

Praktische Umsetzung von probabilistischen Kostenermittlungen im Hochbau

*Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Arnold Tautschnig / Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Georg Frösch,
Arbeitsbereich für Baubetrieb, Bauwirtschaft und Baumanagement, Institut für Konstruktion und
Materialwissenschaften, Universität Innsbruck*

Inhaltsübersicht

1	Einleitung	2
2	Risikobeurteilung bei der Kostenermittlung	2
2.1	Rahmenbedingungen.....	5
2.2	Parameter der Kostenberechnung.....	5
2.3	Probabilistische Vorgehensweise.....	6
2.4	Risikobeurteilungsprozess.....	7
2.4.1	Quantifizierungsmethodik.....	9
2.4.1.1	Szenariotechnik.....	9
2.4.1.2	Expertenbefragung.....	10
2.4.1.3	Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeiten von Einzelrisiken.....	11
2.4.2	Beispiel für einen Risikobeurteilungsprozess.....	11
3	Ergebnis	12
3.1	Kostenunsicherheiten.....	14
3.2	Vorausvalorisierung.....	15
3.3	Einzelrisiken.....	15
3.4	Probabilistische Gesamtbetrachtung.....	17
4	Zusammenfassung und Ausblick	17

1 Einleitung

Konventionelle Kostenermittlungen im Bauwesen geben Auskunft über die Höhe der Herstellungskosten aufgrund von exakten Werten. Diese werden in der Regel als unverrückbare Größe definiert, ohne jedoch dem stetigen Wandel der Anforderungen und der Marktsituation im Projektablauf Rechnung zu tragen.

Eine fundierte und nachvollziehbare Kostenermittlung ist ohne Zweifel eine der wesentlichsten Grundlagen für Investitionsentscheidungen speziell bei renditeorientierten Hochbauprojekten. Um den tatsächlich vorhandenen Unschärfen gerecht zu werden, erscheint es naheliegend, die Werte mit Schwankungsbreiten zu versehen. Unter diesem Aspekt ist die Konsequenz die Erweiterung der deterministischen Kostenermittlung um eine probabilistische Komponente.

Üblicherweise wird die Kostenermittlung abhängig von Planungstiefe und Projektphase in einem iterativen Prozess, wie z.B. in der ON B 1801-1 aber auch in der DIN 276 gefordert, in deterministischer Form durchgeführt. Die Unschärfe der zugrundeliegenden Kostenkennwerte und Masenermittlungen sowie allfällige projektspezifische Risiken der Bauabwicklung werden meist mittels prozentualer Globalaufschläge (Reserven) abgebildet. Dies stellt eine sehr grobe und den tatsächlichen Gegebenheiten nicht immer entsprechende Vorgehensweise dar.

Ziel dieser Arbeit ist es daher, anhand eines Beispiels die probabilistische Beurteilungs- und Berechnungsmethodik und vor allem die praktische Umsetzung darzustellen. Neben dem Risikopotential der einzelnen Kostenelemente werden auch die Vorausvalorisierung und ausgewählte projektspezifische Einzelrisiken berücksichtigt. Mittels Simulationsverfahren wie beispielsweise der Monte-Carlo-Simulation werden die einzelnen Unschärfen zu einer Gesamt-Verteilungsfunktion verdichtet. Somit ist es möglich, neben einer Schwankungsbreite der Kosten auch Aussagen zur Wahrscheinlichkeit des Eintretens der Kostenabweichung zu treffen.

Zum Abschluss werden noch ein Ausblick auf die zukünftige Entwicklung der Methodik gewährt und kritische Aussagen über die Grenzen der Anwendungsmöglichkeiten getätigt.

2 Risikobeurteilung bei der Kostenermittlung

Zum Zweck der Qualitätssteigerung der Entscheidungsgrundlage einer Investition wird an Hand eines Beispiels die im Entwurfsstadium erstellte deterministische Kostenberechnung gemäß den Ansätzen der ONR 4900x:2009 einer Risikoanalyse mittels probabilistischer Methoden unterzogen. Der Risikomanagementprozess für die Kostenberechnung wurde in Anlehnung an die ONR 49002:2009¹ und den AS/NZS 4360:2004² erstellt und ist in Abbildung 1 dargestellt. Wesentlich ist innerhalb des Gesamtprozesses der auf die Kostenberechnung angewandte Teilprozess „Risikobeurteilung“.

Bei der Erstellung einer Kostenberechnung werden im Allgemeinen Mengenansätze mit Kostenkennwerten multipliziert. Die Kostenkennwerte können – je nach Quelle - erheblich differieren. Auch die Mengenansätze sind keine absolute Größe und können sich im Projektverlauf mit höherer oder geringerer Wahrscheinlichkeit ändern. Bei deterministischer Vorgangsweise werden In-

¹ Österreichisches Normungsinstitut (2009) S. 5

² Standards Australia / New Zealand (2004) S. 7

formationen über die Schwankungsbreite (=Bandbreite) der Kostenkennwerte und auch der Mengensätze in den Gesamtkosten nicht abgebildet. Anstatt der Beschreibung von Mengen und Kennwerten durch Verteilungsdichten berücksichtigt eine deterministische Ermittlung nur ein mögliches Szenario (wenn auch das subjektiv aus Sicht der/des Bearbeiter(s) wahrscheinlichste). Die Genauigkeit der Kostenermittlung kann vom Bauherrn nicht unmittelbar eingeschätzt werden, üblich sind die Angaben von Genauigkeitsschranken durch den Ersteller (beispielsweise +/- 15% für die Kostenschätzung in der Planungsphase „Vorentwurf“).

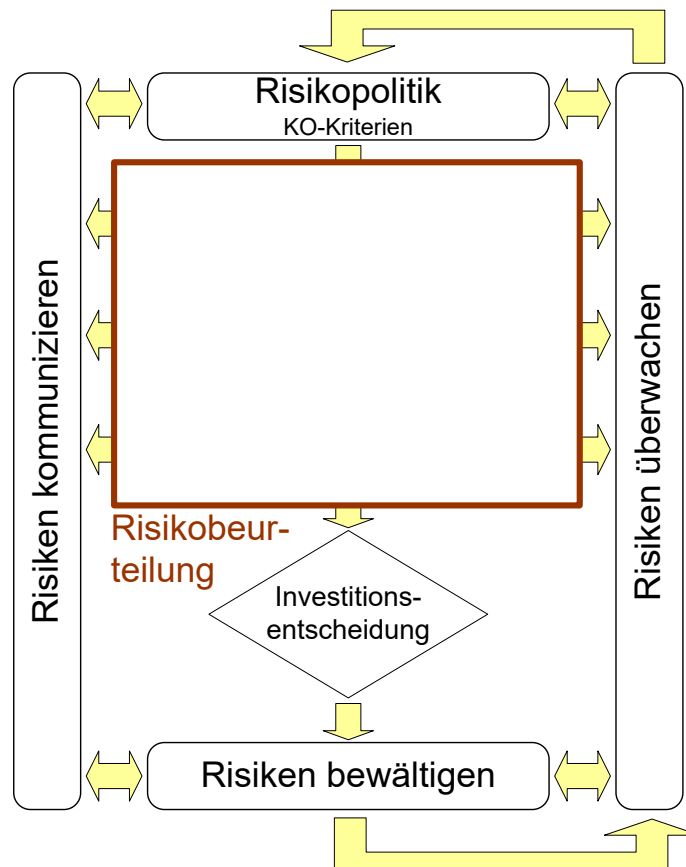


Abbildung 1: Risikomanagementgesamtprozess für Kostenberechnung und Risikoanalyse in Anlehnung an die ONR 49002:2009 und den AS/NZS 4360:2004

Bei der Anwendung probabilistischer Analyse-Methoden bleibt der gesamte Informationsgehalt hinsichtlich der Ungenauigkeiten (Bandbreiten) von Kennwerten oder Risiken durchgehend erhalten. Kosten und Risiken werden durch Verteilungsdichten angegeben, wobei die Eingabe einer Bandbreite und deren Gewichtung innerhalb der Bandbreite erlaubt ist^{3, 4}. Kostenpositionen oder Risiken werden mittels Simulationsverfahren (Monte-Carlo-Simulation, Latin-HyperCube-Sampling) verdichtet. Ergebnis ist eine Gesamt-Verteilungsfunktion, mit der sich konkrete Aussagen über das Kosten- oder Risiko-Potenzial und dessen Eintrittswahrscheinlichkeiten treffen lassen (*Value at Risk*). Durch den Einsatz von EDV-Tools ist nicht die informationstechnische Ab-

³ Wiedenmann (2005) S. 133 ff und S. 153 ff.

⁴ Feik (2006) Seite 121 ff.

wicklung der Simulation die große Herausforderung, sondern die Generierung und vor allem die fundierte Herleitung der Eingabedaten.

Neben der probabilistischen Aufbereitung der Kostenberechnung und der damit zusammenhängenden Vorausvalorisierung werden in der entwickelten Systematik im Beispiel auch ausgewählte, projektspezifische Einzelrisiken, die in der Bauabwicklung auftreten könnten, in Form einer „klassischen“ Risikobeurteilung behandelt. Die Teilaggregationen der drei betrachteten Risikofelder (Risiken bzw. Unschärfen von Kostenansätzen und Mengen, Risiko der Valorisierung, sonstige Einzelrisiken) werden dann im letzten Schritt der Analyse zu einer Gesamttaggregation verdichtet, siehe Abbildung 8.

Die untenstehende Darstellung verdeutlicht noch einmal den Risikobeurteilungsprozess und ist als Detailausschnitt zu Abbildung 1 zu sehen.

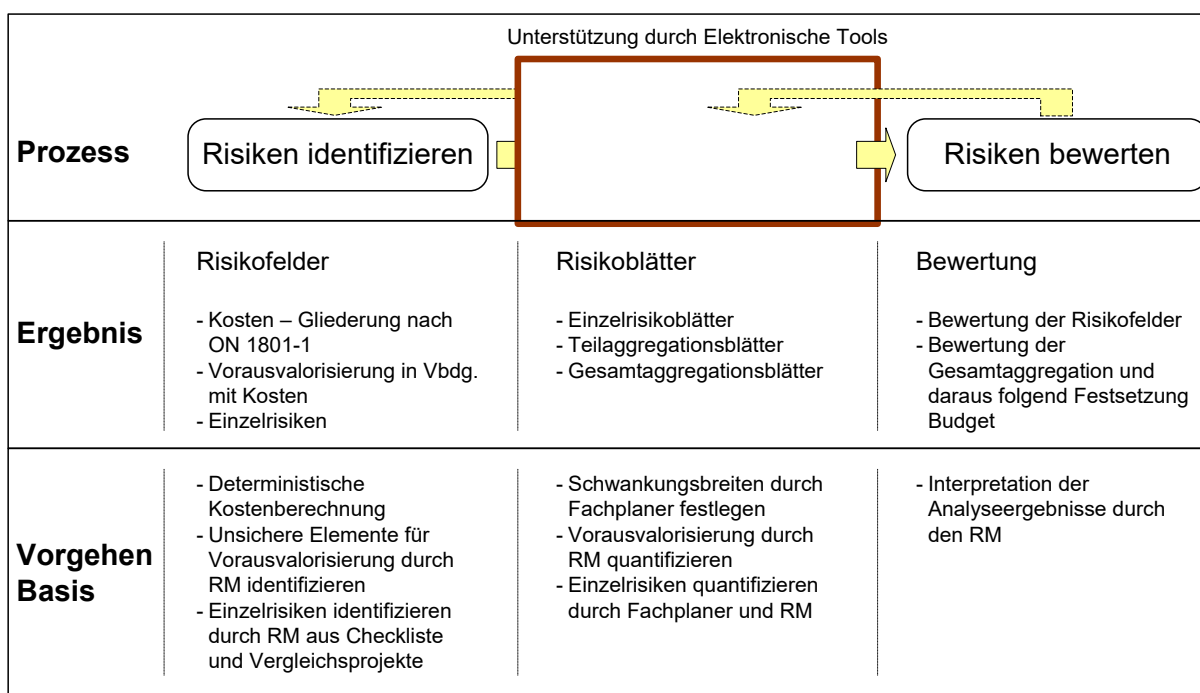


Abbildung 2: Beurteilungsprozess für Kostenberechnung und Risikoanalyse

Die elektronisch unterstützte Risikoanalyse für das Beispielprojekt wurde mit einem von der RiskConsult GmbH, Innsbruck im Rahmen der Dissertationsarbeit „EDV-unterstützte probabilistische Risiko-Analyse für Bauprojekte“ von P. Sander entwickelten VBA-Excel-Tool⁵ durchgeführt. Dieses Tool wurde zwischenzeitlich bereits bei mehreren großen Bauprojekten eingesetzt. Andererseits erfolgte eine Kontrollrechnung mit dem von Blindow & Partner Consultant GmbH, Innsbruck, gemeinsam mit dem Institut für Baubetrieb, Bauwirtschaft und Baumanagement der Universität Innsbruck als Pilotprojekt entwickelten eCGM-Tool⁶, welches von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft FFG gefördert wurde.

Der theoretische Hintergrund ist in den Arbeiten von Feik (2006) und Wiggert (2009) detailliert ausgeführt.

⁵ RIAAT – Risk Administration & Analysis Tool, basierend auf Visual Basic

⁶ eCGM – elektronisches Chancen- und Gefahrenmanagement

2.1 Rahmenbedingungen

Als Basis für die Demonstration der Methodik dient ein Bürohausprojekt, welches sich aktuell in der Entwurfsphase befindet. Die Daten sind anonymisiert und verändert, da das Projekt noch nicht abgeschlossen ist. Anhand der durchgeführten probabilistischen Kostenschätzung und Risikoanalyse wurde die Investitionsentscheidung durch den Investor gefällt und das tatsächliche Budget fixiert.

Vor der eigentlichen Durchführung der Risikoanalyse müssen noch einige Voraussetzungen bzw. Analysebedingungen geklärt werden.

Im Beispielprojekt wurde beim Erreichen der Planungstiefe des Entwurfes eine Kostenberechnung nach ON B 1801-1 basierend auf Leitmengen und Elementen (Baugliederung 3. Ebene) und teilweise bereits auf Leistungspositionstiefe erstellt. Die Planungstiefe ist nicht bei allen Bauteilen gleich. Wichtige Leitdetails zur technischen Einschätzung der geplanten Ausführung liegen aber in den wesentlichsten Bereichen vor.

Die deterministische Kostenberechnung wurde zunächst von einem Expertenteam bestehend aus den einzelnen Projektanten und Planern in einem iterativen Prozess erarbeitet. Die probabilistische Einschätzung der Basisdaten (Schwankungsbreiten, oberer/unterer Erwartungswert, Eintrittswahrscheinlichkeiten) und die Aggregation der Daten des Expertenteams erfolgte durch ein eigenes Risikomanagementteam (RM-Team), bestehend aus der „Projektkontrolle“, unterstützt durch externe RM-Experten. Wo erforderlich und zweckmäßig, erfolgte eine Abstimmung mit dem Expertenteam des Auftraggebers.

Die Risikoidentifikation und –analyse ist wesentlich vom gewählten Abwicklungsmodell abhängig, da die Risiken je nach Modell erheblich differieren bzw. für den Auftraggeber überhaupt nicht schlagend werden können. Im Beispielprojekt wurden Einzelvergaben, nach Bedarf gebündelt zu Paketvergaben vorgesehen. Somit fällt kein GU-Zuschlag an, der zwischen 10% und 14% betragen würde. Beispielsweise werden Preisschwankungen, die sonst auf einen GU abgewälzt würden, durch den Bauherrn selbst getragen und stellen für ihn eine Gefahr aber auch eine Chance dar. Im Bereich der Einzelrisiken müssen aufgrund des gewählten Abwicklungsmodelles z.B. Risiken wie „verzögerte Planlieferung“ in den Risikokatalog aufgenommen werden.

Als Maßnahme zur Minderung des Insolvenzrisikos werden abstrakte Bankgarantien (z.B. 15% der Auftragssumme) von den ausführenden Firmen verlangt, weshalb das Insolvenzrisiko von ausführenden Firmen nur mit einem relativ geringen Anteil hinsichtlich der Auswirkungen auf die Behinderung und Forcierung anderer Gewerke angesetzt wurde (VaR90 = nur ca. 90T€).

2.2 Parameter der Kostenberechnung

Die Preisbasis für die Kostenberechnung ist im Beispiel der 12.02.2009. Hinsichtlich der Indizierung gilt hier aber der Baupreisindex BPI 12/2008 = 113,7 (BPI 2005=100) für den Hoch- und Tiefbau der Statistik Austria⁷, da zum Zeitpunkt der Bewertung kein neuerer Index verfügbar war.

⁷ www.statistik.at (2009)

Die Vorausvalorisierung wird vom Zeitpunkt der Kostenberechnung bis zum Zeitpunkt der voraussichtlichen Vergabe des jeweiligen Gewerkes berechnet, wobei hier je nach Vergabezeitpunkt eine Schwankungsbreite von +/- ein bis +/- drei Monate angesetzt wurde.

Von den Fachplanern wurden die Planwerte (deterministische Werte) für die Bauwerkskosten mit etwa 45,3 Mio. € (ohne Reserven) berechnet. Die Nutzerspezifischen Kosten der Investition bleiben für diese Überlegungen außer Betracht. Die Kosten für die Außenanlagen wurden deterministisch mit ca. € 1,19 Mio. ermittelt. Übrige Kosten wie Honorare, spezifische Kosten des Investors und Grundstückskosten beliefen sich auf ca. € 21,457 Mio.

Somit betragen die Gesamtinvestitionskosten (GIK 1) als Basiswerte für die probabilistische Betrachtung ca. € 67,947 Mio. Die deterministische Kumulation zu den GIK 2_{det} des Gesamtprojekts ergibt inkl. der auf Basis der Risikoanalyse zunächst deterministisch festgelegten Reserve von € 3,85 Mio.

$$\text{GIK 2}_{\text{det}} = € 67,947 + € 3,85 = € 71,797 \text{ Mio. (1)}$$

Das Budget „B_{det}“ des Investors würde also unter deterministischen Gesichtspunkten ca.

$$B_{\text{det}} = € 71,8 \text{ Mio. (2)}$$

betragen.

2.3 Probabilistische Vorgehensweise

Der Risikobegriff in der Bauwirtschaft ist nicht eindeutig definiert und besteht in zahlreichen Variationen⁸. Eine dieser Interpretationen setzt den Risikobegriff in stärkeren Bezug zum Risikomanagement in der Bauwirtschaft⁹:

„Unter Risiko versteht man die Möglichkeit, dass die durch eine Entscheidung ausgelösten Abläufe nicht notwendigerweise zum angestrebten Ziel führen und es zu negativen oder positiven Zielabweichungen kommt. Risiko lässt sich durch die Bestimmung von Tragweite und Eintrittswahrscheinlichkeit quantifizieren.“

$$E[\text{€}] = x[\text{€}] \cdot p[\%] \quad (3)$$

E Erwarteter Wert; Risiko (finanziell)

x Tragweite, Chancen- bzw. Gefahrenausmaß

p Wahrscheinlichkeit des Eintretens (Wert zwischen 0 und 1)

⁸ Wiggert (2009) vgl. Anhang B

⁹ Link (1999) S. 79

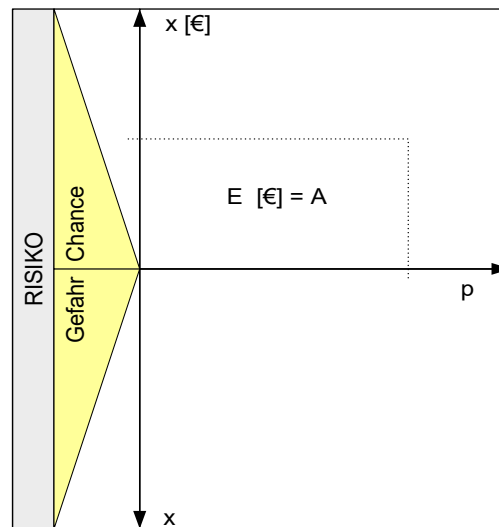


Abbildung 3: grafische Interpretation der Risikodefinition ($A=$ Fläche)

Die probabilistische Interpretation eines Risikos, das sowohl eine Gefahr als auch eine Chance darstellen kann (daher auch der Begriff des „Chancen-Gefahren-Managements“), wird definiert wie folgt:

$$E(X) = \sum_{i=1}^n x_i \cdot p(X = x_i) \quad (4)$$

E Erwarteter Wert; Risiko im Sinne einer Aus- oder Einwirkung

X Zufallswert

x_i Tragweite (Chancen- bzw. Gefahrenausmaß, wenn das Risiko schlagend wird) als Zufallsvariable (aus Best-Case, wahrscheinlichster Wert, Worst-Case)

p Wahrscheinlichkeit des Eintretens.

Mittels Monte-Carlo-Simulation wird eine hohe Zahl von zufällig ermittelten Werten für p und/oder x betrachtet, in jedem Einzelfall zum Gesamtrisiko aggregiert und ein Häufigkeitsdiagramm über alle betrachteten Fälle ermittelt. Diese Häufigkeitsverteilung stellt die Verteilung des Risikopotentials dar. Daraus lassen sich u.a. Quantilwerte, Median und Modalwert ablesen.

2.4 Risikobeurteilungsprozess

Die Beurteilung und vor allem die Quantifizierung der Kostenunsicherheiten bzw. der Einzelrisiken ist der elementare Prozess bei der Generierung von probabilistischen Kostenermittlungen. Auf diesen Basisdaten baut die Monte-Carlo-Simulation auf und folglich auch das Gesamtergebnis. Daher muss in diesem Teilprozess größter Wert auf die Nachvollziehbarkeit der Berechnungen bzw. die einwandfreie Fundierung der Aussagen gelegt werden.

Im ersten Schritt werden aus der deterministischen Kostenermittlung die „Risiko- bzw. Chancen- und Gefahrenpotentiale“ je Kostenelement, abhängig von der Tiefe der Baugliederung struktu-

riert. Hier ist nach ON B 1801-1 bzw. der DIN 276 vorzugehen, die die Kosten bereits hinsichtlich Leistungsgliederung oder Baugliederung je Kostenermittlungsstufe vorgibt.

Für den Vorentwurf ist die Gliederungstiefe nach ON B 1801-1 die „Baugliederung 1. Ebene“¹⁰, was für eine numerisch orientierte, probabilistische Risikobetrachtung zu grob wäre. Im Entwurfsstadium lässt aber die detaillierte, deterministische Kostenberechnung eine Beurteilung des Risikopotentials der einzelnen Gewerke und sogar von Elementen bzw. Positionen zu.

Die methodische Vorgehensweise im Risikobeurteilungsprozess ist in Abbildung 4 dargestellt. Aus der deterministischen Kostenermittlung in der jeweils vorliegenden Gliederungsstufe werden im Sinne der Risikoidentifikation „vermutete Unsicherheitspotentiale“ ermittelt. Dabei kann es sich um Gruppen oder Bereiche, gegebenenfalls Elemente und, falls es für eine verifizierbare Quantifizierung erforderlich ist, auch um einzelne Leistungspositionen handeln. Für diese identifizierten Risikopositionen müssen nun Szenarios entwickelt werden, um letztendlich die Schwankungsbreiten überhaupt fassen zu können. Zu diesem Zeitpunkt muss sich der Risikomanager drei Fragen stellen:

- **Was** geht im Planungs-/Bauprozess vor sich?
- **Welche** Möglichkeiten der Abweichung gibt es?
- **Wie** wirkt sich die Abweichung aus?

In weiterer Folge werden die Abweichungen mittels der in 2.4.1 behandelten Verfahren quantifiziert und fundiert. Es handelt sich im Falle der Kostenermittlung im Allgemeinen um Divergenzen der Einheitspreise und/oder der Massen. Es sind jedoch auch andere Herangehensweisen denkbar, wie zum Beispiel ein prozentual festgelegter Schwankungsbereich aufgrund von statistisch belegten Erfahrungswerten. Das Zwischenresultat ist eine Verteilungsfunktion des Einzelrisikos. Dieses kann dann positionsabhängig noch mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit versehen werden, welche die Möglichkeit des Auftretens des spezifischen Einzelrisikos im Projekt mengenmäßig beschreibt. Das Endergebnis dieses Prozesses ist ein sogenanntes „Einzelrisikoblatt“. Alle Einzelrisiken werden im nachfolgenden Schritt mittels Simulation zu einem „Gesamtrisiko“ verdichtet.

¹⁰ lt. ÖN B 1801-1:1995 „Kostenbereich“

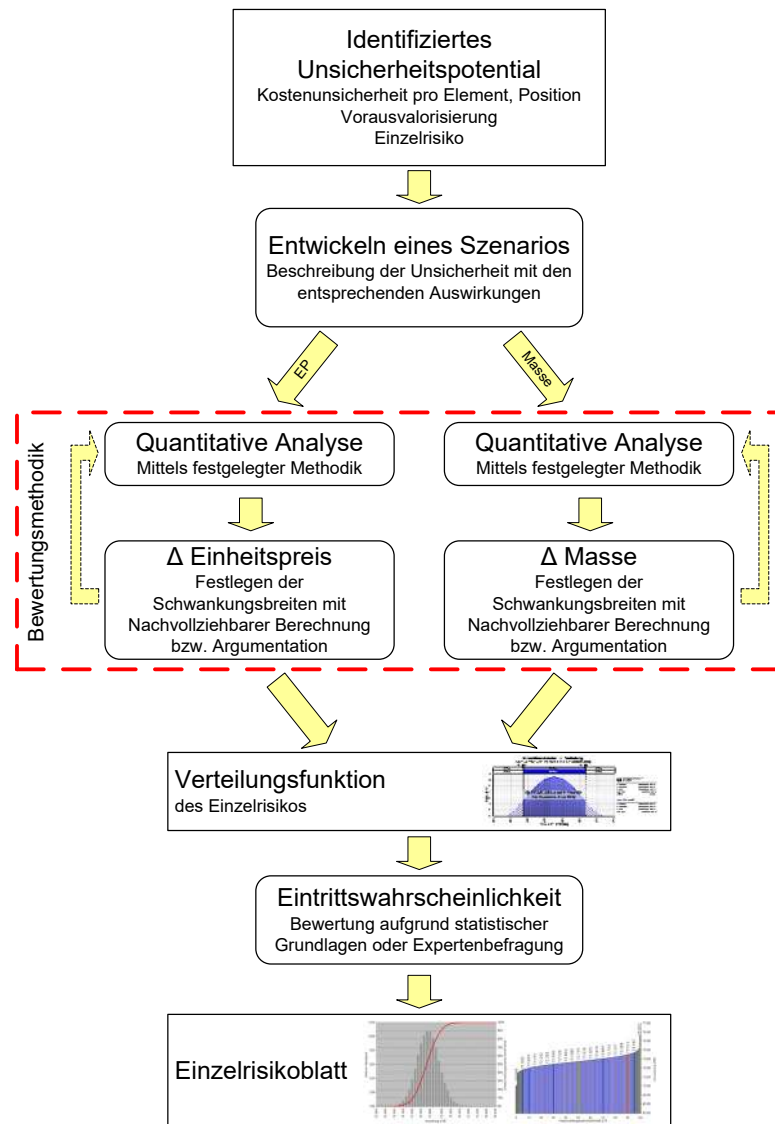


Abbildung 4: Methodik der Risikobeurteilung

2.4.1 Quantifizierungsmethodik

Die Festlegung der jeweiligen Schwankungsbreiten bildet den Kernpunkt der Risikobeurteilung. Die Möglichkeiten zu Herleitung sind vielfältig, essentiell bei diesem Vorgang ist die Reproduzierbarkeit der Angaben. Im Verlauf der Beurteilung des Beispielprojektes haben sich zwei Techniken bzw. Methoden als zielführend erwiesen. Dies sind zum einen die Szenariotechnik, zum anderen die Expertenbefragung.

2.4.1.1 Szenariotechnik

Ausgehend von einem Standardszenario ("base case") wird versucht, mögliche Extremszenarien ("best case und worst case") abzugrenzen. Im Unterschied zu einer Prognose wird nicht der Versuch unternommen, eine Entwicklung vorherzusagen, sondern einen zukünftigen Schwankungsbereich zu definieren. Durch die Projektion von Prämissen in die Zukunft sollen die Extremszenari-

en betrachtet werden. Alle möglichen Entwicklungen der Zukunft werden zum Zeitpunkt der Betrachtung t_0 abgebildet (auf den Zeitpunkt t_n „projiziert“)¹¹.

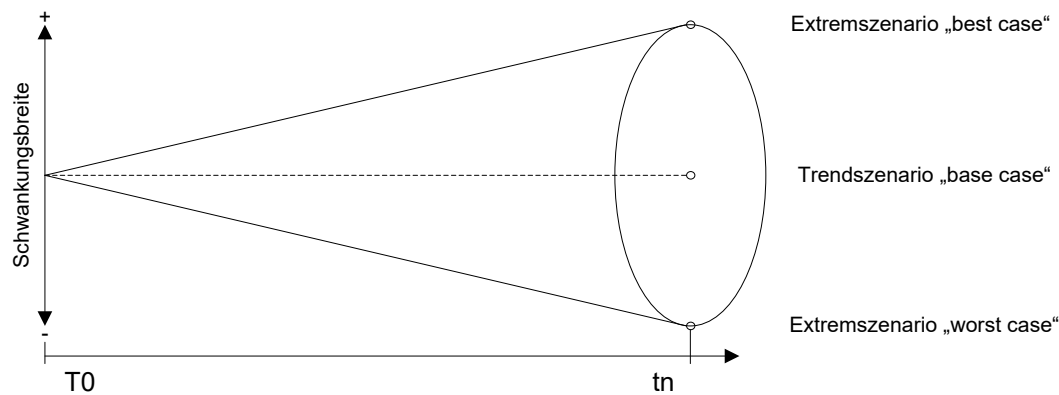


Abbildung 5: Zusammenhang zwischen Szenarien und Schwankungsbreite

Nach der allgemeinen Analyse des jeweiligen Elementes oder Kostenfaktors auf der Grundlage des Szenarios werden die Auswirkungen der Änderungen von einzelnen Parametern untersucht. Um die neuralgischen Teilbereiche des Elementes erkennen zu können sind die umfassende Kenntnis des Projektes und allgemeine Erfahrungen in der Projektabwicklung erforderlich. Sollte der Risikomanager in speziellen Themenbereichen dazu nicht in der Lage sein, so ist ein Experte bzw. der Fachplaner hinzuzuziehen, vgl. 2.4.1.2. Aufbauend auf die deterministische Kostenermittlung (base case) werden nun die Extremszenarios definiert und ihre Abweichung berechnet. Dies erfolgt bei Elementen aus der Kostenschätzung in der Regel über Schwankungsbreiten der Massenansätze und der Einheitspreise. Für die praktische Umsetzung hat sich die Darstellung dieser Schwankungsbreiten mittels Dreiecksverteilungen bewährt. Es ist natürlich möglich, alle Arten von Verteilungen einzusetzen, jedoch sind die Unterschiede im Ergebnis bei dieser Methodik auf Grund von eigenen Berechnungen der Autoren vernachlässigbar gering.

2.4.1.2 Expertenbefragung

Handelt es sich beim zu beurteilenden Element um eine sehr fachspezifische Thematik, welche vom Risikomanagementteam nicht hinreichend behandelt werden kann, wird die Methodik der Expertenbefragung eingesetzt. Bei der Beurteilung des vorliegenden Beispielprojektes kommt diese im Speziellen bei Themen wie zum Beispiel „Genehmigungsfähigkeit der Grundwassernutzung“ zum Einsatz. Nach der Identifikation des Risikos und Erstellung eines Szenarios wird Kontakt mit dem Experten aufgenommen, im obigen Beispiel mit dem zuständigen Fachplaner. Dieser nimmt dann die quantitative Beurteilung der Schwankungsbreite vor. Das Ergebnis wird mit den Annahmen des Risikomanagementteams verifiziert und geht in die Simulation ein. Im Gegensatz zur für derartige Ermittlungen ebenfalls in Frage kommenden Delphi-Methode wurde diese Methodik nur einstufig¹² durchgeführt. Für die vorliegende Art der Kostenermittlung wurde die einstufige Variante vom Risikomanagementteam als ausreichend erachtet.

¹¹ Gondring (2007) vgl. S. 99

¹² Busch (2003) vgl. S. 95 ff.

2.4.1.3 Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeiten von Einzelrisiken

Für die Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit von Einzelrisiken kommen statistische Methoden zur Anwendung. Die verfügbaren Informationen werden ausgewertet und daraus eine Prognose für den Betrachtungszeitraum erstellt. Die Quantifizierung der Eintrittswahrscheinlichkeit erfolgt nach der Formel:

$$P(E) = \frac{g}{m} \quad (5)$$

$P(E)$ Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses

g Anzahl günstiger Fälle

m Anzahl ungünstiger Fälle

Die beiden beschriebenen Verfahren wurden im Regelfall in Kombination angewendet, um eine ausreichende Fundierung der Aussagen zu gewährleisten.

2.4.2 Beispiel für einen Risikobeurteilungsprozess

Um die Beurteilungsmethodik zu demonstrieren wird an dieser Stelle ein Element bzw. eine Position aus der Kostenberechnung genauer untersucht. Als Beispielement wird aus der Leistungsgruppe 39 Trockenbauarbeiten die Position GFK-Wand 150/4 gewählt. Dabei handelt es sich um Trennwände, welche die einzelnen Mietflächen innerhalb des Beispielprojektes begrenzen. Zum Zeitpunkt der Erstellung der Kostenberechnung sind der Raumbedarf der Mieter und damit die Positionierung der Trennwände noch mit Unsicherheiten behaftet. Im Sinne der Szenariotechnik werden nun, ausgehend vom derzeitigen Planungsstand, die Extremszenarien definiert. Dies wird auf der Basis von alternativen Belegungsplanungen, welche in Varianten vorliegt, durchgeführt. Mit diesem Schritt ist die Schwankungsbreite der Massen definiert. Für die Divergenz der Einheitspreise werden Vergleichswerte aus abgewickelten Projekten statistisch ausgewertet und daraus eine Dreiecksverteilung generiert. Die Eintrittswahrscheinlichkeit des Auftretens der Kosten wird mit 1 bewertet, da dieses „Risiko“ in jedem Fall eintreten wird.

Diese Betrachtung wurde in weiterer Folge für alle relevanten Elemente durchgeführt. In Abbildung 6 ist ein Beispiel eines Einzelrisikoblattes dargestellt. In der verwendeten Software besteht noch die Möglichkeit, weitere Informationen bzw. auch Maßnahmen zu hinterlegen. Das Ergebnis wird in Form einer Verteilungsfunktion und einer Lorenzkurve grafisch dargestellt.

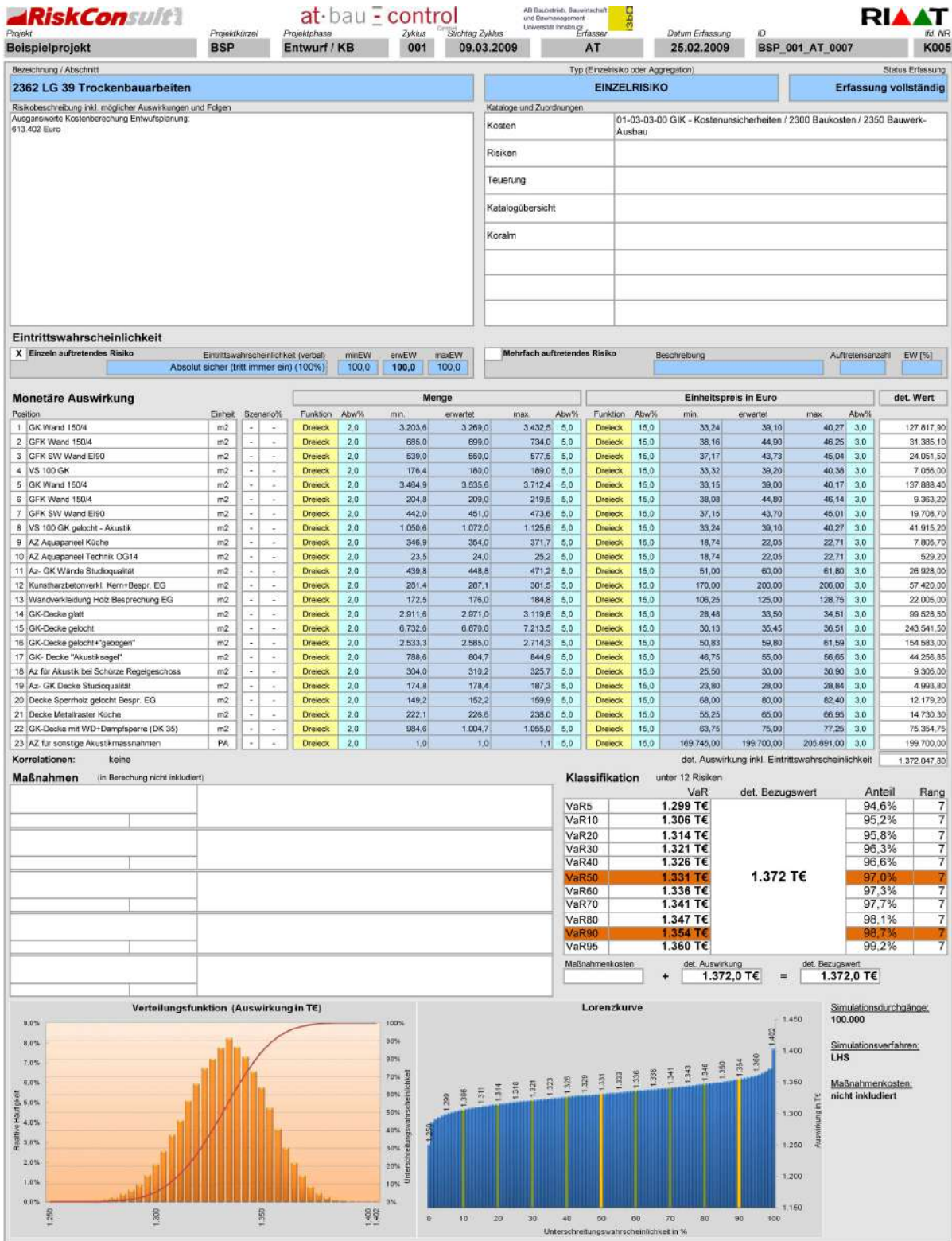


Abbildung 6: Beispiel für ein Einzelrisikoblatt

3 Ergebnis

Betrachtet werden für die Risikokataloge die VaR90-Beträge. Das aggregierte Gesamtergebnis der Risikoanalyse für die GIK 2 zeigt Abbildung 7.

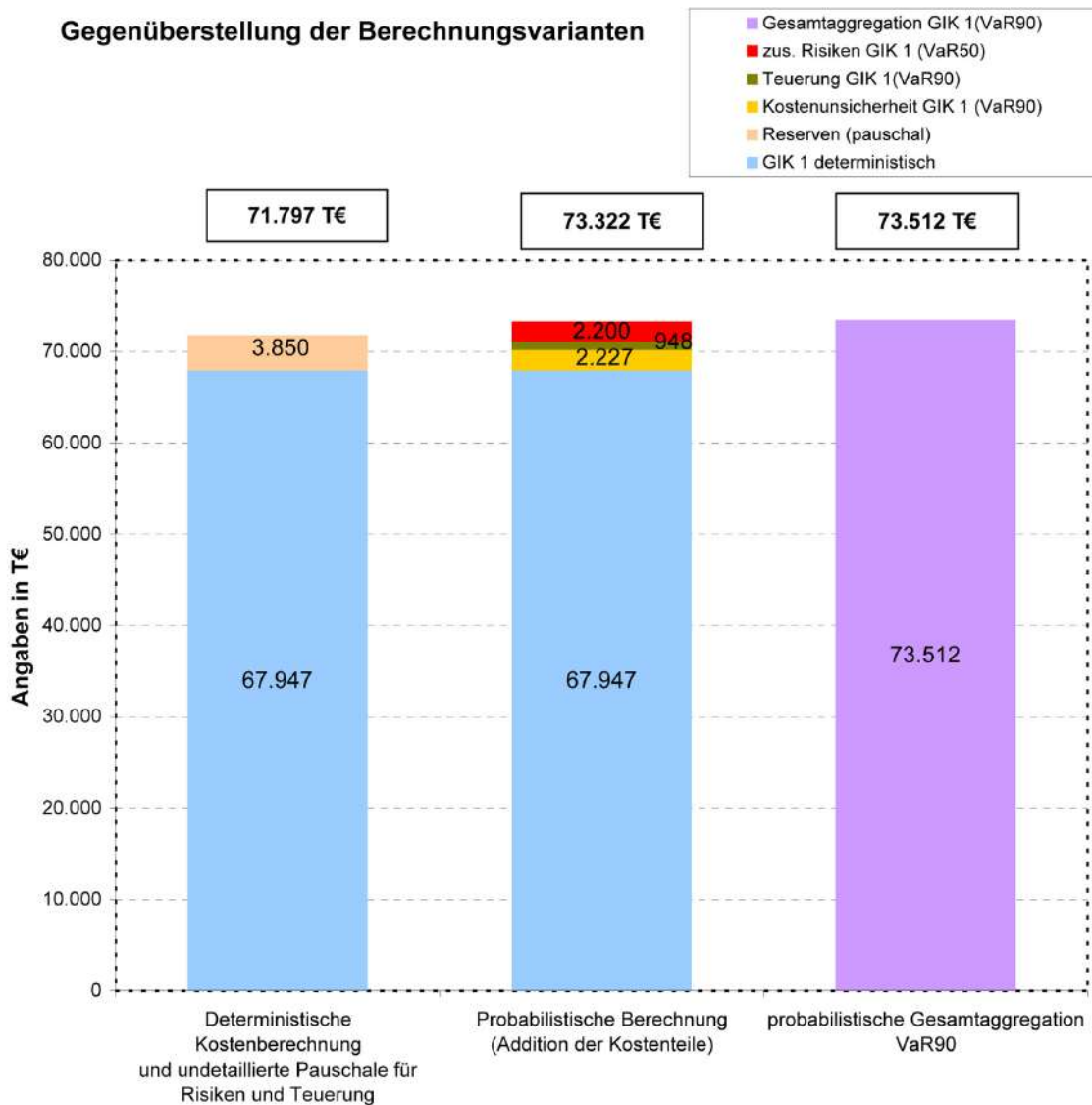


Abbildung 7: Zusammensetzung und Gegenüberstellung der deterministischen und probabilistischen Budgetwerte

An dieser Stelle wird der Mehrwert der probabilistischen Berechnung sehr deutlich. Die erste Säule zeigt das Ergebnis der deterministischen Kostenberechnung mit pauschal aufgeschlagener Reserve, die ohne Berücksichtigung der Wahrscheinlichkeit des Eintretens addiert wurde. Die Informationen, die zur Ermittlung der Pauschale geführt haben, sind jetzt nicht mehr enthalten. Bei der probabilistischen Interpretation ist zum Ersten die Höhe der Reserven mit einer jeweiligen Bandbreite mathematisch ermittelt worden und zum Zweiten wird auch eine Aussage über die Eintrittswahrscheinlichkeit getroffen.

Als Beispiel wird in Abbildung 8 die Gesamtagggregation der GIK 1 dargestellt:



Abbildung 8: Gesamttaggregationsblatt GIK1

3.1 Kostenunsicherheiten

Das Risiko VaR90 aus Kostenunsicherheiten ergibt sich aus der Simulation mit ca. € 2,23 Mio, Abbildung 9. In Abstimmung mit dem Risikomanager wurden für Reserven aus Kostenunsicherheiten daraufhin vom Investor € 2,00 Mio eingestellt.

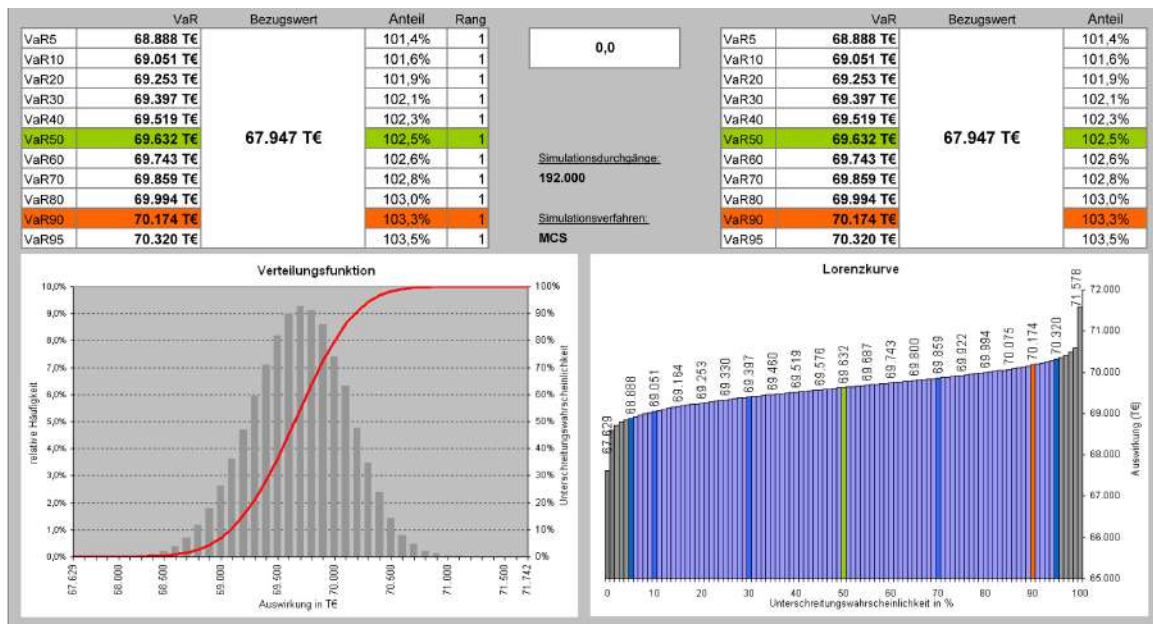


Abbildung 9: Risiko aus Kostenunsicherheiten (GIK 1)

3.2 Vorausvalorisierung

Die Vorausvalorisierung zeigt einen hinsichtlich der Quantil-Werte (VaR 50 und VaR 90) fast konstanten Verlauf und schwankt nur zwischen € 0,912 und € 0,948 Mio. Dies bedeutet aber gleichzeitig, dass unter der Voraussetzung des Eintretens der angesetzten BPI-Steigerungen mit großer Wahrscheinlichkeit mit ca. 1,0 Mio € aus dem Titel „Teuerung“ bzw. Valorisierung zu rechnen ist. Dieser Wert wurde daher auch in den Reserven berücksichtigt.

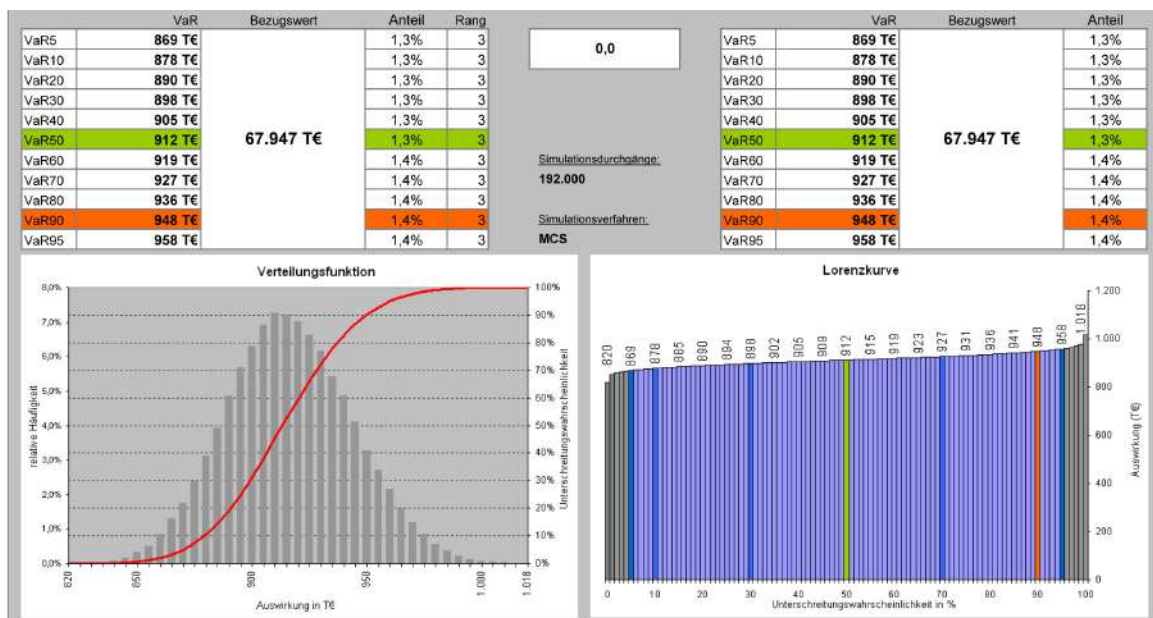


Abbildung 10: Risikopotenzial aus Vorausvalorisierung (Häufigkeitsverteilung und Lorenzkurve)

3.3 Einzelrisiken

Die in der Simulation berücksichtigten (hier beispielhaft angeführten) Einzelrisiken

- Bauherrenentscheidungen
- Planlieferverzüge
- Schlechtwetter
- Koordinationsprobleme AG
- Einhaltung behördlicher Auflagen
- Insolvenzrisiko Unternehmer

wurden hinsichtlich ihrer Quantitäten vom Risikomanagementteam auf Grund von Erfahrungen mit vergleichbaren Projekten eingeschätzt. So wurde z.B. für Verzögerungen aus Planlieferung ein Erwartungswert von 20 Einzelereignissen mit einer Tragweite von im Mittel € 20.000.-/Kalendertag mit einer Maximaldauer pro Ereignis von 4 KT, also max. € 80.000.-/ Ereignis berücksichtigt, wobei die Eintrittswahrscheinlichkeit in diesem Fall mit 100% angesetzt wurde (dass zumindest ein Einzelereignis „Planlieferverzuga“ eintritt).

Das Risiko „Bauherrenentscheidungen“ enthält in der Reserve durch die deterministische Ermittlung bereits einen Ansatz von 850.000 €, der vorerst beibehalten wurde.

Das Ergebnis liefert ein Risikopotenzial VaR50 von € 2,200 Mio. Aus den oben angeführten Gründen wurde für diesen Risikokatalog vorerst im Budget noch keine Reserveposition gebildet sondern der deterministische Wert von € 0,85 Mio für Bauherrenentscheidungen in der Budgetbeurteilung beibehalten. Nach Baubeginn bzw. im Zuge der Bauführung können diese Risiken aber besser eingeschätzt werden und sollten in der weiteren Kostenverfolgung einen fixen Bestandteil darstellen.

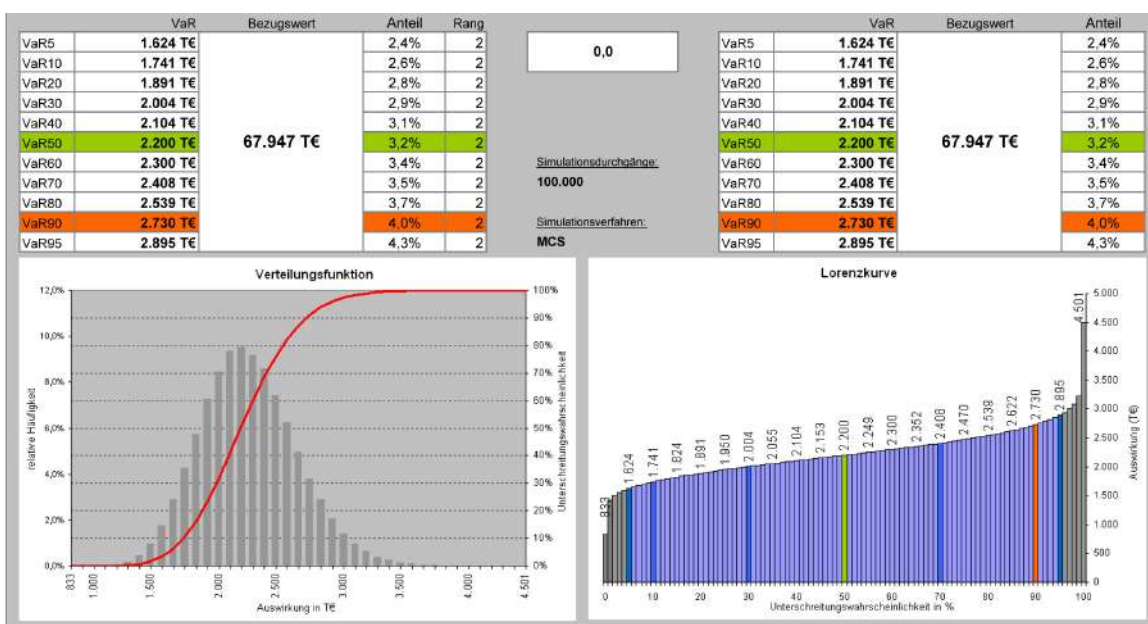


Abbildung 11: Aggregation des Risikopotenzials für „zusätzliche Einzelrisiken“

3.4 Probabilistische Gesamtbetrachtung

Addiert man die Risikopotenziale der drei Kataloge (Kostenunsicherheiten, Vorausvalorisierung, Einzelrisiken) zu den deterministischen GIK 1 ohne Reserven, erhält man einen Gesamtwert

$$\text{GIK 2}_{\text{prob1}} = 67,947 + 2,227 + 0,948 + 2,200 = \text{€ } 73,322 \text{ Mio.} \quad (6)$$

Aggregiert man jedoch die Kataloge insgesamt unter Berücksichtigung der Regeln der Wahrscheinlichkeitstheorie, ergibt sich als VaR90 der Quantilwert von

$$\text{GIK 2}_{\text{prob2}} = \text{€ } 73,512 \text{ Mio} \quad (7)$$

(Abbildung 7) sodass das aus der Risikoanalyse abgeleitete Gesamtbudget ca. 73,5 Mio betragen sollte. Das Risikopotenzial der GIK1 beträgt damit aus (5) insgesamt **€ 5,4 Mio**, wobei die Nutzerspezifischen Kosten nicht untersucht wurden.

Die Empfehlung des Risikomanagementteams lautete daher, das probabilistisch ermittelte Projektbudget B_{prob} mit

$$B_{\text{prob}} = \text{€ } 73,5 \text{ Mio} \quad (8)$$

festzulegen. Im Vergleich zu B_{det} (4) muss der Investor also sein Finanzierungsvolumen um ein Delta D_{prob}

$$D_{\text{prob}} = 73,5 - 71,8 = \text{€ } 1,8 \text{ Mio} \quad (9)$$

erhöhen.

Je nach Risikobereitschaft des Investors ist ein unterschiedlicher Risikozuschlag notwendig. Aus der Risikoanalyse des Beispielprojekts kann man ableiten, dass das untersuchte Risikopotential für die GIK 1 in 90% aller möglichen Fälle (für die Einzelrisiken in 50% aller Fälle) mit **€ 5,40 Mio** abzudecken ist.

Die probabilistisch errechneten Gesamtinvestitionskosten GIK 2 sollten mit ca. 73,5 Mio € budgetiert werden, weil durch die Gesamtwirtschaftliche Lage abzusehen ist, dass – abhängig vom Vergabezeitpunkt - die Vergabesummen eher unter als über den Erwartungswerten liegen werden. Dadurch können Reserven geschaffen werden, die andere Risiken abdecken helfen.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Der unbestrittene Vorteil der probabilistischen Interpretation der Kostenberechnung gegenüber der deterministischen Variante liegt in der mathematischen Berechenbarkeit und Begründbarkeit der Unschärfe des Gesamtkostenwertes. Mit Hilfe der probabilistischen Methodik und den eingesetzten elektronischen Tools ist es nun möglich, diese Schwankungsbreiten mit Zahlen zu hinterlegen und projektspezifisch aufzubereiten. Durch die Verwendung von entsprechender Software für die Quantifizierung der Kostenschwankungen und der Risiken bleibt der zusätzliche Aufwand, der unbestreitbar in der Praxis besteht, in einem vertretbaren Rahmen. Der wesentliche Punkt bei der praktischen Umsetzung ist jedoch folgender:

Die Qualität der Prognose ist nur so gut wie die Qualität der Eingabedaten!

Daher ist es essentiell, dass die Eingangsdaten für das elektronische Tool dem aktuellsten Kenntnisstand entsprechen und auf fundierten Datengrundlagen basieren. Durch die Anwendung der im Beitrag der dargestellten Methodik soll dies gewährleistet sein.

An dieser Stelle wird auf ein Zitat von G. Lombardi anlässlich eines Vortrages bei der Generalversammlung der FGU in Zürich¹³ verwiesen, in dem das „blinde“ Vertrauen auf die Informatik kritisch betrachtet wird:

... denn wie könnte ein Kostenvoranschlag nicht absolut genau sein, wenn er vom Computer errechnet wurde, gestützt auf eine Lawine von Daten und Positionen? ... Dabei merkt man kaum, dass es sich hier meistens um C.U.Z. (Computer unterstützte Zahlen-Spielerei) handelt. Andere sagen sogar C.A.S., d.h. "Computer Assisted Stupidity"! In der Tat ist ja im Bauingenieurwesen jede signifikante Stelle einer Zahl ab der vierten unsicher oder falsch. Nur auf die Nullen ist Verlass!

Ziel der Verfasser ist es, für die Zukunft ein Modell zu entwickeln, in dem auch Betriebs- und Instandhaltungskosten implementiert werden können, um so eine probabilistische Kostenbetrachtung über den Lebenszyklus zu erhalten. Natürlich muss dies innerhalb der Grenzen der seriösen Quantifizierbarkeit erfolgen um noch brauchbare Aussagen zu erhalten. Auch erscheint es sinnvoll, diese Art von Risikobetrachtungen bereits in einer früheren Phase, nämlich in der Projektentwicklung bzw. Projektvorbereitung durchzuführen. In dieser Phase können nur die „Big Points“ betrachtet werden, wobei bei der Auswahl der Risikothemen das Pareto-Prinzip¹⁴, gute Dienste leisten kann. Eine Vergleichsrechnung mit unterschiedlichen Tools steigert dabei die Aussagequalität.

¹³ Lombardi (2004) S. 6

¹⁴ www.wikipedia.org (2009) Paretoprinzip

Literaturhinweise

Österreichisches Normungsinstitut (2009)

ON 49001:2009: Risikomanagement für Organisationen und Systeme; Risikomanagement Anwendung von ISO/DIS 31000 in der Praxis

Standards Australia / New Zealand (2004)

AS/NZS 4360:2004: Risk management

Wiedenmann (2005)

Wiedenmann, M.: Risikomanagement bei der Immobilien-Projektentwicklung unter besonderer Berücksichtigung der Risikoanalyse und Risikoquantifizierung; BOD, Diss. Univ. Leipzig, 2005

Feik (2006)

Feik, R.: Elektronisch gestütztes Risikomanagement im Bauwesen; Ein Konzept eines elektronischen Chancen- und Gefahrenmanagementsystems für Auftraggeber“, BOD, Diss. Univ. Innsbruck, 2006

Wiggert (2009)

Wiggert, M.: Risikomanagement von Betreiber- und Konzessionsmodellen; Verlag der TU Graz, Diss. TU Graz, 10/2009

Link (1999)

Link, D.: Risikobewertung von Bauprozessen, Modell ROAD – Risk and Opportunity Analysis Device, Dissertation an der Technischen Universität Wien, Wien, 1999

www.statistik.at (2009)

http://www.statistik.at/web_de/statistiken/produktion_und_bauwesen/index.html, Stand 22.09.2009

Gondring (2007)

Gondring, H.: Risiko Immobilie, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, München 2007

Busch (2003)

Busch, Th.A.: Risikomanagement in Generalunternehmen, Eigenverlag des IBBB an der ETHZ, Zürich, 2003

Lombardi (2004)

Lombardi, G.: KOSTEN IM TUNNELBAU VOM VORANSCHLAG ZUM ENDPREIS, Vortrag bei der Generalversammlung der FGU in Zürich, Minusio, 2004

www.wikipedia.org (2009)

<http://de.wikipedia.org/wiki/Paretoprinzip>, Stand 22.09.2009

Verzeichnis der Autoren***Tautschnig, Arnold***

Geb. 1955 in Spittal an der Drau; 1973 – 1980 Studium des Bauingenieurwesens und Wirtschaftsingenieurwesens-Bauwesen an der TU Graz, 1979 – 1981, Univ. Assistent am Institut für Mechanik an der TU Graz (Prof. Wohllhart), 1981 – 1983, Univ. Assistent am Institut für Stahlbau und Holzbau an der Univ. Innsbruck (Prof. Tschemmerneegg), 1984 Promotion zum Dr. techn. s.a.p., 1984 –2001 Gruppenleiter, Geschäftsführer und Vorstand der Achammer Tritthart & Partner – Firmengruppe, Innsbruck, 2001 – dato Univ. Prof. für Projektplanung und Projektsteuerung an der Univ. Innsbruck, Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften, Arbeitsbereich für Baubetrieb, Bauwirtschaft und Baumanagement, 2008 – dato Dekan der Fakultät für Bauingenieurwissenschaften- Leopold-Franzens-Universität Innsbruck; Geschäftsführender Gesellschafter der at bau-control GmbH, Innsbruck, Zivilingenieur für Bauwesen, Allgemein beeideter und gerichtlich zertifizierter Sachverständiger;

Fröch, Georg

Geb. 1972 in Silz; 1998 - 2005 Studium der Architektur an der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, 2005 Befähigungsprüfungsprüfung für das Baumeistergewerbe, 2007 Befähigungsprüfung Bauträger, seit 2007 Doktoratsstudium der techn. Wissenschaften an der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck;1992 – 1998 Arch. Mag. Art. R. Troppmair, Innsbruck Projektleitung Planung und Abwicklung, seit 1998 selbständiger Architekt, seit 2007 Universitätsassistent am Arbeitsbereich für Baubetrieb, Bauwirtschaft und Baumanagement, Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften, Universität Innsbruck