €	1.706.752,67 €
Modus	1.669.326,44 €	1.667.773,83 €	1.679.587,15 €	1.686.250,39 €
Std. Abweichung	29.927,60 €	29.877,62 €	29.851,34 €	29.836,01 €
Schiefte	-0,3164	-0,3179	-0,3188	-0,3193
Wölbung	1,6126	1,6034	1,5986	1,5957

Aus diesen Ergebnissen lassen sich, mit Hilfe der in Kapitel 4 vorgestellten Gleichungen zur Ermittlung der Überschneidungsbereiche zweier Normalverteilungen, ein näherungsweise Prozentsatz für die Bestimmung der Wahrscheinlichkeit der Fälle, in denen eine Ausführungsart der jeweils anderen vorzuziehen ist, berechnen. Dadurch kann ein zusätzlicher Eindruck zur Entscheidungsfindung gewonnen werden.

Tabelle 7.114 Berechnung der Wahrscheinlichkeit der Fälle für den Vorzug einer Verteilung bei Taktfertigung

Parameter	Verteilung bei 8 FA	Verteilung bei 10 FA	Verteilung der Marge
μ [€]	1.650.957,37 €	1.649.883,11 €	1.074,26 €
σ [€]	29.927,60 €	29.877,62 €	42.288,69 €
Prozent der Fälle für 8 FA			48,99%
Sicherheitsindex			0,03

Tabelle 7.114 stellt nun das Ergebnis der beiden Verteilungen gegenüber. Darin erkennt man, dass in 48,99% der Fälle die Ausführung von 8 Fertigungsabschnitten zu einem Kostenminimum führt, demgegenüber kann aber auch die Aussage, dass in 51,01 % der Fälle die Ausführung mit 10 Fertigungsabschnitten zu einem Optimum führt, gezogen werden. Die beiden Kurven decken sich nahezu und somit kann davon ausgegangen werden, dass wenn sich nun ein Entscheider an diese Entscheidungsregel (ausreichend hoher Prozentsatz für eine der beiden Verteilungen) hält, er sich indifferent, also unschlüssig, gegenüber diesen beiden Varianten verhält und daher zu keinem Entschluss kommen würde.

Aus den Tabellen 7.112 und 7.113 können nun Kostenverläufe aufgezeigt werden, die in anschauliche Weise die Entwicklung der Kosten, in Abhängigkeit der Fertigungsabschnitte darstellen.

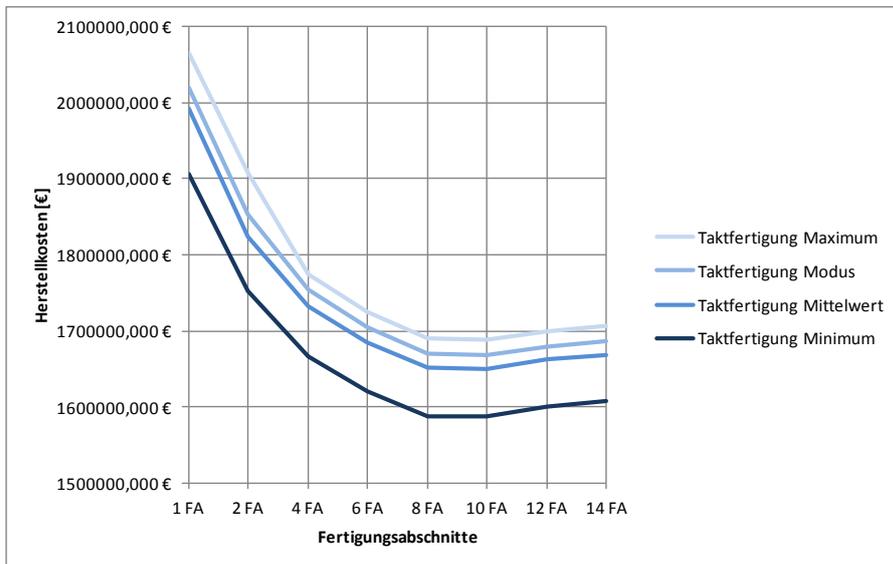


Bild 7.58 Herstellkostenverläufe in Abhängigkeit der Fertigungsabschnitte bei Taktfertigung

In Bild 7.58 werden die Kostenverläufe der wesentlichen Entscheidungsparameter, je Fertigungsabschnitt gezeigt. Diese Darstellungsart ist insofern interessant, als dass durch die Anordnungen der Kennwerte schließen lässt, dass der Modus, der den wahrscheinlichsten Wert begründet, höher anzusetzen ist, als der Mittelwert, also der Erwartungswert, der den Hauptparameter der Entscheidungsbaumberechnung darstellt. Die Grafik zeigt auch, dass erwartungsgemäß das Optimum an Fertigungsabschnitten an einem gewissen Punkt erreicht ist und von dort aus die Kosten wieder ansteigen.

Im nächsten Schritt kann nun ein Richtlinienvorschlag durch PrecisionTree erstellt werden. Dabei wird der optimale Pfad (die Entscheidungsregel ist dabei der Erwartungswert) von allen anderen freigeschnitten. Daraus folgend kann auch eine Entscheidungstabelle durch PrecisionTree generiert werden, welche alle optimalen Entscheidungen im Baum auflistet.

Tabelle 7.115 Entscheidungstabelle bei Taktfertigung

Entscheidung	Vorteil der richtigen Auswahl			
	Optimale Auswahl	Auftretenswahrscheinlichkeit	(beste – schlechteste Auswahl)	Vorteil der richtigen Auswahl (beste – zweitbeste Auswahl)
'Anzahl der Fertigungsabschnitte'	10 FA	100,00%	-342.377,11 €	-1.074,26 €
'Materialkosten Schalung'	Systemschalung	100,00%	-52.121,79 €	-52.121,79 €
'Bewehrungsarbeiten'	Stabstahl	4,00%	-34.307,50 €	-31.080,20 €
'Bewehrungsarbeiten'	Stabstahl	57,00%	-34.307,50 €	-31.080,20 €
'Bewehrungsarbeiten'	Stabstahl	0,9984%	-34.307,50 €	-31.080,20 €
'Bewehrungsarbeiten'	Stabstahl	38,00%	-34.307,50 €	-31.080,20 €
'Betoneinbringung'	Pumpbeton	2,40%	34.695,97 €	-34.695,97 €

Die Tabelle 7.115 listet nun alle besten Entscheidungen im Baum auf. So geht daraus hervor, dass bei der Herstellung der Decke, durch die Einteilung in 10 Fertigungsabschnitte, ein Kostenoptimum (Kostenminimum)

erreicht werden kann. Der Vorteil dieser Entscheidung, im Vergleich zur schlechtesten Auswahl (1 Fertigungsabschnitt) beträgt 342 377,11 € und zur zweitbesten nur 1 074,26 €. Dieser Wert stellt genau die Mittelwertdifferenz zwischen 8 und 10 Fertigungsabschnitten, aus Tabelle 7.114, dar.

Bei den Schalarbeiten geht die Systemschalung als absolut beste Wahl hervor. Der Vorteil dieser Entscheidung, gegenüber dem Einsatz der Trägerschalung, wird mit 52 121,79 € ausgewiesen. Vergleichend kann aus Bild 7.12, welches die Schalungskosten in Abhängigkeit der Fertigungsabschnitte darstellt, erwähnt werden, dass ab vier bzw. fünf Abschnitten die Systemschalung günstiger gegenüber der Trägerschalung wird. Dabei sei erwähnt, dass in diese Betrachtung aus Tabelle 7.115 auch die Einflüsse aus den Produktivitätsverlusten einspielen, im Gegensatz zu den Berechnungen, die in Bild 7.12 dargestellt sind, die sich bei jedem Schalsystem unterschiedlich entwickeln.

Des Weiteren zeigt die Tabelle 7.115, dass der Einsatz von Stabstahl bei den Bewehrungsarbeiten zu einem Kostenminimum führt. Bei der Auftrittswahrscheinlichkeit unterscheiden sich die Werte voneinander, was bedeutet, dass an anderen Pfaden, welche nicht zum Ablauf des derzeit optimalen Pfades zählen, genauso dasselbe Kostenminimum bei den Bewehrungsarbeiten auftritt. Die Differenz zwischen der besten (Stabstahl) zur schlechtesten Auswahl (Stab- und Mattenstahl gemischt) ergibt sich zu 34 307,50 €. Der Unterschied der besten zur zweitbesten Entscheidung (Mattenstahl) ergibt sich zu 31 080,20 €.

Bei der Betoneinbringung weist die Möglichkeit des Pumpens die optimale Alternative auf. Mit 34 695,97 € kann die Pumpeinbringung, der Kran einbringung vorgezogen werden. Die Auftrittswahrscheinlichkeit wird mit 2,4 % angegeben, da auch an anderen Pfaden dieses Optimum vorkommt.

Diese Ergebnisse stellen die Zusammenfassung des optimalen Pfades, der in den Bildern 7.59 bis 7.61 illustriert ist, dar.

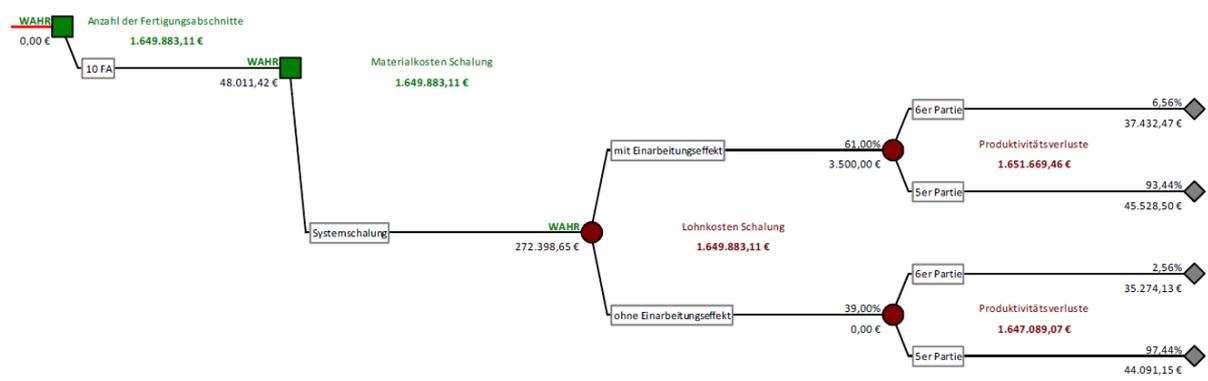


Bild 7.59 Optimaler Entscheidungspfad „Schalen“ bei Taktfertigung

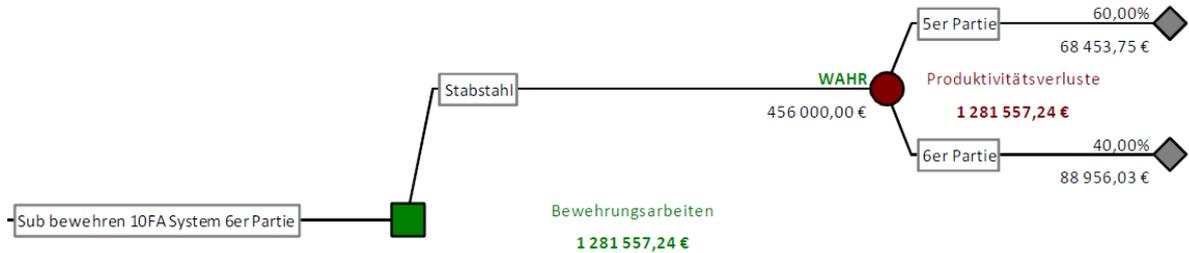


Bild 7.60 Optimaler Entscheidungspfad „Bewehren“ bei Taktfertigung

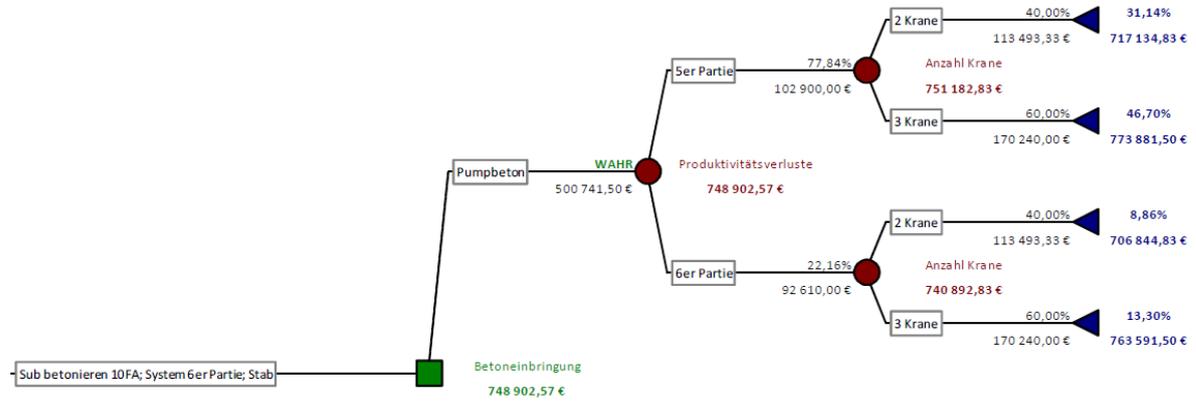


Bild 7.61 Optimaler Entscheidungspfad „Betonieren“ bei Taktfertigung

Nachfolgend werden die Ergebnisse nach demselben Schema, für Fließfertigung dargelegt. Dazu wird zunächst das Wahrscheinlichkeitsdiagramm mit den zugehörigen tabellarisch aufgelisteten Parameter angeführt. Zu erwähnen sei dabei, dass die Bandbreite der Kosten geringer und auch nicht so hoch sind wie bei der Taktfertigung.

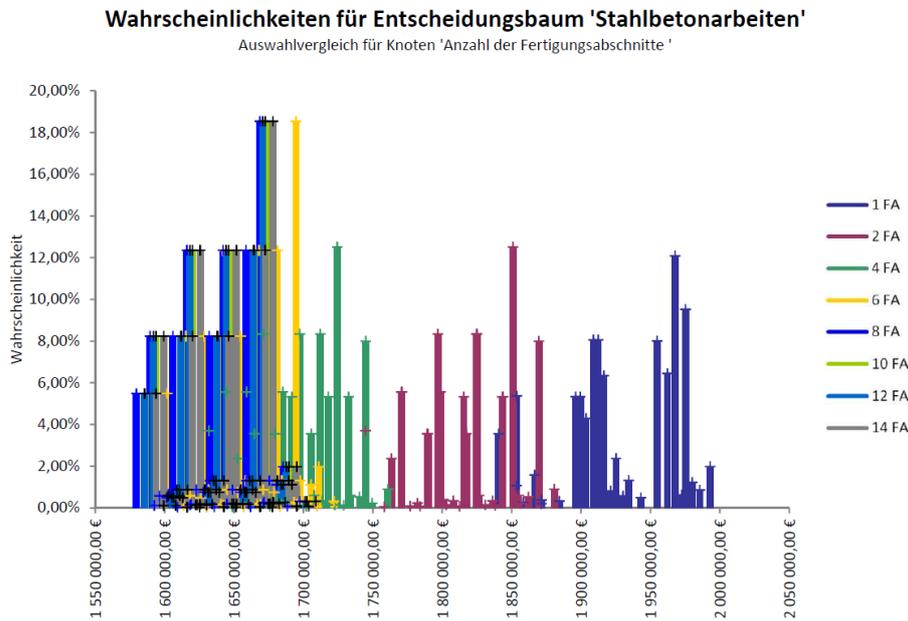


Bild 7.62 Wahrscheinlichkeitsdiagramm für den gesamten Entscheidungsbaum bei Fließfertigung

Das Diagramm in Bild 7.62 zeigt die Ablaufwerte mit deren jeweiligen Wahrscheinlichkeiten. Man erkennt wiederum, dass die Werte für einen bzw. zwei Fertigungsabschnitte höher als für die anderen Einteilungen sind. Jedoch sind sie im Allgemeinen niedriger als bei der Taktfertigung. Die Tabellen 7.116 und 7.117 stellen nun die minimalen, maximalen, wahrscheinlichsten sowie unwahrscheinlichsten Werte zusammen.

Tabelle 7.116 Statistische Kennwerte der Wahrscheinlichkeitsverteilung je FA 1 – 6 bei Fließfertigung

Diagrammdaten								
Parameter	1 FA		2 FA		4 FA		6 FA	
	Wert	Wahrsch.	Wert	Wahrsch.	Wert	Wahrsch.	Wert	Wahrsch.
Maximalwert	1 993 000,42 €	1,99%	1 880 695,80 €	0,91%	1 760 752,20 €	0,91%	1 721 740,13 €	0,32%
Minimalwert	1 840 625,45 €	3,56%	1 744 594,58 €	3,71%	1 631 865,32 €	3,71%	1 601 673,84 €	5,49%
Wahrscheinlichster Wert	1 967 659,85 €	12,10%	1 850 832,57 €	12,52%	1 724 250,69 €	12,52%	1 694 577,86 €	18,54%
Unwahrscheinlichster Wert	1 871 384,23 €	0,20%	1 758 170,90 €	0,06%	1 648 743,88 €	0,06%	1 630 166,90 €	0,04%

Tabelle 7.117 Statistische Kennwerte der Wahrscheinlichkeitsverteilung je FA 8 – 14 bei Fließfertigung

Diagrammdaten								
Parameter	8 FA		10 FA		12 FA		14 FA	
	Wert	Wahrsch.	Wert	Wahrsch.	Wert	Wahrsch.	Wert	Wahrsch.
Maximalwert	1 697 227,20 €	0,32%	1 702 175,58 €	0,32%	1 700 864,89 €	0,32%	1 708 769,12 €	0,32%
Minimalwert	1 579 407,13 €	5,49%	1 585 583,73 €	5,49%	1 585 147,99 €	5,49%	1 593 672,03 €	5,49%
Wahrscheinlichster Wert	1 668 466,89 €	18,54%	1 672 469,52 €	18,54%	1 670 533,49 €	18,54%	1 677 896,77 €	18,54%
Unwahrscheinlichster Wert	1 609 127,62 €	0,04%	1 616 133,91 €	0,04%	1 616 184,50 €	0,04%	1 625 055,96 €	0,04%

Bei näherer Betrachtung der Werte kann das Optimum bei acht Fertigungsabschnitten festgemacht werden.

Dazu stellt das Summendiagramm in Bild 7.63 die aufsummierten Wahrscheinlichkeiten dar.

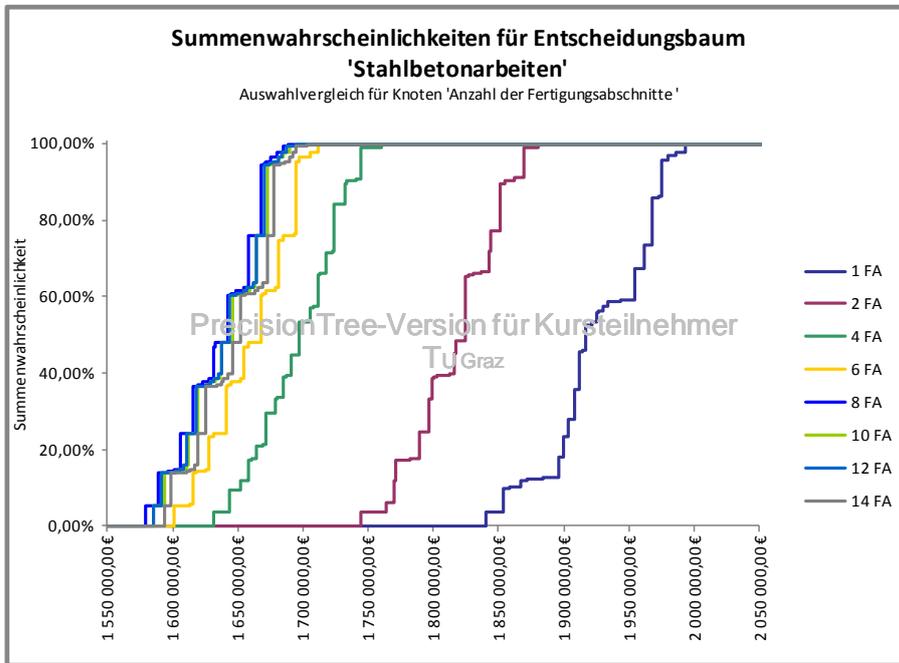


Bild 7.63 Summendiagramm für den gesamten Entscheidungsbaum bei Fließfertigung

Um den Konnex zu Bild 7.62 zu schaffen, können beide Grafiken in Bild 7.64 übereinandergelegt werden.

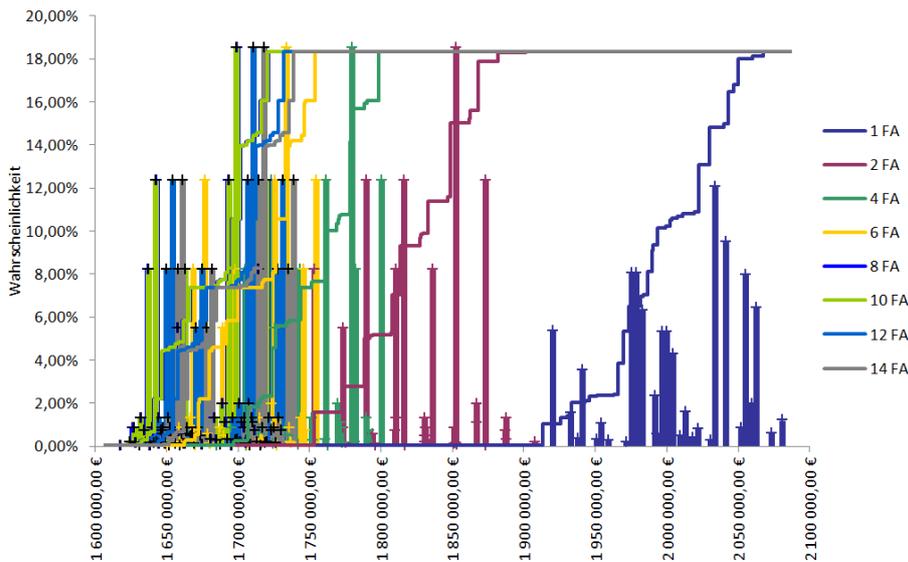


Bild 7.64 Überlagerung des Summendiagramms und des Wahrscheinlichkeitsdiagramms für den gesamten Entscheidungsbaum bei Fließfertigung

Zur weiteren Auswertung können in PrecisionTree wieder die Tabellen der statistischen Kennwerte erstellt werden.

Tabelle 7.118 Parameter der Verteilungen je FA 1 – 6 für Fließfertigung

Statistiken	1 FA	2 FA	4 FA	6 FA
Mittelwert	1.903.497,94 €	1.800.174,07 €	1.672.770,62 €	1.646.668,99 €
Minimum	1.817.481,06 €	1.728.072,12 €	1.608.167,76 €	1.584.712,68 €
Maximum	1.969.856,04 €	1.864.173,33 €	1.737.054,64 €	1.710.734,72 €
Modus	1.944.515,46 €	1.834.310,10 €	1.700.553,13 €	1.672.196,66 €
Std. Abweichung	40.118,57 €	33.602,86 €	31.846,15 €	31.456,06 €
Schiefe	-0,3626	-0,2324	-0,2272	-0,2247
Wölbung	2,2652	2,2038	2,1095	2,0899

Tabelle 7.119 Parameter der Verteilungen je FA 8 – 14 für Fließfertigung

Statistiken	8 FA	10 FA	12 FA	14 FA
Mittelwert	1.609.991,31 €	1.613.313,03 €	1.614.082,38 €	1.618.211,35 €
Minimum	1.556.268,70 €	1.560.441,81 €	1.561.770,86 €	1.566.298,64 €
Maximum	1.675.956,24 €	1.679.103,62 €	1.680.729,73 €	1.683.745,93 €
Modus	1.641.354,04 €	1.644.080,05 €	1.645.459,52 €	1.648.311,38 €
Std. Abweichung	29.812,67 €	29.701,07 €	29.632,01 €	29.585,11 €
Schiefe	-0,2680	-0,2682	-0,2682	-0,2682
Wölbung	1,9232	1,9172	1,9139	1,9120

Aus den Tabellen 7.118 und 7.119 können die statistischen Daten der diskontinuierlichen Wahrscheinlichkeitsverteilungen, des Wahrscheinlichkeitsdiagramms aus Bild 7.62, entnommen werden. Für die weitere Betrachtung werden die Daten für 8 und 10 Fertigungsabschnitte verglichen.

Tabelle 7.120 Berechnung der Wahrscheinlichkeit der Fälle für den Vorzug einer Verteilung bei Fließfertigung

Parameter	Verteilung bei 8 FA	Verteilung bei 10 FA	Verteilung der Marge
μ [€]	1.609.991,31 €	1.613.313,03 €	3.321,71 €
σ [€]	29.812,67 €	29.701,07 €	42082,63836
Prozent der Fälle für 10 FA			46,85%
Sicherheitsindex			0,08

In Tabelle 7.120 kann, analog wie bei der Taktfertigung, wieder die Schnittmenge der Verteilungen von 8 Fertigungsabschnitten und jener von 10 Fertigungsabschnitten berechnet werden. In diesem Fall zeigt das näherungsweise Ergebnis aus Tabelle 7.120, dass in 46,85 % der Fälle, die Wahl von 10 Fertigungsabschnitten zu bevorzugen wäre. Umgekehrt bedeutet das Resultat, dass in 53,15 % der Fälle, also mehr als die Hälfte, die Aufteilung in acht Fertigungsabschnitten zum Kostenminimum führt.

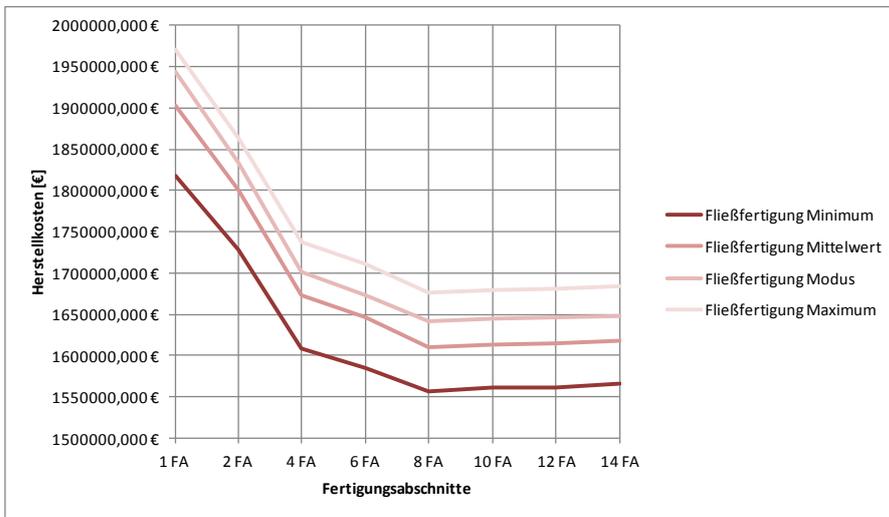


Bild 7.65 Herstellkostenverläufe in Abhängigkeit der Fertigungsabschnitte bei Fließfertigung

Bild 7.65 zeigt die Kostenentwicklung der Herstellkosten in Abhängigkeit der Fertigungsabschnitte. Auch hier lässt sich erwartungsgemäß, den Untersuchungen von Hofstadler⁴⁰² zufolge, dieselbe Tendenz der Kostenentwicklung feststellen. Daraus folgend können in Verbindung zu Bild 7.58 beide Diagramme übereinandergelegt werden.

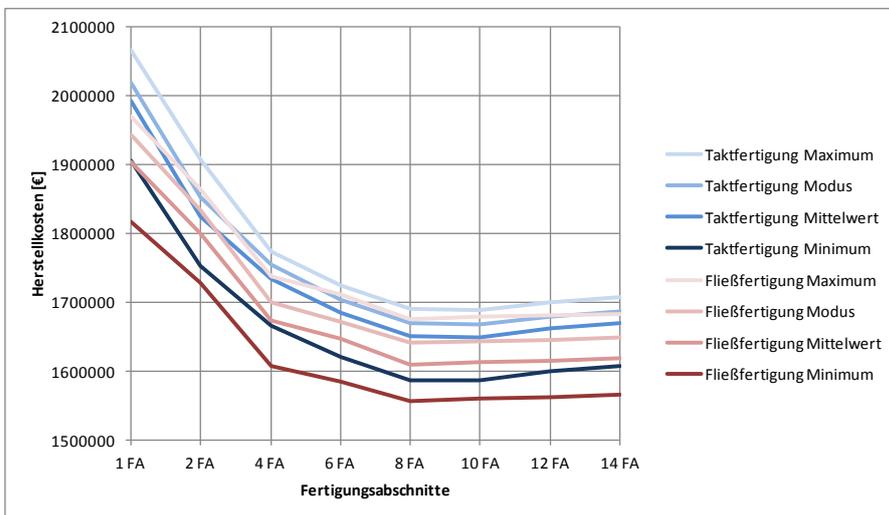


Bild 7.66 Herstellkostenverläufe in Abhängigkeit der Fertigungsabschnitte bei Fließfertigung

⁴⁰² Vgl. HOFSTADLER, C.: Zur exakten Ermittlung der Vorhaltemenge von Schalung und Rüstung für die Herstellung von Stahlbetondecken und die Auswirkungen des Frühausschalens auf Bauzeit und Baukosten; Dissertation, S. 259ff

Bild 7.66 stellt nun die Ergebnisse der statistischen Kennwerte bei Taktfertigung mit jenen bei Fließfertigung gegenüber. Man erkennt, dass tendenziell die Fließfertigung zu niedrigeren Kosten führt. Zudem kann der Trend erkannt werden, dass bei einem bestimmten Punkt ein Optimum der Anzahl der Fertigungsabschnitte erreicht wird und von dort an die Kosten wieder, aufgrund des vermehrten Einbaus von Arbeitsfugen, erhöhten Produktivitätsverlusten beim Schalen und des erhöhten Aufwandes beim Betonieren steigen.

Zusammenfassend kann wieder eine Entscheidungstabelle, angeführt in Tabelle 7.121, dargestellt werden.

Tabelle 7.121 Entscheidungstabelle bei Fließfertigung

Entscheidung	Vorteil der richtigen Auswahl			
	Optimale Auswahl	Auftretenswahrscheinlichkeit	(beste – schlechteste Auswahl)	(beste – zweitbeste Auswahl)
'Anzahl der Fertigungsabschnitte '	8 FA	100,00%	-293.506,63 €	-1.091,07 €
'Materialkosten Schalung'	Systemschalung	100,00%	-25.278,70 €	-25.278,70 €
'Bewehrungsarbeiten'	Stabstahl	4,00%	-49.022,97 €	-35.147,79 €
'Bewehrungsarbeiten'	Stabstahl	57,00%	-49.022,97 €	-35.147,79 €
'Bewehrungsarbeiten'	Stabstahl	0,9984%	-49.022,97 €	-35.147,79 €
'Bewehrungsarbeiten'	Stabstahl	38,00%	-49.022,97 €	-35.147,79 €
'Betoneinbringung'	Pumpbeton	2,40%	-60.238,19 €	-60.238,19 €

Die Tabelle zeigt, dass bei der Fließfertigung die Aufteilung bei acht Fertigungsabschnitten optimal ausfällt. Der Vorteil zur zweitbesten Wahl liegt aber nur bei 1 091,07 €.

Als Schalungssystem geht wieder die Systemschalung mit einem Vorzug von 25 278,70 € als günstiger gegenüber der Trägerschalung hervor.

Bei den Bewehrungsarbeiten kann wieder der Einsatz von Stabstahl, jenem des Mattenstahls als besser gewertet werden. Hier liegt der Vorteil zur zweitbesten Wahl (gemischte Verlegung) bei 35 147,79 €.

Für die Betoneinbringung erweist sich wiederum der Pumpbeton, mit 60 238,19 € günstigere Variante, im Vergleich zur Kraneinbringung. Die jeweiligen Wahrscheinlichkeiten ergeben sich gleichermaßen wie bei der Taktfertigung, weil das Baumschema und der Kostenverlauf ident sind.

Vervollständigend kann daraus der optimale Pfad im Baum in den Bildern 7.67 bis 7.69 dargestellt werden.

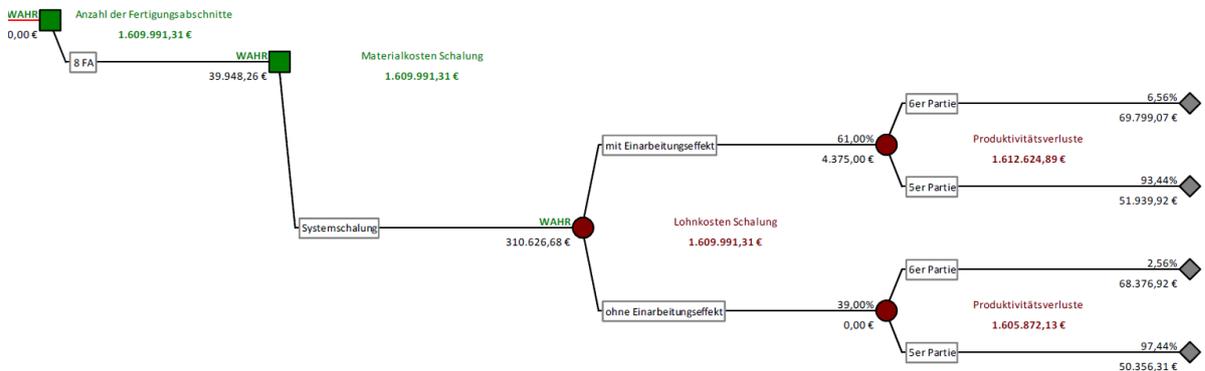


Bild 7.67 Optimaler Entscheidungspfad „Schalen“ bei Fließfertigung



Bild 7.68 Optimaler Entscheidungspfad „Bewehren“ bei Fließfertigung

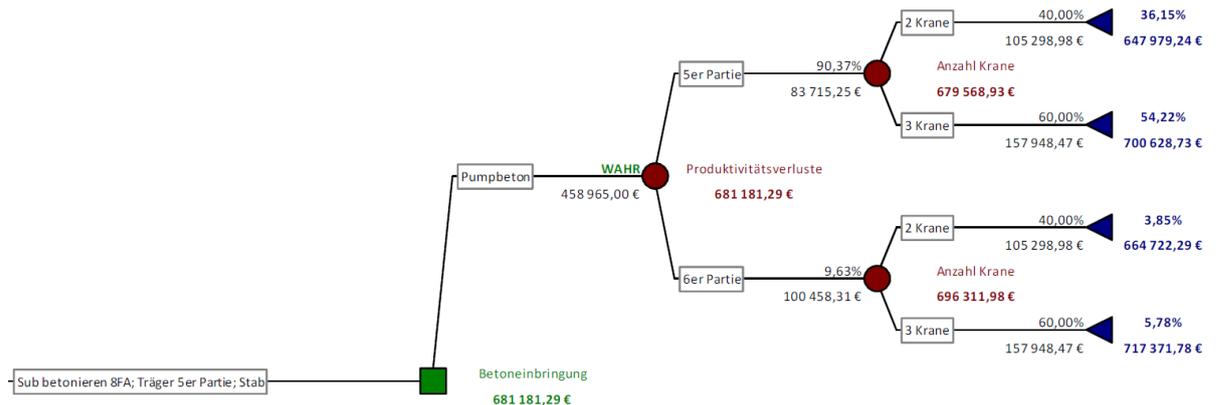


Bild 7.69 Optimaler Entscheidungspfad „Betonieren“ bei Fließfertigung

Die vorangestellten Baumausschnitte zeigen den chronologischen Prozessablauf des optimalen Pfades, wie er schon nach Tabelle 7.121 eingehend erklärt wurde.

7.10.2 Interpretation der Ergebnisse

Um diese Ergebnisse nun zu deuten bzw. auf deren Plausibilität zu überprüfen, werden nachfolgende Vergleiche angestellt. Betrachtet man das Ergebnis für die Einteilung der Deckenfläche, so stellt man fest, dass bei Taktfertigung das Optimum bei einer Fertigungsabschnittszahl von 10, d.h. bei 500 m² erreicht wird. Demgegenüber wird das Optimum bei Fließfertigung bei acht Abschnitten, demzufolge bei 625 m², erreicht. Demnach können folgende Überlegungen angestellt und bauablaufrelevante Gegebenheiten festgemacht werden.

Ausführende Firmen sind meist bestrebt, die Deckenflächen so einzuteilen, dass sie bei der Fertigung eine Wochentaktung erzielen. Dies bedeutet, dass die Prozesse Schalen, Bewehren und Betonieren innerhalb einer Woche vonstattengehen sollen, sodass die am Freitag betonerte Deckenfläche über das Wochenende soweit aushärten kann, dass am Montag mit dem Aufreißen der darüber liegenden Wände begonnen werden kann. Geht man nun von einer gewöhnlichen Schalleistung von 170 m²/d aus, so kann in drei Tagen eine Deckenfläche von rund 500 m² eingeschalt werden. Für die Bewehrungsarbeiten kann über einige Annahmen eine Leistung von 7,5 t/d, also 15 Tonnen in zwei Tagen (mit einem Tag als Überlappung zu den Schalarbeiten), erbracht werden. Die Betonkubatur ergibt sich zu 115 m³, die in rund 6,5 Stunden mit der Betonpumpe eingebracht werden können. Mit dieser recht einfach gehaltenen groben Bauablaufbetrachtung, die hier entkoppelt von den vertikalen Traggliedern dargestellt wurde, könnte somit eine Wochentaktung erreicht werden. Dabei wurden allerdings externe Einflussfaktoren, durch die der Fertigungsablauf und die Taktung jederzeit gestört werden könnten, nicht berücksichtigt.

So stellt auch die Bauzeit, die in dieser Arbeit als fixe Größe angenommen wurde, eine relevante Eingabe in dem Berechnungsschema dar. Da sich etwaige Verlängerungen oder aber auch Verkürzungen negativ auf die Kostenentwicklung auswirken. Eine Verlängerung der Bauzeit verursacht einerseits, abgesehen von allfälligen Pönalzahlungen, Mehrkosten, da die Ressourcen zu lange und unproduktiv vorgehalten werden müssen und andererseits bei verkürzter Bauzeit, eine Verdichtung der elementaren Produktionsfaktoren stattfindet, aus der wiederum Produktivitätsverluste und damit höhere Herstellkosten, wie es Bild 7.70 zeigt, hervorgehen.

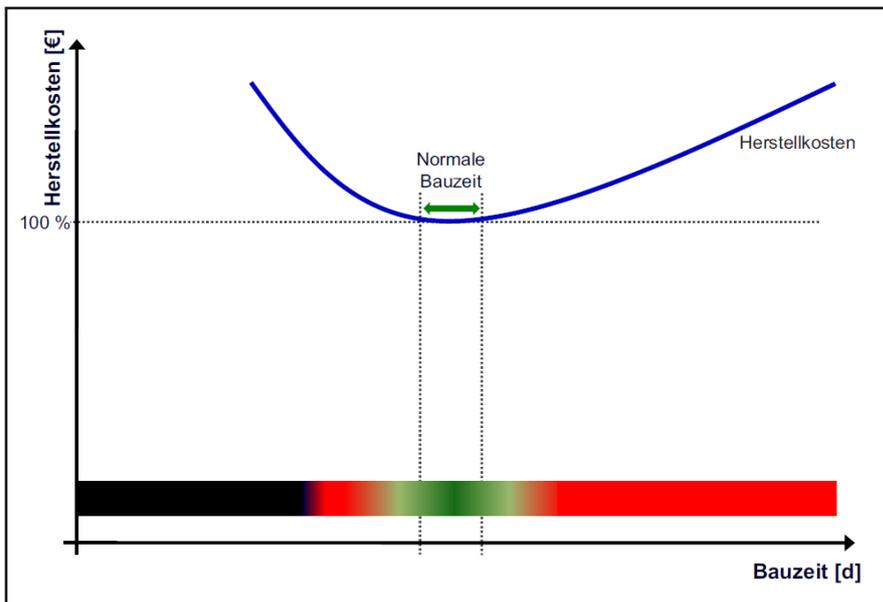


Bild 7.70 Qualitativer Zusammenhang zwischen der Bauzeit und der Herstellkosten aus der Sichtweise der Bieter/Auftraggeber⁴⁰³

Alles in allem können die Kostenverläufe in den Bildern 7.58, 7.65 und 7.66 so interpretiert werden, als dass an einem Punkt der Einteilung der Deckenfläche das Optimum, bzw. das Minimum an Kosten erreicht werden kann, von dem aus die Kosten in beide Richtungen wieder steigen. Dies rührt zum einen daher, dass die Kosten, mit fortlaufender Anzahl an Fertigungsabschnitten, zur Herstellung der Arbeitsfugen ansteigen, weil die Arbeitsfugenlänge ebenfalls immer weiter steigt. Zum anderen spiegeln sich die steigenden Kosten auch bei den Produktivitätsverlusten wieder, da durch die Intensivierung der Arbeitsleistung, in einem Arbeitsraum, die erforderliche Fläche einer Arbeitskraft immer geringer wird. Auch bei der Betoneinbringung entstehen aufgrund der anfallenden Minder Mengen und der sich daraus einhergehenden Pumpkosten erhöhte Kosten. Demgegenüber steht die Ersparnis aus den, mit steigender Anzahl an Fertigungsabschnitten immer geringer werdenden, Schalungskosten, siehe dazu die Bilder 7.11, 7.12, 7.13 und 7.14. Dieses Kostensparnis lässt durch die anwachsenden Kosten in den anderen Bereichen nicht mehr kompensieren bzw. ausgleichen.

Aus einer Expertenbefragung, durchgeführt von Hofstadler, geht hervor, dass für die Baupraxis eine Unterteilung der Regelgeschossfläche ab 473 m² zu empfehlen sei.⁴⁰⁴ Diese Aussage untermauert zudem die Ergebnisse von 500 m² und 625 m² aus der vorliegenden Untersuchung.

⁴⁰³ HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb; Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 56

⁴⁰⁴ Vgl. HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb; Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. S. 205

8 Kalkulatorischer Schalungsvergleich mit PrecisionTree und @Risk am Beispiel Horizontalschalungssysteme

Nachdem im vorangegangenen Kapitel 7 die Ermittlung der optimalen Anzahl an Fertigungsabschnitten von Stahlbetonregelgeschosdecken im Hinblick auf die Kostenentwicklung für deren Herstellung untersucht wurden, wird in diesem Kapitel gezeigt, wie man mit Hilfe der Ergebnisse, aus der deterministischen Betrachtungsweise des Entscheidungsbaummodells, diese in ein stochastisches überführt. Dazu wird im Speziellen ein Vergleich der beiden, in Betracht kommenden, Schalungssysteme gezogen. Für Taktfertigung werden die Gebäudedaten für das Optimum von 10 und für Fließfertigung für acht Abschnitte weiterverwendet.

8.1 Ausgangssituation

Aufbauend auf diesen Ergebnissen wird des Weiteren eine nähere Betrachtung der Schalungskosten mit Hilfe von PrecisionTree und @Risk angestellt. Im Mittelpunkt steht wieder die Variantenbildung bzw. das Auffächern der auftretenden Kosten. Dazu werden im nächsten Schritt die unterschiedlichen Ergebnisse der Vorhaltemengen je Fertigungsabschnitt, aus Kapitel 7, der Tabellen 7.23 fortfolgend, in den nachfolgenden Tabellen 8.1 bis 8.4 angeführt.

Tabelle 8.1 Zusammenstellung der Schalfächen bei 10 Fertigungsabschnitten, Taktfertigung und Systemschalung

Vorhaltemenge Schalung	1.468,37 [m ²]
Vorhaltemenge Nachlaufunterstützung	3.525,51 [m ²]
Gesamte Deckenfläche	15.000,00 [m ²]
Randschalung	450,00 [m ²]
Mietdauer Schalung (Kalendertage)	151 [d]
Mietdauer Nachlaufunterstützung (Kalendertage)	159 [d]
Aufwandswert (theoretischer Systemwert)	0,3 [Std/m ²]

Tabelle 8.2 Zusammenstellung der Schalfächen bei 10 Fertigungsabschnitten, Taktfertigung und Trägerschalung

Vorhaltemenge Schalung	2.475,51 [m ²]
Gesamte Deckenfläche	15.000,00 [m ²]
Randschalung	450,00 [m ²]
Mietdauer Schalung (Kalendertage)	159 [d]
Einsatzhäufigkeit der Schalhaut	25 [-]
Aufwandswert (theoretischer Systemwert)	0,45 [Std/m ²]

Die Tabellen 8.1 und 8.2 zeigen die Vorhaltemengen, getrennt nach Schalmaterial und Nachlaufunterstützung bei Taktfertigung. Die Miet-

dauer wird in Kalendertagen angegeben und ist für beide Systeme gleich, da in diesem Beispiel von einer fix vorgegebenen Bauzeit ausgegangen wurde. Die Einsatzhäufigkeit der Schalhaut wird hier mit 25 Einsätzen angegeben. Die Aufwandswerte bilden lediglich eine symbolische Charakteristik des jeweiligen Systems. Diese sensiblen Werte sind sehr stark abhängig von der Anzahl der Arbeitskräfte, der täglichen Arbeitszeit sowie von der täglichen Schalleistung und können daher nur als Richtwerte verstanden werden.

Tabelle 8.3 Zusammenstellung der Schalflächen bei 8 Fertigungsabschnitten, Fließfertigung und Systemschalung

Vorhaltemenge Schalung	3.170,66 [m ²]
Vorhaltemenge Nachlaufunterstützung	4.924,08 [m ²]
Gesamte Deckenfläche	15.000,00 [m ²]
Randschalung	450,00 [m ²]
Mietdauer Schalung (Kalendertage)	151 [d]
Mietdauer Nachlaufunterstützung (Kalendertage)	159 [d]
Aufwandswert (theoretischer Systemwert)	0,3 [Std/m ²]

Tabelle 8.4 Zusammenstellung der Schalflächen bei 8 Fertigungsabschnitten, Fließfertigung und Trägerschalung

Vorhaltemenge Schalung	4.924,08 [m ²]
Gesamte Deckenfläche	15.000,00 [m ²]
Randschalung	450,00 [m ²]
Mietdauer Schalung (Kalendertage)	159 [d]
Einsatzhäufigkeit der Schalhaut	25 [-]
Aufwandswert (theoretischer Systemwert)	0,45 [Std/m ²]

Die Tabellen 8.3 und 8.4 zeigen die Vorhaltemengen, getrennt nach Schalmaterial und Nachlaufunterstützung bei Fließfertigung. Beim direkten Vergleich zwischen der Takt- und Fließfertigung lässt sich erkennen, dass bei der Fließfertigung mehr Schalungsmaterial auf der Baustelle vorhanden sein muss, da ja auch die Vorgänge des Bewehrns und des Schalens parallel und nicht seriell wie bei der Taktfertigung vonstattengehen.

8.2 Kalkulationsmodell der Schalungskosten

Im Folgenden werden die Kalkulationstabellen zur Ermittlung der Schalungskosten in Variation der einzelnen Kostenelemente für Taktfertigung angeführt.

Tabelle 8.5 Einmalige Grundkosten zum Mieten der Systemschalung bei Taktfertigung

		Vorhaltemenge		
		Material	Satz	Kosten pro m ²	Kosten Gesamt
1.468,37 m ²	Schalungselemente	5,00%	17,20 €/m ²	25.249,56 €
	Nachlaufunterstützung	5,00%	1,99 €/m ²	7.004,64 €
	Summe		19,18 €/m ²	32.254,20 €



SKYDECK Alu-Panel-Deckenschalung⁴⁰⁵

Tabelle 8.5 weist die einmaligen Fixkosten, für den vorgehaltenen Gerätewert aus, von dem 5 % als Anzahlung in der Berechnung berücksichtigt werden.

Tabelle 8.6 Mietkosten der Systemschalung bei Taktfertigung

		Vorhaltemenge										
		Material	Satz	Mietdauer			Kosten pro Kalendertag			Mietkosten Gesamt		
				min	mittel	max	min	mittel	max	min	mittel	max
1.468,37 m ²	Schalungselemente	5,00%	149 d	151 d	153 d	94,11 €/d	94,11 €/d	94,11 €/d	14.021,79 €	14.210,01 €	14.398,22 €	
	Nachlaufunterstützung	5,00%	157 d	159 d	161 d	10,87 €/d	10,87 €/d	10,87 €/d	1.707,11 €	1.728,86 €	1.750,61 €	
	Summe					104,98 €/d	104,98 €/d	104,98 €/d	15.728,91 €	15.938,87 €	16.148,82 €	

In Tabelle 8.6 werden die Mietkosten für das vorgehaltene Schalungsmaterial berechnet. Vom Gerätewert werden wieder 5 % berücksichtigt und aus dem Tagessatz die gesamten Mietkosten über die Vorhaltedauer errechnet. Die Vorhaltedauer, die in der Tabelle 8.6 mit Mietdauer bezeichnet ist, kann aus den Berechnungen in Kapitel 7 (Tabellen 7.25 fortfolgend) entnommen werden. Die Dauern können in einem engen Rahmen von +/-2Tagen angegeben werden.

Tabelle 8.7 Transportkosten der Systemschalung bei Taktfertigung

		Vorhaltemenge							
		Material	Kosten je Tonne	Kosten pro m ²			Transportkosten Gesamt		
				min	mittel	max	min	mittel	max
1.468,37 m ²	Schalungselemente	25,00 €	2,15 €/m ²	2,26 €/m ²	2,38 €/m ²	5.369,26 €	5.651,85 €	5.934,44 €	
	Schalhaut	25,00 €	0,03 €/m ²	0,03 €/m ²	0,03 €/m ²	64,73 €	68,14 €	71,55 €	
	Summe		2,18 €/m ²	2,29 €/m ²	2,41 €/m ²	5.433,99 €	5.719,99 €	6.005,99 €	

Tabelle 8.7 weist die Berechnung der Transportkosten aus. Die Kosten-spanne kann auch hier in einer engen Bandbreite angegeben werden.

⁴⁰⁵http://www.peri.de/ww/de/produkte.cfm/fuseaction/diashow/product_ID/44/app_id/4/imgpath/08_10_skydeck_titel.jpg.cfm. Datum des Zugriffs: 08.03.2015

Tabelle 8.8 Materialkosten der Systemschalung bei Taktfertigung

1.468,37 m ²	Vorhaltemenge											
	Material	Fläche	Einsatz			Kosten neu	€/Einsatz&m ²			umgelegte Materialkosten		
			min	mittel	max		min	mittel	max	min	mittel	max
Passflächen	205,57 m ²	4	5	6	15,00 €/m ²	2,50 €/m ²	3, €/m ²	3,75 €/m ²	513,93 €	616,72 €	770,89 €	
Verschnitt (10%)	20,56 m ²	1	1	1	15,00 €/m ²	15,00 €/m ²	15 €/m ²	15 €/m ²	308,36 €	308,36 €	308,36 €	
Kleinteile, Schalöl, ...	15.000,00 m ²				0,31 €/m ²				4.650,00 €	4.650,00 €	4.650,00 €	
Summe									5.472,29 €	5.575,07 €	5.729,25 €	

In Tabelle 8.8 sind die Materialkosten zusammengestellt. Im Wesentlichen können dazu die Passflächen, der zugehörige Verschnitt, sowie eine Pauschale über Kleinteile oder ähnliches angeführt werden. Diese Kosten werden schließlich auf deren Einsatzanzahl umgelegt.

Tabelle 8.9 Entsorgungskosten der Systemschalung bei Taktfertigung

1.468,37 m ²	Vorhaltemenge								
	Gewicht Schalhaut	Gewicht	Entsorgung	umgelegte Entsorgungskosten			Material- & Entsorgungskosten		
				min	mittel	max	min	mittel	max
9,50 kg/m ²	1,953 t	255,00 €/t	83,00 €	99,60 €	124,50 €	596,93 €	716,31 €	895,39 €	
9,50 kg/m ²	0,195 t	255,00 €/t	49,80 €	49,80 €	49,80 €	358,16 €	358,16 €	358,16 €	
						4.650,00 €	4.650,00 €	4.650,00 €	
			132,80 €	149,40 €	174,30 €	5.605,09 €	5.724,47 €	5.903,55 €	

Zugehörig zu den Materialkosten, muss auch die Entsorgung, berücksichtigt durch Tabelle 8.9, in die Kalkulation mit aufgenommen werden.

Tabelle 8.10 Lohnkosten der Systemschalung bei Taktfertigung

15.000,00 m ²	Deckenschafffläche gesamt											
	Tätigkeit	Schafffläche	Aufwandswert			Lohnstunden			MLK	Lohnkosten		
			min	mittel	max	min	mittel	max		min	mittel	max
Schalung SKYDECK	13.950,00 m ²	0,27 Std/m ²	0,30 Std/m ²	0,33 Std/m ²	3.766,50 Std	4.185,00 Std	4.603,50 Std	35,00 €/Std	131.827,50 €	146.475,00 €	161.122,50 €	
Schalung Passflächen	1.050,00 m ²	0,90 Std/m ²	1,00 Std/m ²	1,10 Std/m ²	945,00 Std	1.050,00 Std	1.155,00 Std	35,00 €/Std	33.075,00 €	36.750,00 €	40.425,00 €	
Arbeitssicherheit	15.000,00 m ²	0,02 Std/m ²	0,02 Std/m ²	0,02 Std/m ²	270,00 Std	300,00 Std	330,00 Std	35,00 €/Std	9.450,00 €	10.500,00 €	11.550,00 €	
Randschalung	450,00 m ²	1,08 Std/m ²	1,20 Std/m ²	1,32 Std/m ²	486,00 Std	540,00 Std	594,00 Std	35,00 €/Std	17.010,00 €	18.900,00 €	20.790,00 €	
		0,3539	0,3932	0,4325					191.362,50 €	212.625,00 €	233.887,50 €	

Schließlich listet die Tabelle 8.10 die Lohnkosten auf, die primär von der gesamten Deckenschafffläche abhängig sind. Die Variation der Lohnkosten geschieht über die Annahme unterschiedlicher Aufwandswerte. Baupraktisch sei dabei erwähnt, dass sich aus den Rahmenbedingungen der täglichen Arbeitszeit, der Arbeitskräfteanzahl und der zur erbringenden Leistung die Aufwandswerte aus dem Controlling und der Nachkalkulation ergeben. So können auch diese Aufwandswerte, die aus einem vorangegangenen ähnlichen Projekt gewonnen wurden, auf diese konkrete Bauaufgabe angewandt werden. Dadurch können wiederum Vergleiche angestellt werden.

Gleichermaßen können des Weiteren auch die Kalkulationstabellen für die Trägerschalung dargestellt werden.

Tabelle 8.11 Einmalige Grundkosten zum Mieten der Trägerschalung bei Taktfertigung

Vorhaltemenge						
2.475,51 m ²	Material	Neupreis	Satz	Grundkosten	Kosten pro m ²	Kosten Gesamt
	Schalungselemente	26.751,4 €	5,00%	1.337,57 €	8,15 €/m ²	20.167,91 €
	Summe			1.337,57 €	8,15 €/m ²	20.167,91 €



MULTIFLEX Träger-Deckenschalung⁴⁰⁶

Im Vergleich zu Tabelle 8.5, die die Grundkosten der Systemschalung zeigt, entstehen, nach Tabelle 8.11 bei der Trägerschalung geringere Kosten.

Tabelle 8.12 Mietkosten der Trägerschalung bei Taktfertigung

Vorhaltemenge															
2.475,51 m ²	Material	Neupreis	Satz	Mietdauer			Mietkosten			Kosten pro Kalendertag			Mietkosten Gesamt		
				min	mittel	max	min	mittel	max	min	mittel	max	min	mittel	max
	Schalungselemente	26.751,40 €	5,00%	157 d	159 d	161 d	847,13 €	936,3 €	1.025,47 €	44,59 €/d	44,59 €/d	44,59 €/d	6.999,95 €	7.089,12 €	7.178,29 €
	Summe						847,13 €	936,30 €	1.025,47 €	44,59 €/d	44,59 €/d	44,59 €/d	6.999,95 €	7.089,12 €	7.178,29 €

Auch die Mietkosten der Trägerschalung wie Tabelle 8.12 zeigt, fallen wesentlich niedriger aus als bei der Systemschalung nach Tabelle 8.6, da der Gerätewert höher ist.

Tabelle 8.13 Transportkosten der Trägerschalung bei Taktfertigung

Vorhaltemenge														
2.475,51 m ²	Material	Gewicht			Kosten je Tonne	Transportkosten			Kosten pro m ²			Kosten Gesamt		
		min	mittel	max		min	mittel	max	min	mittel	max	min	mittel	max
	Schalungselemente	7.200,86 kg	7.579,85 kg	7.958,84 kg	25,00 €	360,04 €	378,99 €	397,94 €	2,19 €/m ²	2,31 €/m ²	2,42 €/m ²	5.428,74 €	5.714,46 €	6.000,18 €
	Schalhaut	1.493,62 kg	1.572,23 kg	1.650,84 kg	25,00 €	74,68 €	78,61 €	82,54 €	0,45 €/m ²	0,48 €/m ²	0,50 €/m ²	1.126,04 €	1.185,31 €	1.244,57 €
	Summe	8.694,48 kg	9.152,08 kg	9.609,68 kg		434,72 €	457,60 €	480,48 €	2,65 €/m ²	2,79 €/m ²	2,93 €/m ²	6.554,78 €	6.899,76 €	7.244,75 €

Bei den Transportkosten aus Tabelle 8.13, zeigt sich ein umgekehrtes Bild, da bei der Trägerschalung mehr Material und deshalb mehr, bzw. größere Transporte notwendig sind.

Tabelle 8.14 Materialkosten der Trägerschalung bei Taktfertigung

Vorhaltemenge												
2.475,51 m ²	Material	Fläche	Einsatz			Kosten neu	€/Einsatz&m ²			umgelegte Materialkosten		
			min	mittel	max		min	mittel	max	min	mittel	max
	Schalhaut	2.376,49 m ²	20	25	30	15,00 €/m ²	0,50 €/m ²	0,60 €/m ²	0,75 €/m ²	1.188,24 €	1.425,89 €	1.782,37 €
	Passflächen	99,02 m ²	5	6	7	15,00 €/m ²	2,14 €/m ²	2,50 €/m ²	3,00 €/m ²	212,19 €	247,55 €	297,06 €
	Verschnitt (10%)	9,90 m ²	1	1	1	15,00 €/m ²	15,00 €/m ²	15,00 €/m ²	15,00 €/m ²	148,53 €	148,53 €	148,53 €
	Kleinteile, Schalöl,...	15.000,00 m ²				0,31 €/m ²				4.650,00 €	4.650,00 €	4.650,00 €
	Summe									6.198,96 €	6.471,98 €	6.877,96 €

Bei den Materialkosten für die Trägerschalung aus Tabelle 8.14 zeigt sich, dass hier zusätzliche Kosten für die Schalhaut, d. h. für die Schaltafeln selbst hinzukommen und daraus mehr Kosten entstehen.

⁴⁰⁶ http://www.peri.de/ww/de/produkte.cfm/fuseaction/diashow/product_ID/46/app_id/4/imgpath/09_10_multiflex_titel2.jpg
m. Datum des Zugriffs: 08.03.2015

Tabelle 8.15 Entsorgungskosten der Trägerschalung bei Taktfertigung

Vorhaltenmenge									
2.475,51 m ²	Gewicht Schalhaut	Gewicht	Entsorgung	umgelegte Entsorgungskosten			Material- & Entsorgungskosten		
				min	mittel	max	min	mittel	max
	9,50 kg/m ²	22,577 t	255,00 €/t	191,90 €	230,28 €	287,85 €	1.380,15 €	1.656,18 €	2.070,22 €
9,50 kg/m ²	0,941 t	255,00 €/t	34,27 €	39,98 €	47,98 €	246,45 €	287,53 €	345,04 €	
9,50 kg/m ²	0,094 t	255,00 €/t	23,99 €	23,99 €	23,99 €	172,52 €	172,52 €	172,52 €	
			250,16 €	294,25 €	359,82 €	6.449,12 €	6.766,22 €	7.237,77 €	

Bei den Entsorgungskosten aus Tabelle 8.15 ergeben sich aufgrund des höheren Materialverbrauches auch höhere Entsorgungskosten.

Tabelle 8.16 Lohnkosten der Trägerschalung bei Taktfertigung

Deckenschallfläche gesamt												
15.000,00 m ²	Tätigkeit	Schallfläche	Aufwandswert			Arbeitsaufwand			MLK	Lohnkosten		
			min	mittel	max	min	mittel	max		min	mittel	max
	Schalung MULTIFLEX	14.400,00 m ²	0,41 Std/m ²	0,45 Std/m ²	0,50 Std/m ²	5.832,00 Std	6.480,00 Std	7.128,00 Std	35,00 €/Std	204.120,00 €	226.800,00 €	249.480,00 €
	Passflächen	600,00 m ²	0,81 Std/m ²	0,90 Std/m ²	0,99 Std/m ²	486,00 Std	540,00 Std	594,00 Std	35,00 €/Std	17.010,00 €	18.900,00 €	20.790,00 €
	Arbeitsicherheit	15.000,00 m ²	0,02 Std/m ²	0,02 Std/m ²	0,02 Std/m ²	270,00 Std	300,00 Std	330,00 Std	35,00 €/Std	9.450,00 €	10.500,00 €	11.550,00 €
	Randschalung	450,00 m ²	0,81 Std/m ²	0,90 Std/m ²	0,99 Std/m ²	364,50 Std	405,00 Std	445,50 Std	35,00 €/Std	12.757,50 €	14.175,00 €	15.592,50 €
	Summe		0,4500	0,5000	0,5500					243.337,50 €	270.375,00 €	297.412,50 €

Bei den Lohnkosten in Tabelle 8.16 zeigt sich, dass aufgrund des systembedingten höheren Aufwandswertes, auch die Kosten größer als bei der Systemschalung sind.

Tabelle 8.17 Zusammenstellung der Schalungskosten

Summe			Summe		
Systemschalung Skydeck			Trägerschalung Multiflex		
250.384,68 €	272.262,53 €	294.200,06 €	283.509,26 €	311.298,02 €	339.241,23 €

Aus diesen Darstellungen können nun die in Betracht gezogenen minimalen, mittleren und maximalen Kosten in Tabelle 8.17 zusammengefasst werden.

In einer gesamtheitlichen Betrachtung des Bauablaufes können die Schalkosten nicht isoliert betrachtet werden. Im vorliegenden Fall werden noch Produktivitätsverluste mit in den Vergleich aufgenommen. Im speziellen werden Verluste aus reduzierter Arbeitsfläche und erhöhter täglicher Arbeitszeit berücksichtigt. Dazu stellt zunächst die Tabelle 8.18 die Ausgangswerte aus Kapitel 7 dar.

Tabelle 8.18 Zusammenfassung der Arbeitskräfte je Schalsystem für Taktfertigung

Partie	AK [Std/h]	Leistung [m ² /d]	Tage [d]	MLK [€/Std]
Systemschalung 5er Partie	15	367,35	100	35
Systemschalung 6er Partie	18			
Trägerschalung 5er Partie	20	367,35	100	35
Trägerschalung 6er Partie	18			

Man erkennt, dass der Einsatz der Systemschalung einen geringeren Einsatz an Arbeitskräfte erfordert.

Tabelle 8.19 Produktivitätsverluste bei Taktfertigung der Systemschalung

Aufwandswert [Std/m ²]	min	mittel	max
	0,3539	0,3932	0,4325
Tägliche Arbeitszeit 5er Partie [h/d]	8,7	9,6	10,6
Tägliche Arbeitszeit 6er Partie [h/d]	7,2	8,0	8,8
Lohnstdverlust 5er Partie [Std/d]	0,42	2,49	6,30
Lohnstdverlust 6er Partie [Std/d]	0,00	0,00	0,77
Mehrkosten Arbeitszeit 5er Partie [€]	1.471,40	8.870,12	22.620,89
Mehrkosten Arbeitszeit 6er Partie [€]	0,00	2,41	2.718,25
Arbeitsfläche je AK 5er Partie [m ² /AK]	24,49		
Arbeitsfläche je AK 6er Partie [m ² /AK]	20,41		
Reduktion der Fläche 5er Partie [%]	33,81		
Reduktion der Fläche 6er Partie [%]	44,84		
AWerhöhung 5er Partie [%]	19,45		
AWerhöhung 6er Partie [%]	28,92		
Mehrkosten aus AFläche 5er Partie [€]	36.127,60	40.141,78	44.155,95
Mehrkosten aus AFläche 6er Partie [€]	53.725,80	59.695,33	65.664,86

Darauf aufbauend können die Produktivitätsverluste aus Tabelle 8.19 errechnet werden. Zur Berechnung dieser Ergebnisse sei hier auf die Gleichungen in Kapitel 7 verwiesen.

Tabelle 8.20 Produktivitätsverluste bei Taktfertigung der Trägerschalung

Aufwandswert [Std/m ²]	min	mittel	max
	0,4500	0,5000	0,5500
Tägliche Arbeitszeit 5er Partie [h/d]	8,3	9,2	10,1
Tägliche Arbeitszeit 6er Partie [h/d]	9,2	10,2	11,2
Lohnstdverlust 5er Partie [Std/d]	0,09	1,75	5,52
Lohnstdverlust 6er Partie [Std/d]	1,58	5,47	11,70
Mehrkosten Arbeitszeit 5er Partie [€]	310,92	6.240,88	19.829,95
Mehrkosten Arbeitszeit 6er Partie [€]	5.616,79	19.621,66	42.298,81
Arbeitsfläche je AK 5er Partie [m ² /AK]	18,37		
Arbeitsfläche je AK 6er Partie [m ² /AK]	20,41		
Reduktion der Fläche 5er Partie [%]	36,66		
Reduktion der Fläche 6er Partie [%]	29,63		
AWerhöhung 5er Partie [%]	21,76		
AWerhöhung 6er Partie [%]	16,23		
Mehrkosten aus AFläche 5er Partie [€]	51.405,18	57.116,87	62.828,56
Mehrkosten aus AFläche 6er Partie [€]	38.344,93	42.605,48	46.866,03

Aus den Tabellen 8.19 und 8.20 lässt sich die Tendenz ableiten, dass je größer der Aufwandswert ausfällt, desto höher sind auch die daraus folgenden Produktivitätsverluste.

Diese angeführten Tabellen stellen nun die Situation für den Fall dar, wenn man das Schalungsmaterial anmietet. Neben dem Mieten gibt es auch noch die Möglichkeit, das Schalungsmaterial zu kaufen. Zusätzlich

besteht des Weiteren die Option einen Mietkauf in Betracht zu ziehen, dieses Szenario wird hier aber nicht weiter betrachtet. Kauft man nun das Schalungsmaterial, so entfallen die Kostenelemente der einmaligen Grundkosten sowie die Mietkosten. Stattdessen muss man die Anschaffungskosten des Schalungsmaterials, also den Geräteneuwert, durch Abschreibungs- und Verzinsungs- sowie Reparatursätze, die nach Gleichung 8.1 ermittelt werden können, mit in die Kalkulation aufnehmen. So zeigen die Tabellen 8.21 und 8.22 die Ergebnisse.

Tabelle 8.21 Zusammenstellung der Daten zur Berechnung der Abschreibungs- und Verzinsungssätze für die Systemschalung bei Taktfertigung

Vorhaltemenge				
Material	min	mittel	max	
1.468,37 m ²	Neuwert Schalungselemente	505.001,81 €	505.001,81 €	505.001,81 €
	Neuwert Nachlaufunterstützung	140.103,77 €	140.103,77 €	140.103,77 €
	Anzahl der Einsätze	60	45	30
	Verzinsungssatz	7,00%	7,00%	7,00%
	Reparatursatz	5,00%	5,00%	5,00%
	Nutzungsdauer	20 Jahre	15 Jahre	10 Jahre
	Abschreibungs- und Verzinsungssatz	2,83%	3,39%	4,50%
	Summe	50.533,27 €	54.117,19 €	61.285,03 €

Die Tabelle 8.21 zeigt den Neuwert des Schalungsmaterials sowie die mögliche Anzahl an Einsätzen. Für dieses Beispiel gilt die Annahme, dass das Gerät – also das Material für die die Rahmen- und Stützelemente – maximal 60-mal bis minimal nur 30-mal eingesetzt werden können. Der Verzinsungssatz wird mit 7 % und der Reparatursatz mit 5 % angenommen. Als Nutzungsdauer werden maximal 20 und minimal 10 Jahre veranschlagt. Der Abschreibungs- und Verzinsungssatz ergibt sich nach Gleichung 8.1 zu:

$$k_{A+V} = \frac{100}{V} + \frac{2 \cdot p_{Verzins}}{2 \cdot V} \tag{8.1}$$

Die kalkulierten Summen ergeben sich schließlich aus dem Zinssatz von A+V und dem Reparatursatz von 5 %, multipliziert mit dem Geräteneuwert. Man erkennt, dass je öfter man das Gerät einsetzen kann, desto günstiger und konkurrenzfähiger sich die Kosten entwickeln.

Tabelle 8.22 Zusammenstellung der Daten zur Berechnung der Abschreibungs- und Verzinsungssätze für die Trägerschalung bei Taktfertigung

Vorhaltemenge				
Material	min	mittel	max	
2.475,51 m ²	Neuwert Schalungselemente	403.359,60 €	403.359,60 €	403.359,60 €
	Anzahl der Einsätze	60	45	30
	Verzinsungssatz	7,00%	7,00%	7,00%
	Reparatursatz	5,00%	5,00%	5,00%
	Nutzungsdauer	20 Jahre	15 Jahre	10 Jahre
	Abschreibungs- und Verzinsungssatz	2,83%	3,39%	4,50%
	Summe	31.596,50 €	33.837,39 €	38.319,16 €

Um die Übersichtlichkeit zu bewahren und um redundante Auflistungen vorzubeugen, werden die Tabellen für Fließfertigung hier nicht mehr angeführt. Sie folgen aber dem vorgeführten Schema für Taktfertigung nur mit unterschiedlichen Vorhaltemengen wie aus den Tabellen 8.3 und 8.4 zu entnehmen ist.

Aus diesen Tabellenwerken werden nun in PrecisionTree alle in Betracht kommenden Kosten durch die geschaffene Zweigstruktur aufgefächert.

8.3 Baummodell PrecisionTree

Dabei werden in jeder Baumebene, getrennt nach minimalen, mittleren und maximalen Werten, die Kosten aufgetrennt und können sogleich direkt mit subjektiven Zweigwahrscheinlichkeitsbewertungen belegt werden.

8.3.1 Entscheidungsbaumstruktur

Dazu zeigen die nachfolgenden Bilder 8.1 und 8.2 die, aufgrund der Übersichtlichkeit, teilweise reduzierte Baumstruktur mit den einzelnen Zweigen.

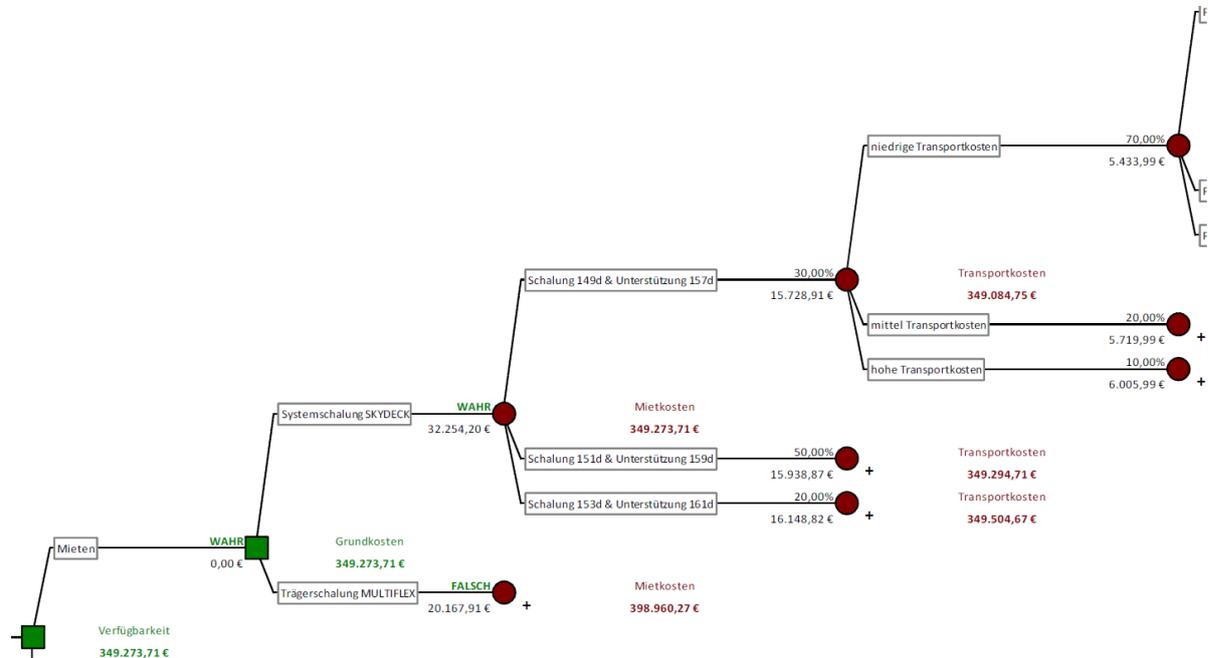


Bild 8.1 Entscheidungsbaumstruktur I für „Schalung mieten“ bei Taktfertigung

In Bild 8.1 wird ausgehend vom Entscheidungsknoten „Mieten“ der weitere Pfad der einzelnen Kostenelemente dargestellt. In der ersten Ebene teilt sich der Entscheidungsknoten auf in Träger- und Systemschalung. Von jedem Astende wachsen neue Ebenen weiter, wie bspw. die Miet-

kosten in Abhängigkeit der Vorhaltedauer. Die Wahrscheinlichkeitszuweisungen zeigen, dass die mittlere Vorhaltedauer mit 50 % als die wahrscheinlichste angenommen wird. In der weiteren Ebene werden die Transportkosten angeführt.

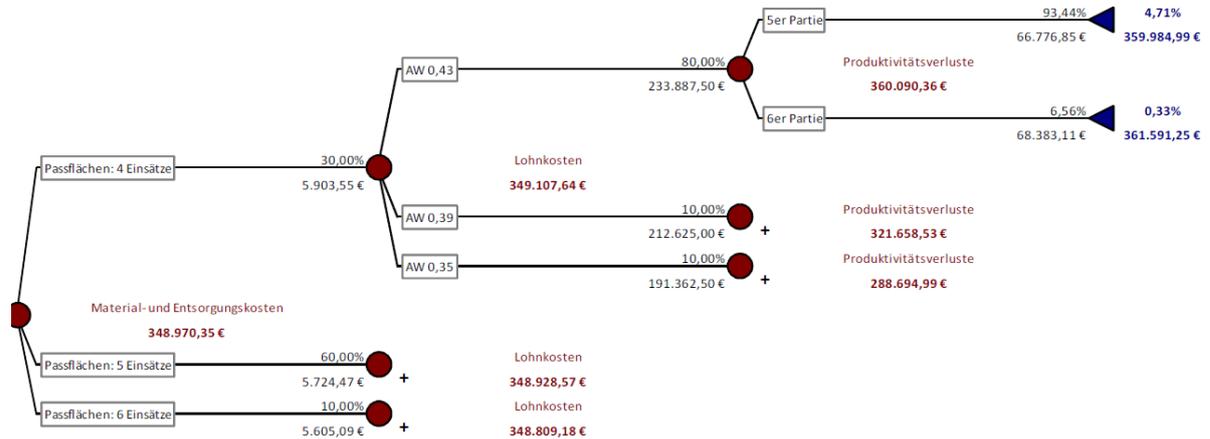


Bild 8.2 Entscheidungsbaumstruktur II für „Schalung mieten“ bei Taktfertigung

Das Bild 8.2 zeigt die Weiterführung des Baumes in Bild 8.1 und weist die Ebenen für die Materialkosten, die Lohnkosten und schließlich die Produktivitätsverluste aus. Die Wahrscheinlichkeiten bezeichnen bei den Lohnkosten, dass damit gerechnet wird, dass tendenziell mit höheren Kosten aufgrund etwaiger subjektiv bewerteter Einarbeitungseffekte gerechnet werden muss. Die Wahrscheinlichkeiten der Produktivitätsverluste können aus dem Kapitel 7, dargestellt in Bild 7.29, entnommen werden. Die Baumstruktur für Trägerschalung läuft gleich ab.

Demgegenüber kann in den Bildern 8.3 und 8.4 die Baumstruktur für „Schalung kaufen“ dargestellt werden.

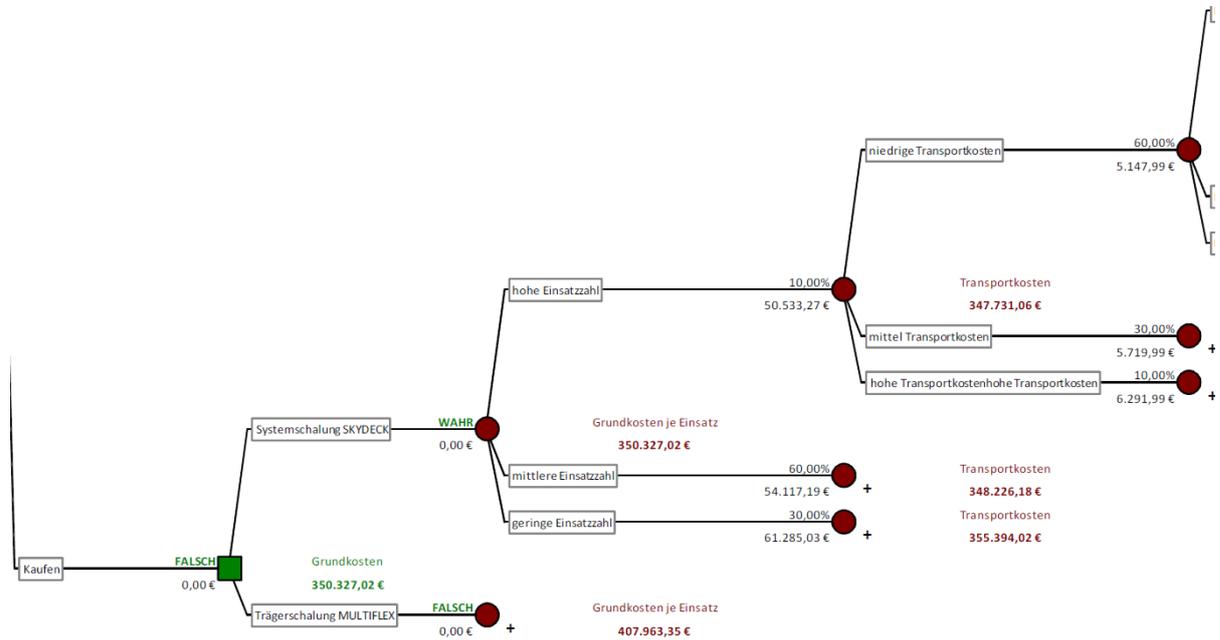


Bild 8.3 Entscheidungsbaumstruktur I für „Schalung kaufen“ bei Taktfertigung

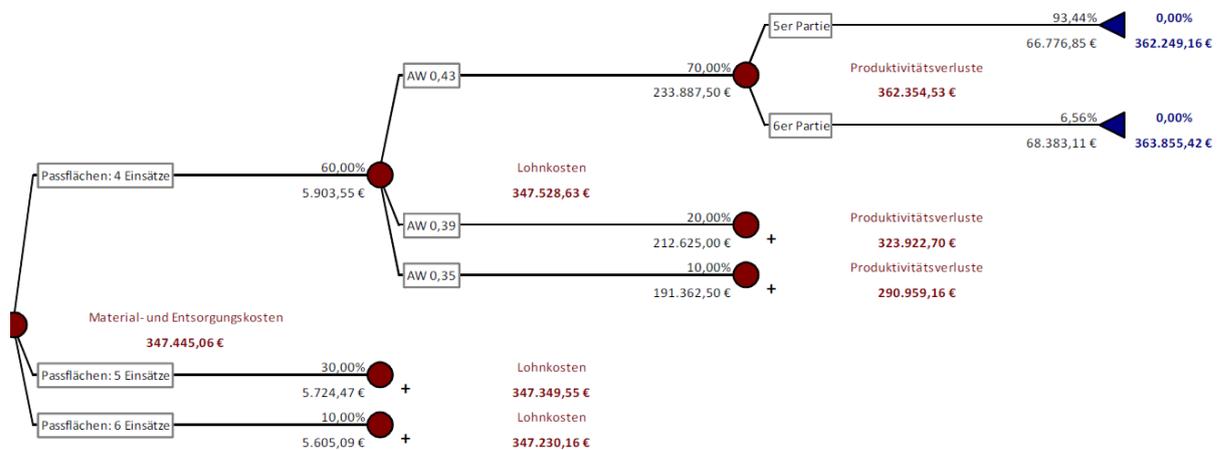


Bild 8.4 Entscheidungsbaumstruktur II für „Schalung kaufen“ bei Taktfertigung

Die Baumstrukturen in den Bildern 8.3 und 8.4 zeigen wiederum dasselbe Schema wie für die vorhin gezeigte Option „Schalung mieten“.

Schließlich lässt sich der aufgebaute Baum durch die Analyseinstrumente in PrecisionTree untersuchen.

8.3.2 Ergebnisdarstellung

Zunächst werden die Wahrscheinlichkeitsdiagramme für die Entscheidung mieten oder kaufen, und danach für die Entscheidung für das günstigste Schalsystem angeführt.

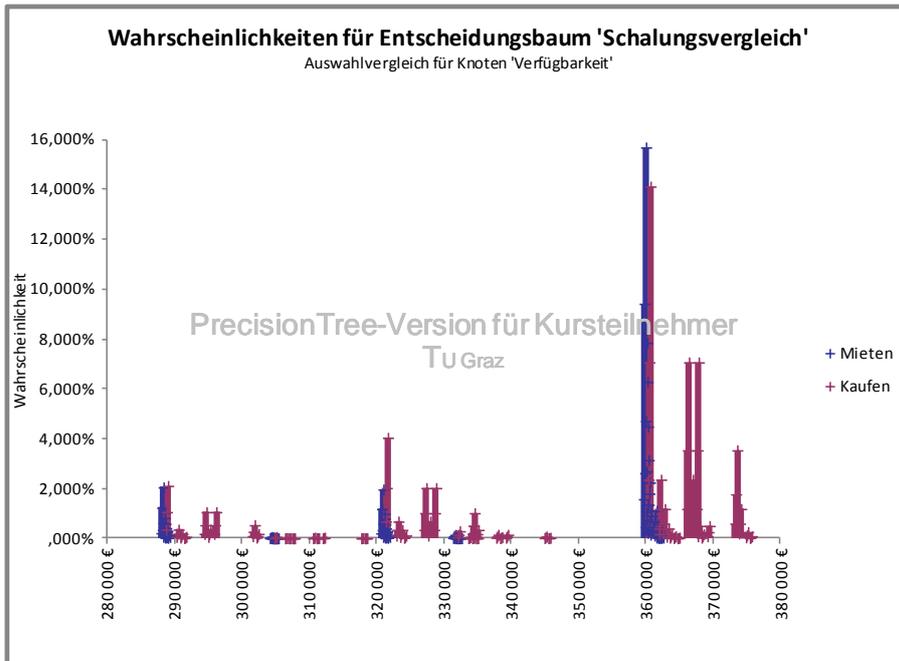


Bild 8.5 Wahrscheinlichkeitsdiagramm für mieten oder kaufen

Bild 8.5 zeigt nun alle Ablaufknotenwerte, dargestellt als einzelne Peaks, mit den zugehörigen Wahrscheinlichkeiten. Dabei fällt auf, dass die Werte in einer weiten Bandbreite schwanken, jedoch mit sehr geringen Wahrscheinlichkeiten auftreten. Die wahrscheinlichsten Werte, d.h. Summenwerte, sind eher höher angesiedelt.

Aus dem Wahrscheinlichkeitsdiagramm in Bild 8.5 kann eine Tabelle generiert werden, die aus den diskontinuierlichen Verteilungen in Bild 8.5 statistische Kennwerte anzeigt.

Tabelle 8.23 Statistische Übersicht bei Schalungsvergleich „mieten“ oder „kaufen“ bei Taktfertigung

Statistiken	Mieten	Kaufen
Mittelwert	349.273,71 €	350.327,02 €
Minimum	287.983,68 €	288.683,78 €
Maximum	362.583,17 €	375.751,18 €
Modus	360.015,87 €	360.685,09 €
Std. Abweichung	23.202,42 €	24.616,67 €
Schiefe	-1,8582	-1,2460
Wölbung	4,8831	3,2682

Diese Kennwerte werden in Tabelle 8.23 als Mittel-, Minimal-, Maximal-, und Modalwerte dargestellt. Aus diesen lässt sich wieder die Sicherheitsmarge zur Ermittlung der Schnittmenge beider Verteilungen, nach Tabelle 8.24, bilden.

Tabelle 8.24 Berechnung der Wahrscheinlichkeit der Fälle, in denen „Schalung kaufen“, der Variante „Schalung mieten“ vorzuziehen ist

Parameter	Verteilung bei mieten	Verteilung bei kaufen	Verteilung der Marge
μ [€]	349.273,71 €	350.327,02 €	1.053,31 €
σ [€]	23.202,42 €	24.616,67 €	33.827,99 €
Prozent der Fälle für "Schalung kaufen"			48,76%
Sicherheitsindex			0,03

Tabelle 8.24 stellt den Berechnungsprozess dar, dessen Ergebnis zeigt, dass in 48,76 % der Fälle der Schalungskauf dem Mieten vorzuziehen ist. Umgekehrt kann aber davon ausgegangen werden, dass in 51,24 % der Fälle, das Mieten der Schalung die niedrigeren Kosten verursacht und diese Variante dem Kauf vorzuziehen ist.

Bei der Betrachtung der Option mieten oder kaufen, kann darüber hinaus noch ein Summendiagramm erstellt werden, das die einzelnen Ablaufwerte vom minimalen bis zum maximalen mit der jeweiligen Wahrscheinlichkeit bis 100 % aufsummiert.

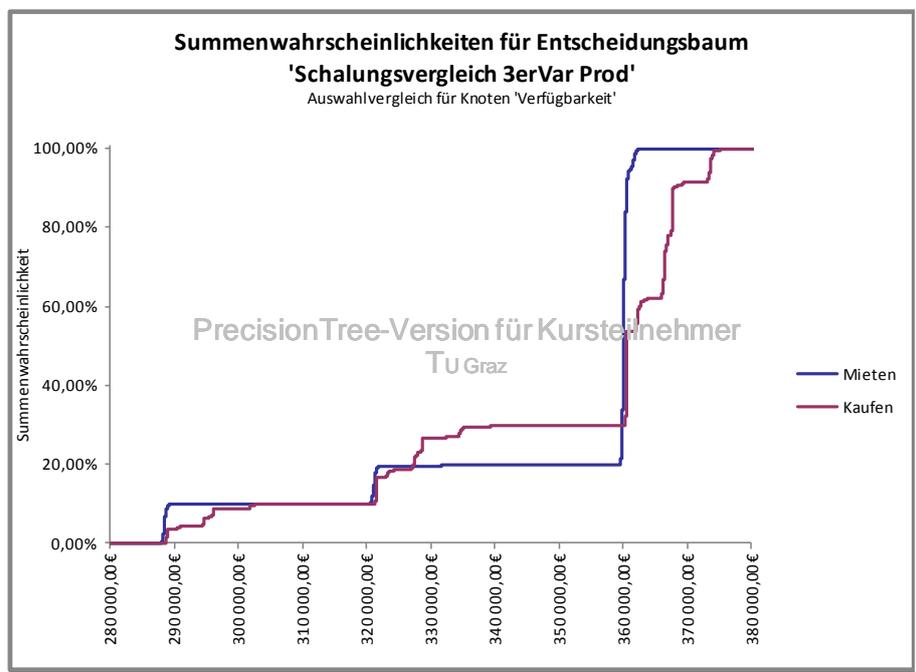


Bild 8.6 Summendiagramm für mieten oder kaufen

Dazu stellt Bild 8.6 das Diagramm dar und zeigt, dass sich unterschiedliche „Vorteilsbereiche“ bilden. So kann im Wertebereich von 290 000 € bis 300 000 € das Mieten als günstig angesehen werden. Im mittleren Be-

reich zeigt anfänglich das Mieten, in weiterer Folge aber das Kaufen eine günstigere Ausprägung. Dabei sei aber erwähnt, dass die Streuung bei der Variante des Kaufens wesentlich höher ist als beim Mieten und damit als unsicherer anzusehen ist. Im letzten Bereich zeigt sich eindeutig das Mieten als Vorteilhafter gegenüber dem Kauf. Dazu weist das Szenario „Kauf“, in allen Bereichen die größere Streuung, als Maß der Unsicherheit, auf. Die Ergebnisse bei „Kauf“, aus Bild 8.5, nehmen auch in jedem Bereich höhere Werte, als bei der Variante des Mietens, an.

Dieser Wechsel im mittleren Diagrammbereich lässt sich auf den Umstand zurückführen, dass in Bild 8.5 die Variante „Kauf“ im mittleren Bereich eine größere Wahrscheinlichkeit als die Variante „Miete“ aufweist.

Im nächsten Schritt können die Ergebnisse der Entscheidung für das jeweilige Schalsystem angeführt werden. Dazu sei erwähnt, dass von den Zweigen bei „Mieten“ und „Kaufen“, siehe dazu die Bilder 8.1 und 8.3, je zwei Äste für Trägerschalung und Systemschalung weiterlaufen und daher getrennt voneinander betrachtet werden müssen. In Bild 8.7 wird zunächst das Wahrscheinlichkeitsdiagramm des Pfades „Mieten“ angeführt und dabei die Varianten System- und Trägerschalung unterschieden. Es zeigt sich, dass der Einsatz der Systemschalung geringere Kosten als bei der Trägerschalung bewirkt.

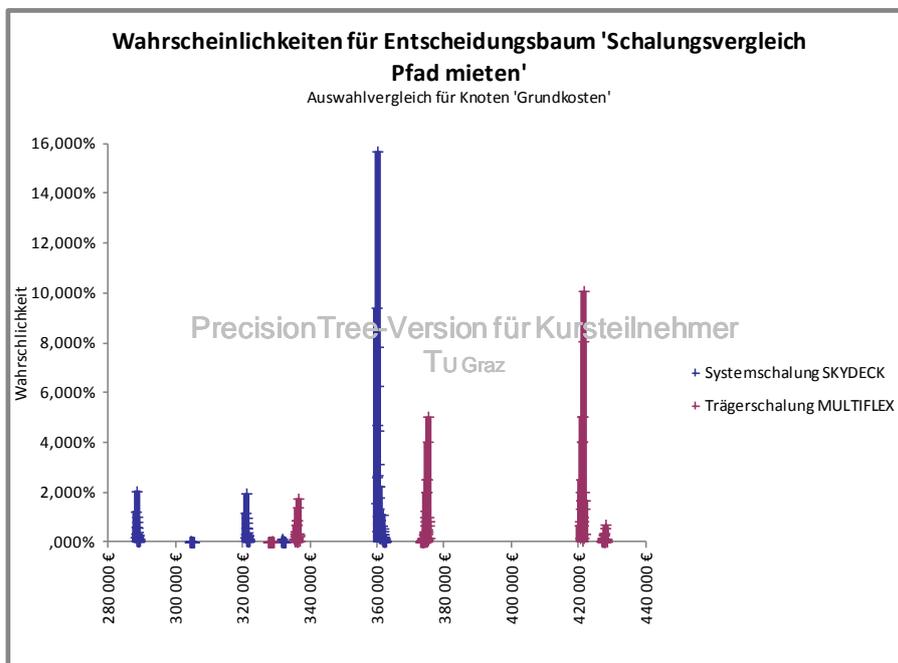


Bild 8.7 Wahrscheinlichkeitsdiagramm für System- oder Trägerschalung Pfad mieten

In Analogie zu vorhin kann in PrecisionTree eine statistische Übersicht erstellt werden. Dazu zeigt Tabelle 8.25 die Kennwerte der diskontinuierlichen Verteilung in Bild 8.7.

Tabelle 8.25 Statistische Übersicht bei Schalungsvergleich Träger- oder Systemschalung bei Taktfertigung; Pfad mieten

Statistiken	Systemschalung SKYDECK	Trägerschalung MULTIFLEX
Mittelwert	349.273,71 €	398.960,27 €
Minimum	287.983,68 €	327.470,98 €
Maximum	362.583,17 €	428.406,07 €
Modus	360.015,87 €	421.465,57 €
Std. Abweichung	23.202,42 €	29.698,71 €
Schiefe	-1,8582	-0,8504
Wölbung	4,8831	2,3761

Das Schalungssystem Skydeck weist nun den geringeren Mittelwert und die niedrigere Standardabweichung im Vergleich zur Trägerschalung auf. Auf Grundlage dieser Daten liegt die Entscheidung nahe, sich für die Systemschalung zu entscheiden. Aus dieser Datenansammlung lässt sich wiederum die Wahrscheinlichkeit in Tabelle 8.26, als entscheidenden Sicherheitsparameter errechnen.

Tabelle 8.26 Berechnung der Wahrscheinlichkeit der Fälle, in denen die Trägerschalung, der Variante Systemschalung vorzuziehen ist; Pfad mieten

Parameter	Verteilung Systemschalung	Verteilung Trägerschalung	Verteilung der Marge
μ [€]	349.273,71 €	398.960,27 €	49.686,55 €
σ [€]	23.202,42 €	29.698,71 €	37.687,74 €
Prozent der Fälle für Trägerschalung			9,37%
Sicherheitsindex			1,32

Die Tabelle 8.26 zeigt, dass die Wahrscheinlichkeit, dass die Trägerschalung günstiger ist als die Systemschalung lediglich bei 9,37 % liegt. Im Gegensatz dazu kann aber mit einer Wahrscheinlichkeit von 90,63 % der Einsatz der Systemschalung als vorteilhafter angesehen werden.

Vervollständigend kann noch das zugehörige Summendiagramm in Bild 8.8 angeführt werden.

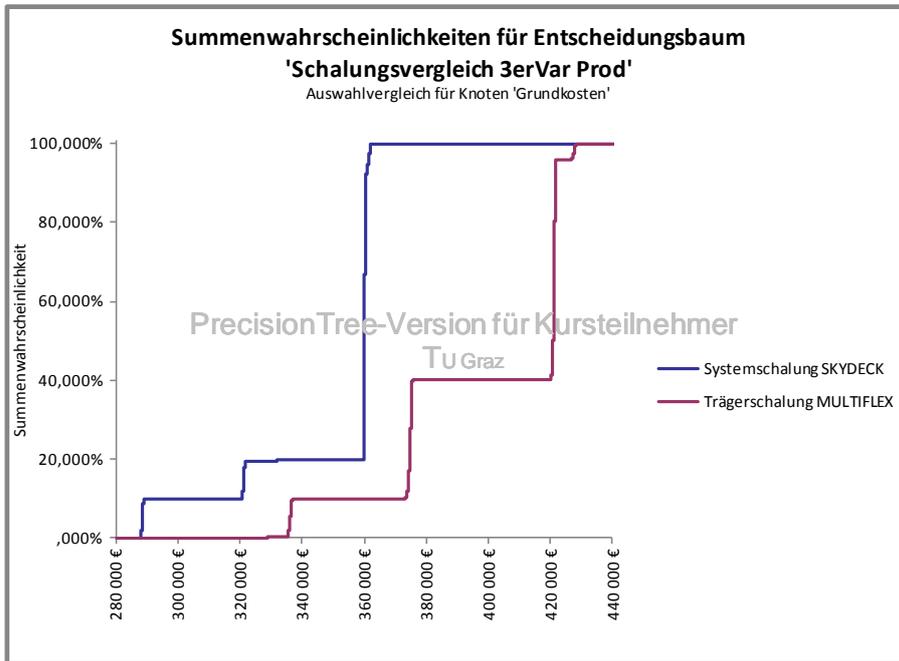


Bild 8.8 Summendiagramm für System- oder Trägerschalung Pfad mieten

Das Summendiagramm in Bild 8.8 zeigt, dass in allen Kostenbereichen die Systemschalung der Trägerschalung vorzuziehen ist.

In Bild 8.9 wird schließlich das Wahrscheinlichkeitsdiagramm für den Pfad „Schalung kaufen“ angeführt.

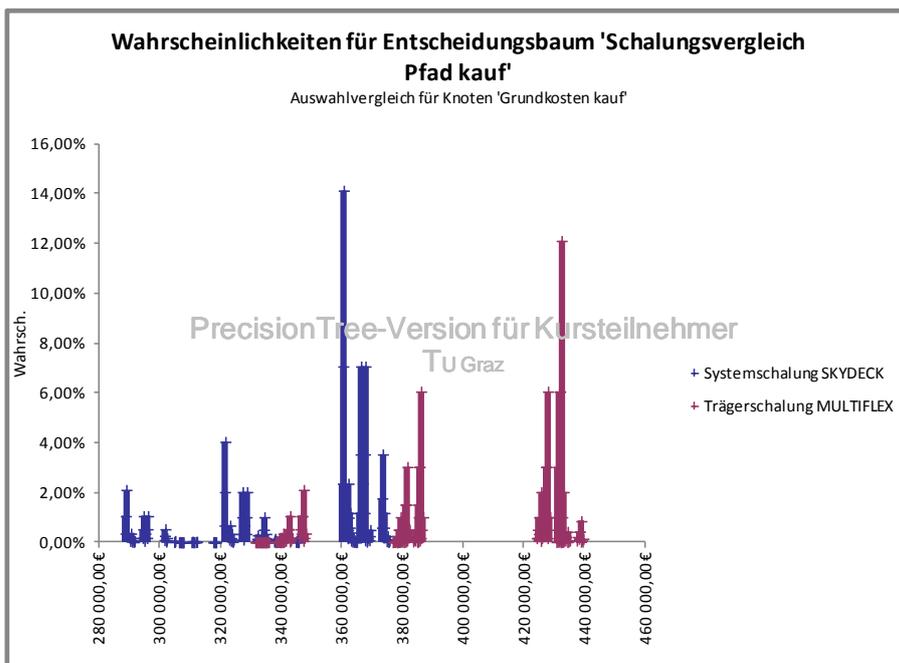


Bild 8.9 Wahrscheinlichkeitsdiagramm für System- oder Trägerschalung Pfad kaufen

Bild 8.9 zeigt, dass auch beim Pfad „Schalung kaufen“ die Systemschalung als günstigere Variante hervorgeht. Im Vergleich zu Bild 8.7 fällt aber auf, dass die Kostenbereiche eine wesentlich höhere Streuung und damit Unsicherheit aufweisen als beim Pfad „Schalung mieten“. Diese Unsicherheit rührt aus den fixen Kosten der Abschreibungs- und Verzinskalkulation, die wesentlich von der Anzahl der Einsätze abhängen, aber schwer vorherzusehen bzw. zu fassen sind.

In Verbindung zu Bild 8.9 können wieder die Kennwerte in Tabelle 8.27 angeführt werden.

Tabelle 8.27 Statistische Übersicht bei Schalungsvergleich Träger- oder Systemschalung bei Taktfertigung; Pfad kaufen

Statistiken	Systemschalung SKYDECK	Trägerschalung MULTIFLEX
Mittelwert	350.327,02 €	407.963,35 €
Minimum	288.683,78 €	331.554,63 €
Maximum	375.751,18 €	439.724,01 €
Modus	360.685,09 €	432.527,70 €
Std. Abweichung	24.616,67 €	29.809,67 €
Schiefe	-1,2460	-0,8413
Wölbung	3,2682	2,3853

Tabelle 8.27 zeigt, dass auch beim Pfad „Schalung kaufen“ die Systemschalung den niedrigeren Mittelwert und die geringere Standardabweichung aufweist und damit als bessere Wahl hervorgeht.

Tabelle 8.28 Berechnung der Wahrscheinlichkeit der Fälle, in denen die Trägerschalung, der Variante Systemschalung vorzuziehen ist; Pfad kaufen

Parameter	Verteilung Systemschalung	Verteilung Trägerschalung	Verteilung der Marge
μ [€]	350.327,02 €	407.963,35 €	57.636,33 €
σ [€]	24.616,67 €	29.809,67 €	38.660,02 €
Prozent der Fälle für Trägerschalung			6,80%
Sicherheitsindex			1,49

In der Tabelle 8.28 kann wieder die Wahrscheinlichkeit, der Fälle bestimmt werden, in denen ein Schalungssystem dem jeweilig anderem vorzuziehen ist. Im gegenständlichen Fall kann die Wahrscheinlichkeit, dass die Systemschalung zu geringeren Kosten führt zu 93,2 % angegeben werden.

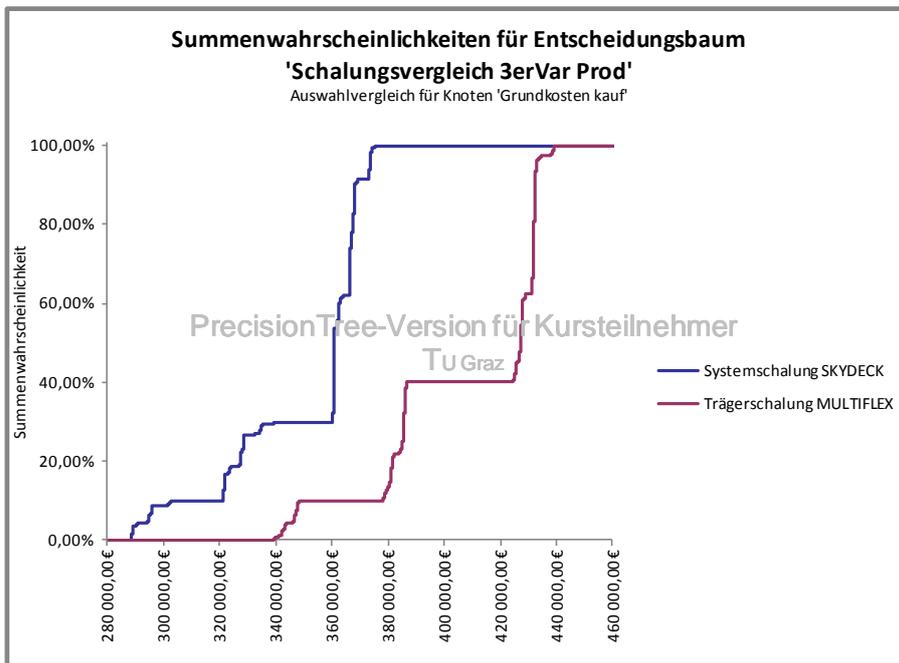


Bild 8.10 Summendiagramm für System- oder Trägerschalung Pfad mieten

Abschließend kann noch das Summendiagramm in Bild 8.10 angeführt werden.

8.4 Baummodell @Risk

Die oben angeführten Ergebnisse basieren ausschließlich auf Eingangswerte, die durch die deterministische Anwendung der PrecisionTree-Analyseinstrumente ausgewertet wurden. Es gibt aber auch die Möglichkeit, wie in Kapitel 6 ausführlich erklärt, die beiden Softwarekomponenten PrecisionTree und @Risk miteinander zu verbinden, um daraus eine umfassendere Analyse durchführen zu können. Ziel ist die Überführung der deterministischen, in eine stochastische Betrachtungsweise. Daraus können auch aus einer diskontinuierlichen Verteilung, wie es PrecisionTree zeigt, kontinuierliche Histogramme entwickelt werden.

8.4.1 Zuweisung der Verteilungen

Dazu werden an den Zufallsknoten sämtliche Zweige, auf einen Pfad reduziert und dieser mit einer Dreiecksverteilung durch minimale, erwartete und maximale Werte, wie es die folgenden Bilder zeigen, belegt. Der mittlere Wert stellt damit den wahrscheinlichsten und die minimalen bzw. maximalen die unwahrscheinlichsten, so wie sie aus den Tabellen 8.6 fortlaufend entnommen werden können, dar.

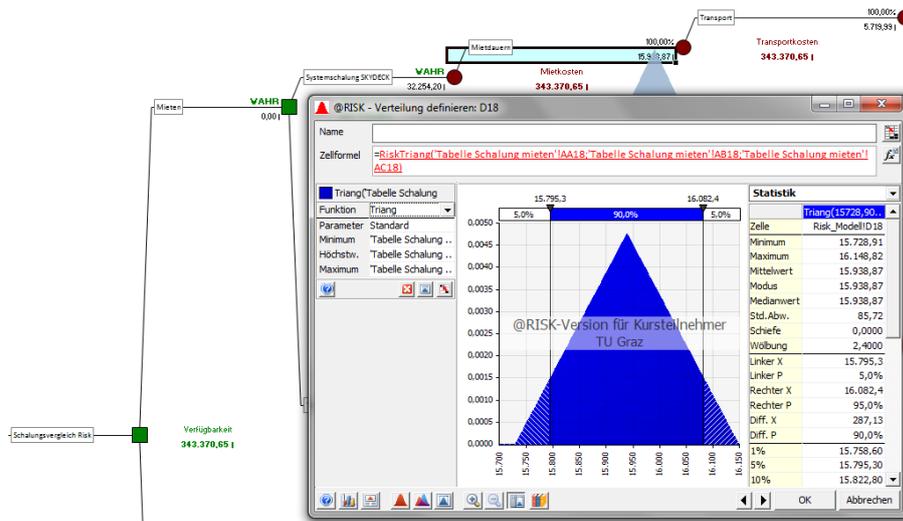


Bild 8.11 Dreiecksverteilung für die Mietkosten

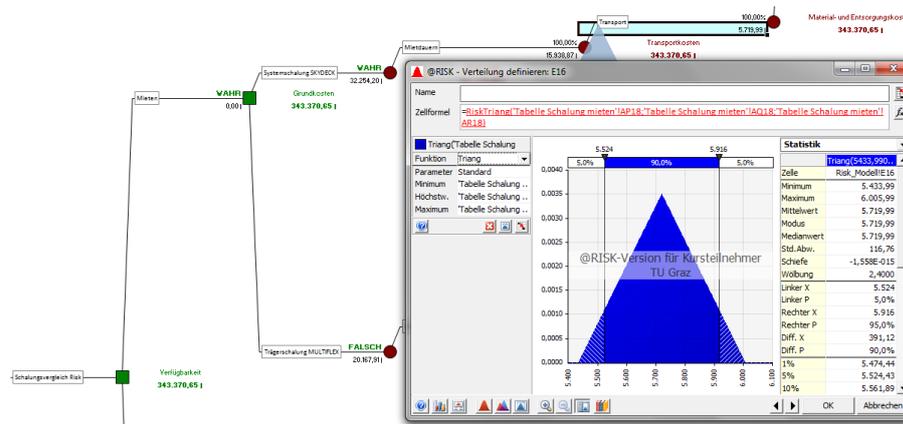


Bild 8.12 Dreiecksverteilung für die Transportkosten

Aus den Bildern 8.11 und 8.12 erkennt man aus der Symmetrie, dass für die Verteilungen der Mittelwert als erwarteter Wert gewählt wurde.

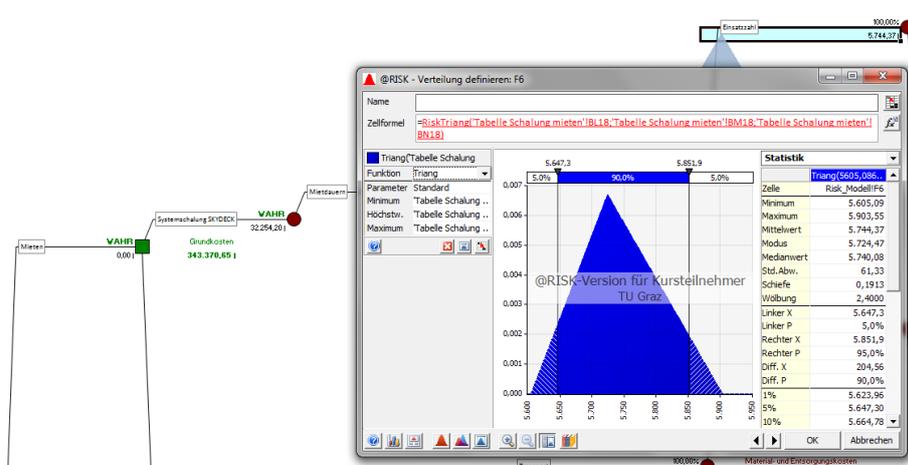


Bild 8.13 Dreiecksverteilung für die Material- und Entsorgungskosten

Bild 8.13 zeigt eine etwas schiefe Verteilung.

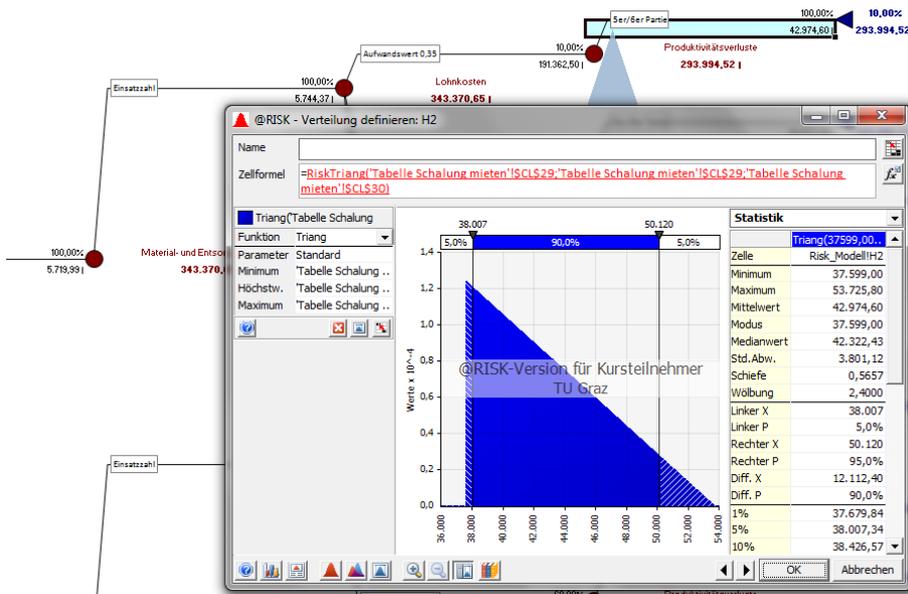


Bild 8.14 Dreiecksverteilung für die Produktivitätsverluste für einen niedrigen Aufwandswert

Das Bild 8.14 stellt die Verteilung für die Produktivitätsverluste, in Abhängigkeit des jeweiligen Aufwandswertes dar. Diesen selbst wurden keine Verteilungen zugewiesen, sie bleiben daher aufgefächert in der Baumstruktur, da die weiteren Produktivitätsverluste genau aus je einem speziellen Aufwandswert entstehen. Dies bedeutet, dass eine direkte Abhängigkeit eines Aufwandswertes auf die daraus entstehenden Produktivitätsverluste besteht. Die Produktivitätsverluste selbst entstehen wiederum aus der Variation der Anzahl der Arbeitskräfte.

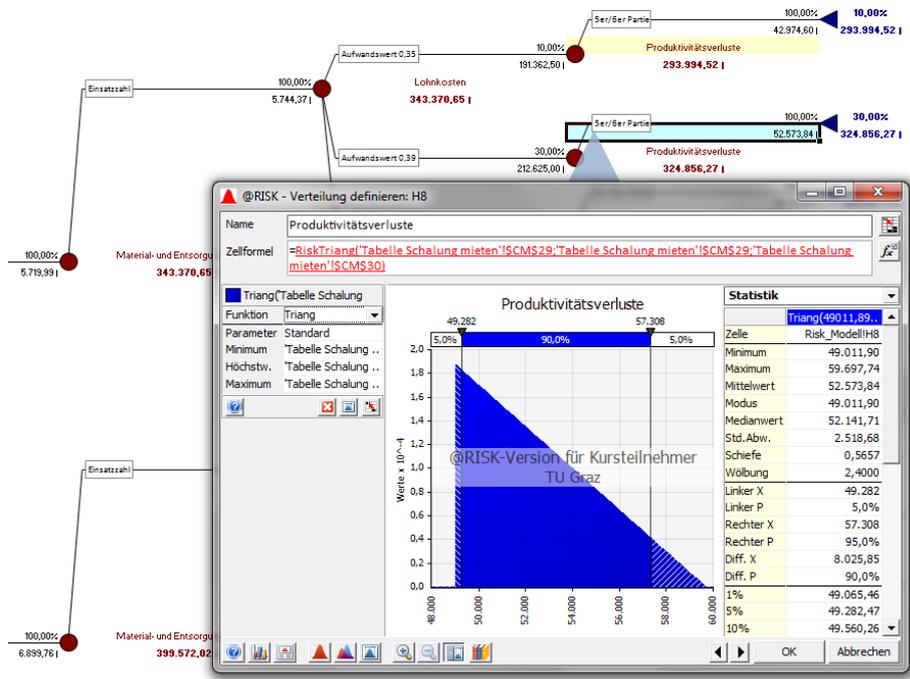


Bild 8.15 Dreiecksverteilung für die Produktivitätsverluste für einen mittleren Aufwandswert

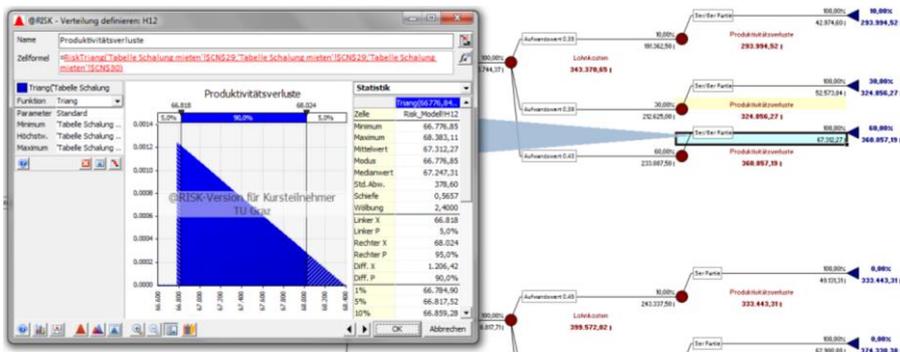


Bild 8.16 Dreiecksverteilung für die Produktivitätsverluste für einen hohen Aufwandswert

Die Bilder 8.14 bis 8.16 zeigen die Dreiecksverteilungen, in Abhängigkeit der jeweiligen Aufwandswerte, die nach deren Häufigkeit mit einer subjektiven Wahrscheinlichkeit im Baummodell gewichtet wurden.

Mit dieser Versuchsanordnung und mit der Modelleinstellung in PrecisionTree, nach Bild 8.17, wird nun eine @Risk-Simulation gestartet. Die allgemeinen Erläuterungen zu Bild 8.17 können aus dem Kapitel 6 entnommen werden.

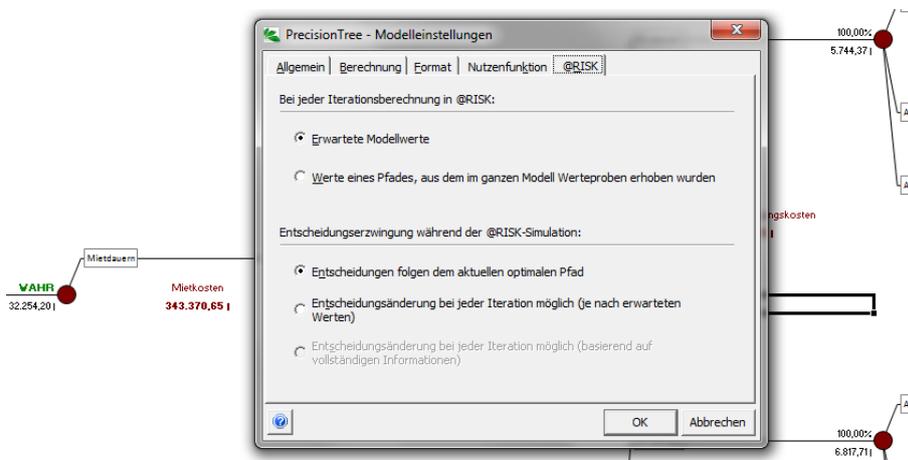


Bild 8.17 PrecisionTree-Einstellung zur @Risk-Simulation

Bild 8.17 zeigt die Einstellung in PrecisionTree, wo die Option erwartete Modellwerte gewählt wird, was bedeutet, dass aus den vorhin definierten Verteilungen, Werteproben erhoben werden und mit diesen der gesamte Baum neu durchgerechnet wird um daraus neue Erwartungswerte zu errechnen. Diese Werte können schlussendlich als kontinuierliche Histogramme, dargestellt in den weiteren Bildern, ausgegeben werden.

8.4.2 Auswertung der Ergebnisse

Als Ergebnisoutputs werden die Erwartungswerte der ersten Ebene gewählt.

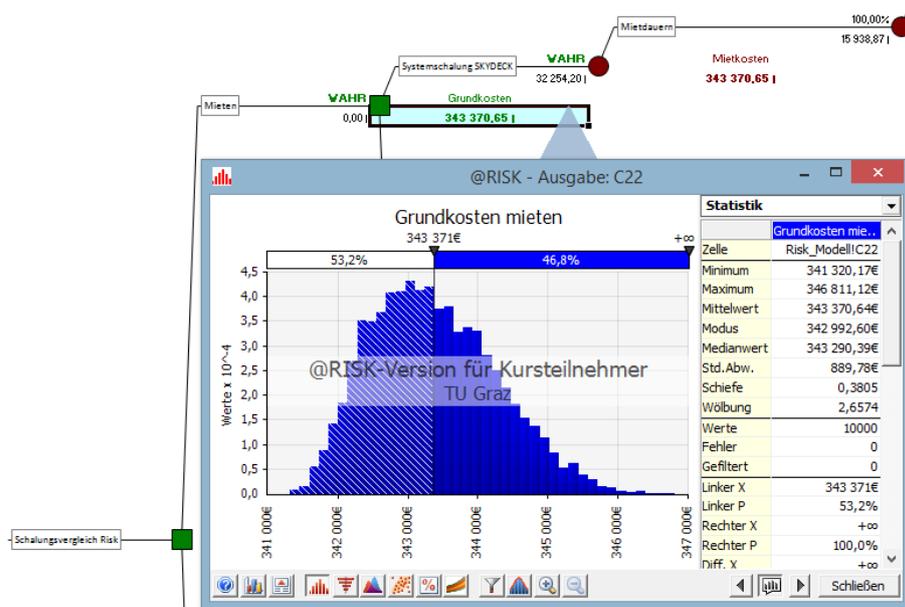


Bild 8.18 @Risk-Diagramm der Erwartungswerte für „Schalung mieten“

Bild 8.18 zeigt, dass die Erwartungswerte in einer geringen Bandbreite auftreten. Dies kann zudem noch durch die niedrige Standardabweichung untermauert werden. In Bild 8.18 wurde auch der Erwartungswert aus der reinen PrecisionTree-Betrachtung eingetragen, der zeigt, dass dieser zu rund 53 % unterschritten und zu rund 47 % überschritten wird. Durch den Einsatz von @Risk können nun kontinuierliche Histogramme entwickelt werden, durch die ein bestimmtes Sicherheitsniveau, als Entscheidungsgrundlage für einen bestimmten Wert, festgemacht werden kann. Wählt man bspw. aus Bild 8.19 einen niedrigeren Wert als den Erwartungswert, so besteht ein größeres Risiko, dass höhere Kosten auftreten. Umgekehrt dazu kann bei der Wahl eines höheren Wertes eine größere Chance der Unterschreitung desselben ausgemacht werden.

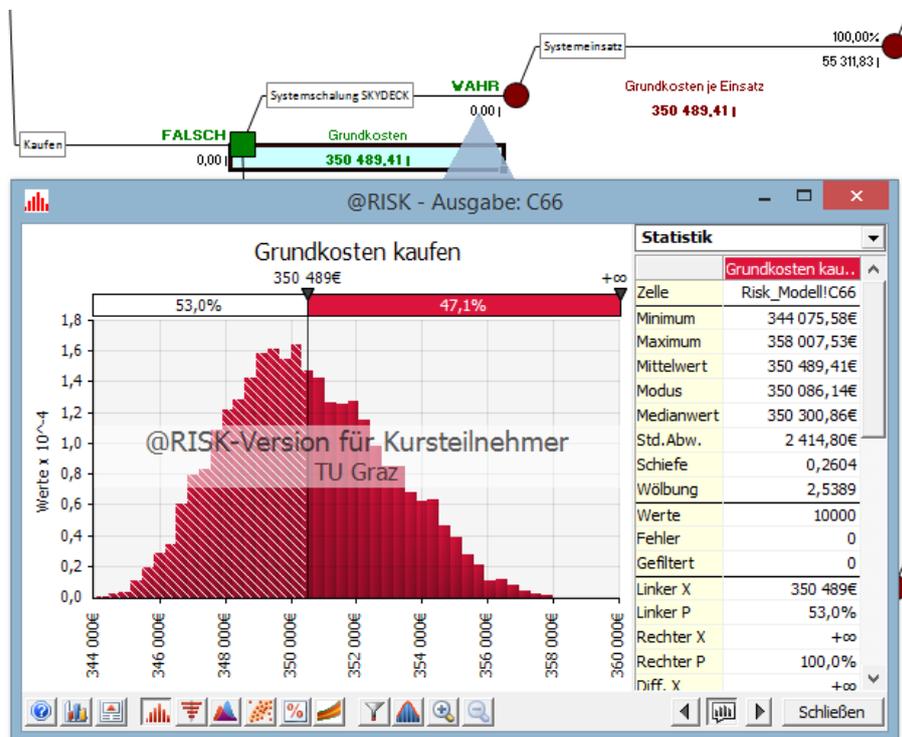


Bild 8.19 @Risk-Diagramm der Erwartungswerte für „Schalung kaufen“

Aus Bild 8.19 kann man dieselbe Tendenz ablesen. Schließlich können die beiden Histogramme in Bild 8.20 übereinander gelegt werden, um etwaige gegenseitige Überschneidungen ausmachen zu können.

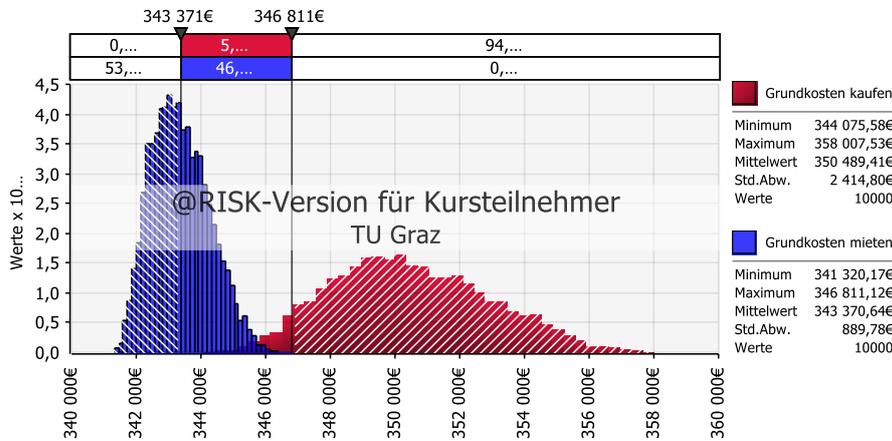


Bild 8.20 @Risk-Diagramm der Erwartungswerte übereinandergelegt

Bild 8.20 stellt nun die Histogramme für den Fall „Schalung mieten“ und „Schalung kaufen“ gegenüber. Auf den ersten Blick erkennt man, dass die Kosten für „Schalung kaufen“ eine sehr große Standardabweichung im Bezug auf „Schalung mieten“ aufweist. Vergleicht man nun das Ergebnis des Wahrscheinlichkeitsdiagramms aus Bild 8.5 mit jenem aus Bild 8.20, so erkennt man zwei unterschiedliche Resultate. Beide Zugänge sollten als Hilfe bzw. als Entscheidungsvorbereitung dienen. Aus dem Wahrscheinlichkeitsdiagramm in Bild 8.5 werden die Werte der Ablaufknoten, also die tatsächlich anfallenden Kosten, mit der jeweiligen Wahrscheinlichkeit dargestellt. Aus der Berechnung der Wahrscheinlichkeiten in der Tabelle 8.24 kann eine knappe 50 zu 50 Chance, bzw. Risiko errechnet werden. Hingegen stellt der Erwartungswert einen gewichteten Mittelwert aller in Betracht gezogenen Werte dar.

Hiermit soll gezeigt werden, dass der Erwartungswert, als Entscheidungshilfe, nicht so einfach als triviales Entscheidungsinstrument herangezogen werden kann. Es gilt dabei, diesen ständig zu hinterfragen und auf dessen Folgerichtigkeit zu überprüfen.

Tabelle 8.29 Berechnung der Wahrscheinlichkeit der Fälle, in denen „Schalung kaufen“, der Variante „Schalung mieten“ vorzuziehen ist

Parameter	Verteilung Schalung mieten	Verteilung Schalung kaufen	Verteilung der Marge
μ [€]	343 370,64 €	350 489,41 €	7 118,77 €
σ [€]	889,78 €	2 414,80 €	2 573,51 €
Prozent der Fälle für "Schalung kaufen"			0,28%
Sicherheitsindex			2,77

Analog zu Tabelle 8.24 kann in Tabelle 8.29 eine neue Wahrscheinlichkeit für die Entscheidung „Schalung mieten“ auf Grundlage des Erwartungswertes errechnet werden. Demnach kann die Wahrscheinlichkeit, für das Mieten der Schalung mit 99,72 % angegeben werden.

Zur Vervollständigung der Ergebnisse werden noch die Histogramme für den Pfad „Schalung mieten“, angeführt.

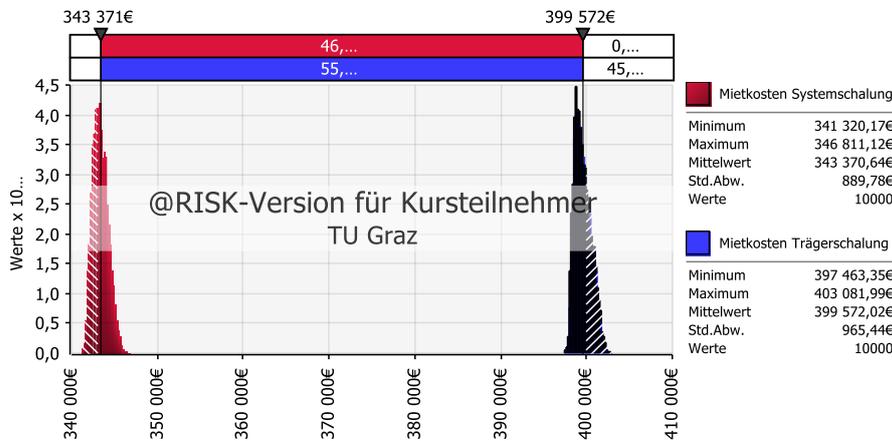


Bild 8.21 Gegenüberstellung der Histogramme der Trägerschalung und der Systemschalung bei Entscheidungspfad „Schalung mieten“

Bild 8.21 zeigt nun, dass die Systemschalung auf Grundlage des Erwartungswertes der Trägerschalung vorzuziehen ist.

8.5 Resümee

Zusammenfassend kann die Anwendung von PrecisionTree als Entscheidungsvorbereitung durchaus als hilfreich angesehen werden. Allein durch die Entwicklung von verschiedenen Szenarien ist der Entscheider gezwungen, sich mit dem Entscheidungsproblem näher auseinanderzusetzen. Durch die Anwendung des Entscheidungsbaumes selbst können Handlungsalternativen aufgefächert und analysiert werden. Zudem können, durch die Ablaufchronologie des Baumes, Abhängigkeiten unter den Entscheidungsebenen graphisch dargestellt und versinnbildlicht werden. Das Berechnungsschema, das hinter dem Entscheidungsbaum steckt, ist jedoch sehr simpel. Dabei sei noch einmal darauf hingewiesen, dass die Gründung einer Entscheidung auf Basis des Erwartungswertes, in der Baubranche wenig Aussagekraft besitzt, da sich dieser erst bei unendlich vielen Wiederholungen eines Zufallsexperimentes (Bauprojekt) zum Mittelwert hin entwickelt, ein Bauprojekt aber immer als ein einmaliges Vorhaben charakterisiert ist. Beim Erwartungswert wird davon ausgegangen, dass es sich bei einem Entscheidungsproblem um ein sich wiederholendes handelt, wohingegen Einmalentscheidungen durch den Erwartungswert nicht hinreichend berücksichtigt werden können.⁴⁰⁷ Die Verwendung solcher „Einzelzahlschätzungen“ in PrecisionTree, setzt das Antizipieren von zukünftigen Ereignissen voraus, wodurch

⁴⁰⁷ Vgl. MOUSSA, M.; RUWANPURA, Y. Y.; JERGEAS, G.: Decision Tree Module within decision support Simulation System. S. 2

aber noch keine Informationen über die mögliche Bandbreite dieser Ergebnisse, mit den damit verbundenen Wahrscheinlichkeiten, gewonnen werden können.⁴⁰⁸

Mit der Kombination der Add-ins PrecisionTree und @Risk, kann das deterministische Baummodell in ein stochastisches übergeführt werden. Die Zweigwerte können somit mit Verteilungen belegt werden, wodurch sich ein Mehrwert im Hinblick auf die veranschaulichte Darstellung von Risiken und Chancen in einem kontinuierlichen Histogramm ergibt. Bei der Anwendung von Verteilungsfunktionen sei besonders auf die Auswahl derselben hingewiesen, da diese für die probabilistische Betrachtung von entscheidender Bedeutung ist.⁴⁰⁹ Im Zuge der Forschungstätigkeiten von Hofstadler, wurde deshalb eine Expertenbefragung zur Bestimmung einer allgemein gültigen Verteilungsfunktion für Aufwandswerte bei Deckenschararbeiten vorgenommen.⁴¹⁰ Die Ergebnisse aus der Befragung wurden statistisch ausgewertet und an eine Verteilungsfunktion angepasst, woraus sich die LogLogistik-Verteilung als die treffendste erwies.

Das letzte Kapitel fasst noch einmal die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zusammen und gibt einen Ausblick auf weitere Anwendungen.

⁴⁰⁸ Vgl. MOUSSA, M.; RUWANPURA, Y. Y.; JERGEAS, G.: Decision Tree Module within decision support Simulation System. S. 2

⁴⁰⁹ Vgl. HOFSTADLER, C.: Monte-Carlo-Simulation im Baubetrieb - Verteilungsfunktion für Aufwandswerte bei Schararbeiten. In: Bauingenieur, Band 89/Mai 2014. S. 192

⁴¹⁰ Vgl. HOFSTADLER, C.: Monte-Carlo-Simulation im Baubetrieb - Verteilungsfunktion für Aufwandswerte bei Schararbeiten. In: Bauingenieur, Band 89/Mai 2014. S. 193

9 Zusammenfassung und Ausblick

Mit dieser Arbeit wurde das Ziel verfolgt, neue Blickwinkel für Entscheidungssituationen unter Unsicherheit – tägliche Problemstellung in der Bauwirtschaft – zu schaffen. Mit den vorangestellten Ausführungen soll ein zusätzliches Rüstzeug zur Beurteilung unsicherer Entscheidungssituationen geschaffen werden. Nichtsdestotrotz müssen die vielen subjektiven Eingaben mit Bedacht behandelt und ausgewählt werden, da sie schließlich auch die Entscheidung in eine bestimmte Richtung lenken können.

9.1 Vor- und Nachteile der Entscheidungsbaumtheorie

Der Einsatz der Entscheidungsbaumtheorie bei Entscheidungssituationen unter Unsicherheit, kann ein probates Mittel sein, um einerseits Zusammenhänge von Handlungsvarianten darzustellen und um andererseits diese Alternativen durch Wahrscheinlichkeitsurteile zu bewerten. Im Wesentlichen erfordert der Einsatz der Entscheidungsbaumtheorie ein breites Verständnis über den betrachteten Sachverhalt, da die Vorgehensweise „Vom Groben ins Detail“ unter ständiger Bedachtnahme der Szenarienbildung geschehen soll. Bereits bei der Bildung des Rechenmodells ist es von essentieller Bedeutung, sich von den Zielvorstellungen des Ergebnisses im Klaren zu sein, um das Modell zielgerichtet und damit effektiv aufbauen zu können. Das Modell selbst kann als eine Art Hypothese fungieren, in dem vielfältige Annahmen eintreten und im Baum separiert vorkommen können. Die Bildung und damit das Denken in Varianten stellt eine wesentliche Grundlage für das Kreieren von neuen, vielleicht zuvor noch unbeachteten Lösungen eines Entscheidungsproblems dar, welches der Entscheidungsbaum durch seine Strukturierung unterstützt.

Als weiteren Vorteil des Entscheidungsbaumes kann die Anfertigung von Unterbäumen genannt werden, die eine untergeordnete, separate Entscheidungsproblematik, losgelöst von der übergeordneten, behandelt. In diesen Unterbäumen können wiederum Optimierungen, betreffend der Ermittlung der besten Handlungsalternative, vorangetrieben werden. Die Entscheidungsbaumdarstellung wird als ein geeignetes Werkzeug angesehen, um die Wahrscheinlichkeit, sowie die Folgen von Entscheidungen darzustellen.⁴¹¹

Das Prinzip des Entscheidungsbaumes basiert auf der Entscheidungsregel des Erwartungswertes, der aber von vielen Wissenschaftlern nur für

⁴¹¹ Vgl. MOUSSA, M.; RUWANPURA, J.; JERGEAS, G.: Decision Tree Modeling Using Integrated Multilevel Stochastic Networks. S. 1254

sich statistisch wiederholende Entscheidungen und nicht für Einmalentscheidungen, wie es im Baugewerbe der Fall ist, als anwendbar angesehen wird.⁴¹² Hinzu kommt, dass durch die Analyseinstrumente in PrecisionTree, diskontinuierliche Wahrscheinlichkeitsdiagramme erstellt werden können, welche nur eine Aussage über eine bestimmte Ausprägung eines Ereignisses zulassen und alle weiteren Ergebnisse, die dazwischen liegen nicht in die Bewertung mit aufnimmt. Die Erweiterung des deterministischen Baummodells kann insofern geschehen, als dass den einzelnen Zweigwerten kontinuierliche Verteilungsfunktionen zugewiesen werden, um es so in ein stochastisches Modell überzuführen, wie es bereits durch die Kombination mit @Risk, in Kapitel 8, dargebracht wurde.⁴¹³

Der Autor gibt bei der Anwendung der Entscheidungsbaumtheorie allerdings zu bedenken, dass die Bildung von Urteilen auf Grundlage des Erwartungswertes äußerst sensibel betrachtet werden muss. Wenn bspw. an einem Zufallsknoten ein Ereignis eine sehr geringe Wahrscheinlichkeit und im Gegensatz dazu eine hohe Tragweite besitzt, so kann durch die Berechnung des Erwartungswertes, keine hinreichende Aussagekraft für das Einzelrisiko gebildet werden, vielmehr werden dadurch solche extremen Einzelergebnisse verwässert.

Summa summarum kann der Einsatz eines Entscheidungsbaumes die Flexibilität der Anwender im Denken und Entwickeln von Lösungsstrategien vorantreiben. Oftmals gibt es mehrere Wege, die zum Ziel führen können, die es zu fassen und zu analysieren gilt. Über die Ausgabe von Wahrscheinlichkeiten kann zudem eine Quantifizierung des Risikos einer Entscheidung stattfinden.

9.2 Denkanstöße für weitere Baumkonstruktionen

Eine weitere Möglichkeit die Entscheidungsbaumtypologie auf andere Bereiche der Bauwirtschaft adaptiert anzuwenden, kann der Grund- bzw. Tief- und Tunnelbau genannt werden. Hier stellt sich oftmals die Frage welcher Tunnelvortrieb, in Abhängigkeit der Untergrundverhältnisse, gewählt werden sollte. Dabei können die Erkundungsbohrungen der jeweiligen Tiefen, statistisch ausgewertet werden, um daraus weitgehend objektive Wahrscheinlichkeiten der Bodenverhältnisse im Untergrund zu schaffen. Hinzu kommt noch, dass durch die inhärenten Unsicherheiten der Grundwasserbedingungen, im anstehenden Boden, die Anwendung von Einzelwahrscheinlichkeiten oft nicht als praktikabel erachtet wird und

⁴¹² Vgl. MOUSSA, M.; RUWANPURA, J.; JERGEAS, G.: Decision Tree Modeling Using Integrated Multilevel Stochastic Networks. S. 1254

⁴¹³ Vgl. MOUSSA, M.; RUWANPURA, J.; JERGEAS, G.: Decision Tree Modeling Using Integrated Multilevel Stochastic Networks. S. 1255

sich daher eine Tendenz zur Ermittlung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen, die aus Expertenbefragungen statistisch erhoben werden, entwickelt.⁴¹⁴ Als mögliche Varianten einen Tunnel voranzutreiben, können in Abhängigkeit des anstehenden Bodens und der zu errichtenden Tunnellänge, bspw. die Alternativen eines konventionellen Sprengvortriebes oder jener mit einer Tunnelbohrmaschine angeführt werden. Denkbare Umweltzustände wie Wasserzutritt, Verwerfungen, usw. können durch Wahrscheinlichkeiten bewertet werden.

Des Weiteren kann eine Bewertung des Einsatzes von zur Auswahl stehenden Baugrubensicherungen geschehen. Dabei werden bspw. Spundwände mit dem Einsatz einer Trägerbohlwand verglichen.

Aus dem Bereich des Erdbaus kann eine weitere Entscheidungssituation, bei der die generelle Verfuhr eines mit Restmassen kontaminierten Bodenmaterials oder die Separierung vor Ort mittels Sternsiebanlage geschehen könnte, verglichen und angeführt werden.

Man erkennt, dass sich weitere Einsatzgebiete der Entscheidungsbaumtypologie eröffnen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass durch die Anwendung des Entscheidungsbaumes mögliche Entscheidungswege aufgezeigt werden können. Die ausschließliche Verwendung von PrecisionTree lässt allerdings nur die deterministische Betrachtung einer Entscheidungssituation zu, obgleich durch das Analyseinstrument, zur Ausgabe statistischer Kennwerte, Aufschlüsse über die diskreten Verteilungen zugelassen werden können. In Kapitel 8 wurde gezeigt, dass sich mit der Verwendung von @Risk, eine Erweiterung der deterministischen zu einer probabilistischen Betrachtungsweise ergibt.

Beim Umgang mit Informationsknappheit ist es wichtig, sich zunächst über die unmittelbaren Auswirkungen einer Entscheidung auf die Projektziele im Klaren zu sein und langfristige Auswirkungen im Auge zu behalten, um ehestens richtungsweisend eingreifen bzw. agieren zu können.

Alles in Allem bleibt abzuwarten, wie sich solche quantitativen Risikoanalysen in der Bauwirtschaft etablieren und ihre Entwicklung vorangetrieben wird.

⁴¹⁴ Vgl. YOU, X.; TONON, F.: Event Tree and Fault Tree Analysis in Tunneling with Imprecise Probabilities. S. 2886

Glossar

Arbeitsgruppe	Unter einer Arbeitsgruppe werden mehrere Parteien (hier: 5er und 6er Parteien) zusammengefasst. Eine Partie kann daher als ein für die jeweilige Tätigkeit eingespieltes Team angesehen werden.
Basisfallwert	Unter dem Basisfallwert versteht man jenen Wert, der bei der ursprünglichen Eingabe festgelegt wird und auch den wahrscheinlichsten Wert beschreiben kann. ⁴¹⁵
Dichtefunktion	Die Dichtfunktion, auch als Wahrscheinlichkeitsfunktion bezeichnet, beschreibt die Wahrscheinlichkeit einer Zufallsvariable eines bestimmten Merkmals. ⁴¹⁶
Diskrete Verteilung	Diskrete, hier auch als diskontinuierliche Verteilung benannt, kann als eine endlich abzählbare Menge mit zugehöriger Wahrscheinlichkeitsaussage einer bestimmten Merkmalsausprägung verstanden werden. D.h., dass bspw. eine Zufallsvariable nur bestimmte Werte eines Bereiches annehmen kann.
Entscheidungsebenen	Unter Entscheidungsebenen wird die vertikale Gliederung eines Entscheidungsbaumes genannt.
Entscheidungskriterium	Das Entscheidungskriterium bildet den Überbegriff aus der Entscheidungsregel und den Entscheidungsprinzipien. ⁴¹⁷
Entscheidungspfad	Ein Entscheidungspfad beschreibt einen möglichen Weg im Baumdiagramm.
Entscheidungsprinzipien	Dabei werden Richtlinien, bestimmter Anforderungen an das jeweilige Entscheidungsproblem festgelegt, durch die Präferenzfunktionen generiert werden, die schließlich zu einer Entscheidungsregel führen. ⁴¹⁸
Entscheidungsregel	Eine Entscheidungsregel soll eine eindeutige Lösung eines Entscheidungsproblems auf Basis einer Präferenz- bzw. Bewertungsfunktion, aus einem Entscheidungsprinzip heraus, ermöglichen. ⁴¹⁹
Fließfertigung	Paralleler Fertigungsablauf, bei dem ein fließender Übergang, von einer Partie in den nächsten Fertigungsabschnitt passiert.
Stetige Verteilung	Bei einer stetigen, hier auch als kontinuierliche Verteilung benannt, können Zufallsvariablen beliebige Werte eines Bereiches annehmen. Die Wahrschein-

⁴¹⁵ Vgl. PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. S. 40

⁴¹⁶ Vgl. <http://de.statista.com/statistik/lexikon/definition/48/dichtefunktion/>. Datum des Zugriffs: 09.02.2015

⁴¹⁷ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 37

⁴¹⁸ ebd.

⁴¹⁹ Vgl. LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. S. 37f

	lichkeit eines Bereiches lässt sich durch das Flächenintegral ermitteln.
Passflächen	Passflächen treten meist bei Wand- und Stiegenabschlüssen sowie bei Einbauteilen auf und verursachen einen Mehraufwand bei der Herstellung der Deckenschalung. Als Passflächen bezeichnet Hofstadler jene Flächen bei den Schalarbeiten, welche den Übergang von der Regelfläche zur Bauteilgrenze bilden. ⁴²⁰
Präferenzfunktion	Der Begriff der Präferenzfunktion oder auch Bewertungsfunktion wird hier unter der Bezeichnung der Nutzenfunktion zusammengefasst.
Probenerhebung	Generierung von Zufallszahlen
Regelgeschoss	Als Regelgeschoss werden jene Gebäudeabschnitte gezählt, die sich hinsichtlich deren geometrischen und baulichen Eigenschaften gleichen. In dieser Arbeit wird von rechteckigen Deckenabmessungen ausgegangen.
Systemregelfläche	Eine Systemregelfläche beschreibt ein hindernisfreies Areal der Decke, das rein durch die Systemelemente, ohne Passflächen, eingeschalt werden kann. Die Systemregelfläche kann mit der Regelfläche, die Hofstadler als Schalfläche die mit Serienteilen, ohne Anpassungen durch zuschneiden von Schaltafeln, eingeschalt werden kann definiert, gleichgesetzt werden. ⁴²¹
Taktfertigung	Serieller Fertigungsablauf, bei dem der Übergang einer Arbeitsgruppe, von der Fertigung eines Abschnittes in den Nächsten passiert.
Unterbaum	Als Unterbaum werden untergeordnete Bäume verstanden, die zur Ermittlung von Wahrscheinlichkeiten herangezogen werden können aber keinen direkten Bestandteil eines Hauptbaumes bilden.

⁴²⁰ Vgl. HOFSTADLER, C.: Schalarbeiten. S. 480

⁴²¹ ebd.

Linkverzeichnis

<http://www.pareto-prinzip.net/>. Datum des Zugriffs: 24.03.2014.

https://www.psychologie.uni-heidelberg.de/ae/allg/enzykl_denken/Enz_06_Heuristiken.pdf. Datum des Zugriffs: 05.04.2014.

<https://www.austrian-standards.at/infopedia-themencenter/infopedia-artikel/eurocodes/>. Datum des Zugriffs: 25.04.2014.

http://www.duden.de/rechtschreibung/Trial_and_Error_Methode. Datum des Zugriffs: 19.05.2014.

<http://www.palisade.com/precisiontree/de/>. Datum des Zugriffs: 21.08.2014.

<http://www.wirtschaftslexikon24.com/d/nutzenfunktion/nutzenfunktion.htm>. Datum des Zugriffs: 22.09.2014.

<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/entscheidungsbaum.html>. Datum des Zugriffs: 10.12.2014.

<http://matheguru.com/stochastik/36-satz-von-bayes.html>. Datum des Zugriffs: 18.12.2014.

<http://de.statista.com/statistik/lexikon/definition/48/dichtefunktion/>. Datum des Zugriffs: 09.02.2015.

<http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/wi-enzyklopaedie/lexikon/uebergreifendes/Globalisierung/Outsourcing>. Datum des Zugriffs: 14.02.2015.

<http://www.iai.kit.edu/www-extern/index.php?id=237>. Datum des Zugriffs: 15.02.2015.

<http://www.duden.de/rechtschreibung/Chance>. Datum des Zugriffs: 15.02.2015.

<http://www.duden.de/rechtschreibung/Determinismus>. Datum des Zugriffs: 17.02.2015.

<http://www.math.kit.edu/stoch/de>. Datum des Zugriffs: 17.02.2015.

<http://matheguru.com/stochastik/166-erwartungswert.html>. Datum des Zugriffs: 08.03.2015.

<http://www.peri.at/ww/de/produkte.cfm>. Datum des Zugriffs: 08.03.2015.

http://www.peri.de/ww/de/produkte.cfm/fuseaction/diashow/product_ID/46/app_id/4/imgpath/09_10_multiflex_titel2.jpg.cfm. Datum des Zugriffs: 08.03.2015.

http://www.peri.de/ww/de/produkte.cfm/fuseaction/diashow/product_ID/44/app_id/4/imgpath/08_10_skydeck_titel.jpg.cfm. Datum des Zugriffs: 08.03.2015.

<http://www.archiexpo.de/prod/riva/betonstabstahl-stahlbeton-90408-867290.html>. Datum des Zugriffs: 09.03.2015.

<http://www.stanze-stahl.de/produkte/betonstahl.html>. Datum des Zugriffs: 09.03.2015.

http://www.agir.biz/bilder/galerie/Betonpumpe_52_Meter.jpg. Datum des Zugriffs: 09.03.2015.

Literaturverzeichnis

ALBER, A.: Risikomanagement in Bauunternehmen; Eine Analyse von Theorie und Praxis; Masterarbeit. Graz. Technische Universität Graz, 2013.

BALLIN, D.: Systemdenken und Simulation mit HERAKLIT. www.vernetzt-denken.de/media/docs/systemdenken-und-simulation.pdf. Datum des Zugriffs: 12.05.2014.

BAUER, H.: Baubetrieb; 3. Auflage. Hamm. Springer Verlag Berlin - Heidelberg 1994, 2007.

GERRIG, R. J.; ZIMBARDO, P. G.: Psychologie; 18., aktualisierte Auflage. München. Pearson Studium, 2008.

GIGERENZER, G.: Einfache Heuristiken für komplexe Entscheidungen. In: Mathematisierung der Natur, BBAW / Schriftenreihe / Debatte / Heft 4/2007.

GIGERENZER, G.: Die Intelligenz des Unbewussten und die Macht der Intuition. In: Bauchentscheidungen 4. Auflage. Hrsg.: der deutschsprachigen Ausgabe Bertelsmann Verlag München; in der Verlagsgruppe Random House GmbH, 2007.

GRÖTSCHEL, M.: Schnelle Rundreisen: Das Travelling Salesman-Problem. Berlin-Dahlem. Konrad Zuse Zentrum für Informationstechnik Berlin, 2005.

HINTZ, N.: Pi und e: Zwei faszinierende Zahlen. Wiesbaden. Europa-Schule Dr. Obermayer.

HOFFMANN, M.; KRAUSE, T.: Zahlentafeln für den Baubetrieb 8. Auflage. Aachen. Vieweg Teubner Verlag, 2010.

HOFSTADLER, C.: Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb. Graz. Springer Verlag Berlin Heidelberg, 2007.

HOFSTADLER, C.: Schularbeiten. Graz und Grafendorf. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008.

HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb; Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. Grafendorf/Graz. Springer Vieweg, 2013.

HOFSTADLER, C.: Monte-Carlo-Simulation im Baubetrieb - Verteilungsfunktion für Aufwandswerte bei Schularbeiten. In: Bauingenieur, Band 89/Mai 2014.

HOFSTADLER, C.: Zur exakten Ermittlung der Vorhaltemenge von Schalung und Rüstung für die Herstellung von Stahlbetondecken und die Auswirkungen des Frühausschalens auf Bauzeit und Baukosten; Dissertation. Graz. Technische Universität Graz, 1999.

- HOFSTADLER, C.: Einfluss der Bauzeit auf die Produktivität - Neueste Erkenntnisse im Vergleich zur Literatur. In: Tagungsband Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste, 11. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium/2013.
- HOFSTADLER, C.; KUMMER, M. K.: Systematischer Umgang mit Produktivitätsverlusten in der Auftragskalkulation. In: Tagungsband 2014; Risiken im Bauvertrag. Hrsg.: HECK, D.; MAUERHOFER, G.; HOFSTADLER, C.: Graz. Technische Universität Graz, 2014.
- JAKOBY, W.: Projektmanagement für Ingenieure 2. Auflage. Trier und Lorscheid. Springer+Vieweg Verlag, 2013.
- KÖHLER, J.: Seminar "Risiko und Sicherheit im Bauwesen"; Skriptum. Vorlesungspräsentation 1. Einführung. Graz. 2010.
- KUMMER, M. K.: Unveröffentlichtes Arbeitspapier. 2013.
- KUMMER, M. K.: Einsatz der Monte-Carlo Simulation zur Berechnung der Baukosten und Bauzeit; Masterarbeit. Graz. Technische Universität Graz, 2012.
- KUMMER, M. K.; HOFSTADLER, C.: Einsatz der Monte-Carlo-Simulation zur Berechnung von Baukosten. In: Bauaktuell, 4. Jahrgang, September Nr. 5/2013.
- KÜSTER SIMIC, A.: Theorie und Praxis der Unternehmensbewertung. <http://www1.uni-hamburg.de/Kapitalmaerkte/download/UnternehmensbewertungSoSe2004FolieH.pdf>. Datum des Zugriffs: 11.12.2014.
- LAMPENIUS, N.: Monte-Carlo-Simulation mit @Risk. Präsentation. München. 2014.
- LANG, W.: Verfahrensvergleiche zur optimalen Auswahl von Bauverfahren; Diplomarbeit. Graz. TU Graz, 2008.
- LAUX, H.; GILLENKIRCH, R. M.; SCHENK-MATHES, H. Y.: Entscheidungstheorie; 8. Auflage. Frankfurt am Main. Springer Gabler, 2011.
- LIU, Q.: Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik für Bauingenieure; Skriptum. Graz. Technische Universität Graz, 2012.
- LULEI, F.: Fehler und Risiken einmal anders betrachtet. In: Tagungsband 2014; Risiken im Bauvertrag. Hrsg.: HECK, D.; MAUERHOFER, G.; HOFSTADLER, C.: Graz. Technische Universität Graz, 2014.
- MAX FRANK GMBH & CO KG; TECHNOLOGIEN FÜR DIE BAUINDUSTRIE: Stremaform Abstellelemente; Datenblatt. Leiblfing Deutschland. 2014.

MOUSSA, M.; RUWANPURA, J.; JERGEAS, G.: Decision Tree Modeling Using Integrated Multilevel Stochastic Networks. Calgary. Journal of Construction Engineering and Management, 2006.

MOUSSA, M.; RUWANPURA, Y. Y.; JERGEAS, G.: Decision Tree Module within decision support Simulation System. Calgary. Proceedings of the 2004 Winter Simulation conference; University of Calgary, 2004.

MÜLLER-HERBERS, S.: Methoden zur Beurteilung von Varianten; Arbeitspapier. Stuttgart. Universität Stuttgart, 2007.

ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT: Preisermittlung von Bauleistungen ÖNORM B 2061. Wien. Austrian Standards Institute, 1999.

ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT: Bauprojekt- und Objektmanagement ÖNORM B 1801-1 2009. Wien. Austrian Standards Institute, 2010.

PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch Precision Tree. Ithaca, New York. Palisade Corporation, 2010.

PALISADE CORPORATION: Benutzerhandbuch für @Risk. Ithaca, New York. Palisade Corporation, 2010.

SCHÜTZ, M.: Anwendung des Systems Engineering auf die Arbeitsvorbereitung von Bauprojekten; Masterarbeit. Graz. TU Graz, 2011.

STIASSNY, A.: Begleitliteratur: Grundkurs in Mikro und Makroökonomik. www.wu.ac.at/iqv/mitarbeiter/stiassny/grundkursmima.pdf. Datum des Zugriffs: 22.09.2014.

UNTERWEGER, H.; GREINER, R.: Baustatik 2, Bauwerkssicherheit; Skriptum. Graz. Technische Universität Graz, 2009.

VEIT, P.: Betriebswirtschaftslehre - Bau Kostenrechnung, Investition; Skriptum. Graz. Technische Universität Graz, 2012.

WAGENDORFER, M.: Bauwirtschaftliche und Baubetriebliche Risiko-Chancen-Analyse eines differenzierten Schalungsvergleichs in Form einer Entscheidungsmatrix mit @Risk; Masterprojekt. Graz. TU Graz, 2014.

WERKL, M.: Risiko- und Nutzenverhalten in der Bauwirtschaft; Eine Entscheidungstheoretische Betrachtung im institutionenökonomischen Kontext; Dissertation. Graz. TU Graz, 2013.

YOU, X.; TONON, F.: Event Tree and Fault Tree Analysis in Tunneling with Imprecise Probabilities. Los Angeles and Austin. GeoCongress 2012, 2012.

