

Die exakte Zahl

Gedanken zum Umgang mit Unschärfen

P. Sander
M. Spiegl
E. Schneider

Einleitung

Risiko-Analysen wie auch Kostenermittlungen im Vorfeld eines Projekts sind immer mit Unschärfen behaftet. Insbesondere ist dies in frühen Projektphasen der Fall, wo weder die exakten Massen noch die genauen Kosten bzw. Preise bekannt sind. Massen werden eingangs durch Grobelemente oder umfassende Positionen ermittelt. Eine Feingliederung ist auf Grund des geringen Kenntnisstands in dieser Projektphase meist noch nicht vorhanden.

Werden zur Kostenermittlung abgeschlossene vergleichbare Projekte herangezogen, so ist es üblich, diese „Referenzinformationen“ über die Kosten einer Leistung auf eine einzige Zahl zu verdichten. Oft wird dafür das arithmetische Mittel oder - bei einer größeren Anzahl an Daten - der Medianwert verwendet. Mögliche Unschärfen und Abweichungen auf Grund individueller Projekteigenschaften werden so nicht berücksichtigt. Die Vorgangsweise bei der Massenermittlung ist analog. Die Mengenvordersätze von Grobelementen, die ohne Zweifel mit sehr hohen Unschärfen behaftet sind, werden durch eine einzige Zahl beschrieben.

Bei einem derartigen Vorgehen werden Informationen über eine mögliche Abweichung (nach oben oder unten) vom eingetragenen Wert der Mengenvordersätze und der möglichen Kosten nicht berücksichtigt, obwohl diese Informationen oftmals vorliegen bzw. leicht abzuschätzen sind. Diese Informationen bleiben dann erhalten, wenn statt einer exakten Zahl die Angabe einer Bandbreite erlaubt ist, deren Werte innerhalb nach Bedarf noch zusätzlich gewichtet werden können.

Die populäre Forderung nach einer exakten Zahl steht in direktem Widerspruch zum Wunsch nach einer möglichst genauen Prognose.

Bei der Ermittlung von Risiken kann dieses Vorgehen noch weit drastischere Auswirkungen haben, da für die Risikoabschätzung meist weniger Referenzwissen zur Verfügung steht als für die Ermittlung der Basiskosten. Der oft eingeschlagene Weg, die Risiken mittels deterministischer Methoden (Eintrittswahrscheinlichkeit x Finanzieller Auswirkung = Schaden) zu ermitteln und die so ermittelten Schadensbeträge einfach aufzusummieren, führt zu Ergebnissen mit einer äußerst geringen Aussagekraft. Abgebildet wird so nur eines von vielen möglichen Szenarien, in dem alle Risiken anteilig ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit Schaden verursachen. Abweichungen bedingt durch mögliche andere Szenarien werden nicht berücksichtigt. Es ist zudem höchst unwahrscheinlich, dass gerade das dieser einen deterministischen Zahl zu Grunde liegende Szenario Realität wird.

Prognosen

Das Ziel von Prognosen ist es, die zukünftige Realität so genau wie möglich abzubilden. Zudem ist allerdings auch offensichtlich, dass Prognosen, da durch sie versucht wird die Zukunft zu beschreiben, immer mit Unschärfen behaftet sind.

Wäre das nicht der Fall hätte der Beruf des Propheten oder des Weissagers wohl nie ein so hohes Ansehen genossen, allerdings hätten im Gegenzug viele Angehöriger dieser Berufsgruppen wohl auch ein wesentlich längeres Leben genossen.

Für den Besteller, Eigentümer oder Investor ist eine möglichst genaue Kostenprognose schon in der Frühphase eines Projekts äußerst wichtig. Um das zu erreichen, ist es, wie bereits angesprochen, üblich Basiskosten deterministisch zu ermitteln und anschließend die Risiken und andere kostentreibende Faktoren wie Teuerung etc. in Form eines prozentualen Zuschlags zu berücksichtigen. Diese Methode lässt eine Betrachtung von Unschärfen allerdings außer Acht.

„Das Verhalten eines deterministischen Systems in der Zukunft wird eindeutig und vollständig durch Anfangsbedingungen in der Gegenwart oder Vergangenheit festgelegt.“ [1, S. 67] Ein deterministisches System steht somit für eine vollständige Erklärung und eine eindeutige Vorhersage. Dass ein deterministisches System bei Prognosen, die wie diskutiert mit Unschärfen behaftet sind, nicht mit Erfolg angewendet werden kann, ist demnach offensichtlich.

Hier findet sich in das Induktionsproblem wie es HUME formulierte wieder¹, das auch auf die vorliegende Problematik übertragen werden kann. Eine vollständige Verallgemeinerung und Übertragbarkeit der Ergebnisse eines abgeschlossenen Projekts auf ein zukünftiges Projekt, was zu einer vollständigen Bestimmtheit führen würde, ist nicht zielführend, sogar falsch. Dennoch sind deterministische Herangehensweisen bei Kostenermittlungen und Risiko-Analysen im Bauwesen weit verbreitet und derzeit der Stand der Technik.

Nach dem Grundsatz der induktiven Logik ist eine Generalisierung und Übertragbarkeit allerdings nur zulässig, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind [2, S. 39]:

1. Verallgemeinerungen müssen auf einer großen Anzahl von Beobachtungen beruhen.
2. Die Beobachtungen müssen unter einer großen Vielzahl von Bedingungen wiederholt worden sein.
3. Keine Beobachtungsaussage darf im Widerspruch zu dem entsprechenden allgemeinen Gesetzen stehen.

Dass diese Bedingungen auf Grund der Individualität jedes Projekts und der Bauindustrie als Bereitschaftsindustrie (keine Serienfertigung) nicht im wissenschaftlichen Sinn zu erfüllen sind, ist offensichtlich.

¹ Aus Aussagen über die Vergangenheit und Gegenwart lassen sich keine Vorhersagen über die Zukunft ableiten.

Bezogen auf die vorliegende Thematik lässt sich folgender Syllogismus herleiten:

- (1) Prognosen sind grundsätzlich unscharf**
(2) Kostenschätzungen und Risiko-Analysen sind Prognosen
-
- Konklusion: Kostenschätzungen und Risiko-Analysen sind mit Unschärfen behaftet**

Abbildung 1: Syllogismus Prognosen

Prämisse (1), wie oben diskutiert, ist offensichtlich, da sich die Zukunft nun mal nicht vorhersagen lässt. Prämisse (2) setzt Kostenschätzungen und Risiko-Analysen auf Grund von (1) mit Prognosen gleich. Diese Aussage stützt sich auf die Tatsache, dass durch beide Methoden versucht werden soll die Zukunft möglichst realitätsgetreu abzubilden. Die Schlussfolgerung ist folglich, dass auch Kostenschätzungen und Risiko-Analysen Unschärfen enthalten müssen, da sie Prognosen sind. Beide Prämissen sind wahr und evident, sodass die logische Schlussfolgerung als Beweis anzusehen ist.

Um mit Unsicherheiten arbeiten zu können greift CARNAP [4] die Idee der induktiven Logik auf und erweitert diese um den Bereich der Wahrscheinlichkeitstheorie.

Induktive Logik = Logik + Wahrscheinlichkeitstheorie [1, S. 107]

Der Ansatz ermöglicht somit eine Auswertung von Ergebnissen entsprechend den Grundsätzen der Wahrscheinlichkeitstheorie. Der Wahrheitsgehalt einer Aussage kann nun auch mit einer Zahl zwischen 0 und 1 angegeben werden. Überträgt man diese Idee auf die angesprochene Problematik bei Prognosen für Bauprojekte, so ließen sich Erfahrungswerte aus z.B. vorangegangenen Projekten, mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitstheorie (Einbeziehung von Unschärfen) auf ein zukünftiges Projekt bedingt übertragen.

Umgang mit Unschärfen

Wie sich zeigt, ist das Problem beim Umgang mit Prognosen deren generelle Unschärfe. Allerdings steht, wie bereits erörtert, der Wunsch nach einer möglichst exakten Vorhersage im direkten Widerspruch zum Wesen einer Prognose. Dieser Wunsch nach Exaktheit kann auch nicht durch die Verwendung von deterministischen Systemen erfüllt werden, weil diese eine totale Bestimmtheit nur suggerieren.

Wir sind es gewohnt mit exakten Zahlen (deterministisch) zu rechnen. Bilanzierungen wie Prognosen in allen Wirtschaftszweigen scheinen nur dann Gehalt zu haben, wenn unter dem Strich eine einzige Zahl steht, deren Information klar und eindeutig ist. Es scheint selbstverständlich diese eine Zahl nicht weiter zu hinterfragen. Dabei wird solch eine Zahl oft auch als wahr hingegenommen, da die mathematische Korrektheit ihrer Berechnung (die Addition der Summanden) direkt prüfbar ist.

Allerdings ist die Überraschung oft groß, wenn die tatsächlichen Kosten der Projektausführung stark von der vor Projektbeginn prognostizierten Zahl abweichen. Das Problem hat seine Ursache dann meist im dünnen Informationsgehalt der deterministischen Kostenberechnung, da Bandbreiten für die möglichen Kostenschwankungen (Unschärfen), die einen Mehrgehalt an Information bieten würden, nicht berücksichtigt wurden.

Eine weitere, nicht unbedeutende Rolle, spielt der psychologische Aspekt. Eine exakte Zahl erscheint dem Betrachter vertrauenswürdiger als die Angabe einer Bandbreite. So fühlt man sich beispielsweise besser beraten, wenn die Frage nach den Heizölkosten für den nächsten Winter in einer Prognose mit 0,65 Euro pro Liter beantwortet wird, anstatt mit einer Bandbreite von 0,55 bis 0,70 Euro pro Liter. Der Wahrheitswert der Aussage mit 0,65 Euro pro Liter ist aber geringer als der von 0,55 bis 0,70 Euro pro Liter. Die Wahrscheinlichkeit, dass der tatsächliche Preis zwischen den Werten 0,55 und 0,70 Euro liegt, ist deutlich höher als dass der Preis tatsächlich genau den Wert 0,65 Euro annimmt. Diese Wahrscheinlichkeit geht gegen Null.

Diese Problematik untersucht auch RESCHER in seinem philosophisch-ökonomischen Kommentar „Wissenschaftlicher Fortschritt – Eine Studie über die Ökonomie der Forschung“:

„Im Bereich der Prognose scheint eine Art von Unschärfeprinzip zu wirken. [...] Den Menschen betreffend extensive Voraussagen kann man nur um den Preis sinkender Genauigkeit machen – indem man niedrige Ansprüche an die Detailgenauigkeit des Quotienten Spezifität / Generalität stellt.“ [3, S. 3]

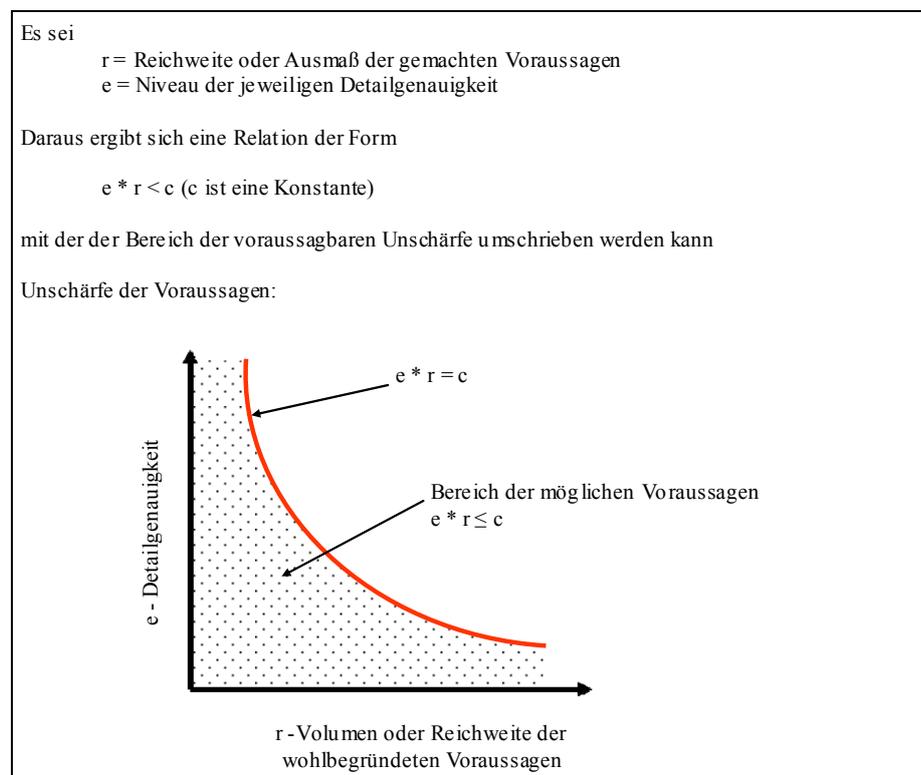


Abbildung 2: Unschärfeprinzip für Prognosen nach RESCHER [3, S. 3]

Zusammenfassend lässt sich festhalten: behält man einen bestimmten Detaillierungsgrad bei, je weiter man in die Zukunft blickt, werden Aussagen unsicherer. Um die Sicherheit einer Aussage

bei weiter vorausschauenden Prognosen beizubehalten, ist die Detailgenauigkeit der Aussage abzumindern.

In anderen Worten und verallgemeinert bedeutet dies, dass mit zunehmender Bestimmtheit einer Prognose deren Sicherheit abnimmt.

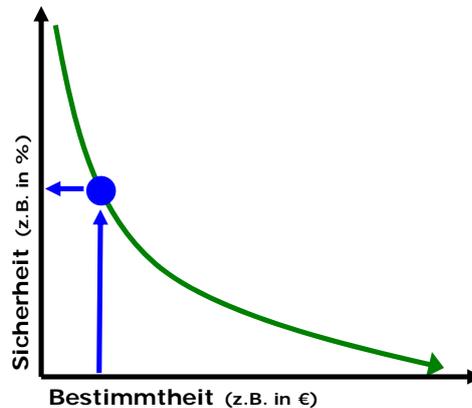


Abbildung 3: Verhältnis Sicherheit und Bestimmtheit bei Prognosen

Je mehr eine Prognose determiniert wird, also je exakter z.B. Kosten prognostiziert werden, desto unsicherer ist die Prognose. Es gilt daher die Bestimmtheit entsprechend dem eigenen Kenntnisstand so zu wählen, dass zu jeder Phase eines Projektes Aussagen über Kosten und Risiken mit etwa der gleichen Sicherheit gemacht werden können.

Dieser Grundsatz ist nun auf zwei der angesprochenen Punkte übertragbar:

- 1) Das Übernehmen von Referenzdaten als Grundlage der eigenen Werteerhebung
- 2) Die Prognose der erhobenen Werte in die Zukunft

Bei beiden Arbeitsschritten müssen Unschärfen berücksichtigt werden, was dazu führt, dass die Unschärfe aus Schritt 1 durch die Unschärfe aus Schritt 2 erweitert werden muss.

Probabilistische Methoden

Um Unschärfen zu berücksichtigen, können Methoden der Wahrscheinlichkeitstheorie angewandt werden. Die Bandbreiten werden durch sogenannte Verteilungsdichten (Bandbreite der möglichen Kosten mit Gewichtung der Werte) modelliert.

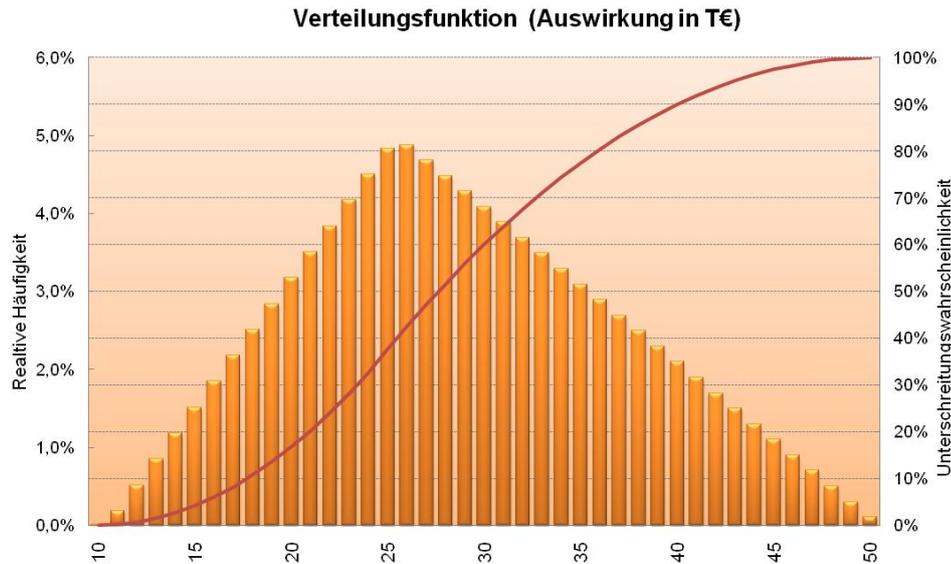


Abbildung 4: Verteilungsdichte mit gewichteten Werten mittels Dreiecksfunktion in der Bandbreite 10-25-50 T€

In Abbildung 4 ist eine solche Verteilungsdichte dargestellt. Die Kosten werden hier zwischen 10 T€ und 50 T€ geschätzt und sind zusätzlich noch gewichtet. So wird als wahrscheinlichster Wert 25 T€ prognostiziert. Werden prognostizierte Werte durch die Angabe von Bandbreiten beschrieben, so ist eine simple Addition zu einem höheren Gesamtergebnis nicht mehr möglich. Die einzelnen Verteilungsdichten werden dann mittels Simulationsverfahren (Monte-Carlo-Simulation, Latin-Hypercube-Sampling) verdichtet. Ergebnis ist eine Wahrscheinlichkeitsverteilung, mit der sich konkrete Aussagen über das gesamte Kosten- oder Risiko-Potenzial und dessen Wahrscheinlichkeiten machen lassen.

Mit Verwendung probabilistischer Methoden ist es möglich den tatsächlichen Wissensstand über Kosten und Risiken zu jeder Projektphase mittels der Bandbreiten (größere bei höheren Unschärfen bzw. kleinere bei geringeren Unschärfen) abzubilden. Dadurch kann die Realität wesentlich besser modelliert werden als durch einen einzigen deterministischen Wert.

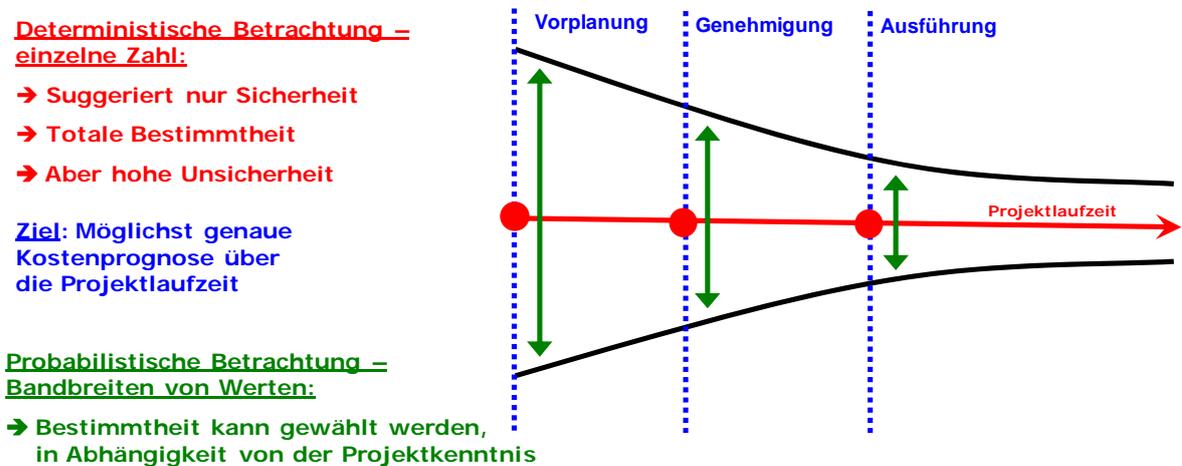


Abbildung 5: Gegenüberstellung deterministische und probabilistische Methode im Projektverlauf

Die Angabe einer exakten Zahl bei Prognosen erscheint unter Berücksichtigung der genannten Aspekte abwegig. Man stelle sich einen privaten Bauherrn vor, der von einem Architekten als Kostenprognose für den Bau seines Einfamilienhauses von 175 T€ erhält. Solche determinierten Prognosen sind üblich, obwohl allen Beteiligten klar ist, dass das Bauvorhaben nie genau 175 T€ kosten wird. Der wahre Wert wird darunter oder im Regelfall darüber liegen. Es ist nicht klar mit welcher Wahrscheinlichkeit die Kosten von 175 T€ überschritten bzw. unterschritten werden. Diese Information wäre allerdings für den Bauherrn wichtig, damit er seine Finanzierung besser planen kann. Hält sich der Bauherr exakt an die Prognose der Architekten und es treten aber tatsächlich Mehrkosten von 20% auf, so sind 35 T€ – wenn überhaupt möglich - teuer nachzufinanzieren. Bei größeren Projekten können diese Mehrkosten schnell in die Millionen gehen.

Liegt allerdings die Information über eine mögliche Kostenbandbreite unter Berücksichtigung von Unschärfen vor (Wahrscheinlichkeitsverteilung), so ist dem Bauherrn ersichtlich, welche Kosten mit welcher zugehörigen Wahrscheinlichkeit nicht überschritten werden sollten. Er kann dann das Budget für Kosten und Risiken entsprechend seiner eigenen Risikobereitschaft bestimmen und entsprechend berücksichtigen.

Die Entscheidungsgrundlage ist eine Wahrscheinlichkeitsverteilung, die das Gesamtrisiko-Potenzial darstellt. Auf Basis der dargestellten Werteinheiten (z.B. Geld) mit zugehöriger Wahrscheinlichkeit kann nun der Auftraggeber/Investor entscheiden, welches Risiko-Potenzial in das Budget aufgenommen werden soll. Wenn es das Ziel ist, 80% des Risiko-Potenzials zu decken, dann ist der Wert für die Unterschreitungswahrscheinlichkeit von 80% (Value at Risk) zu ermitteln.

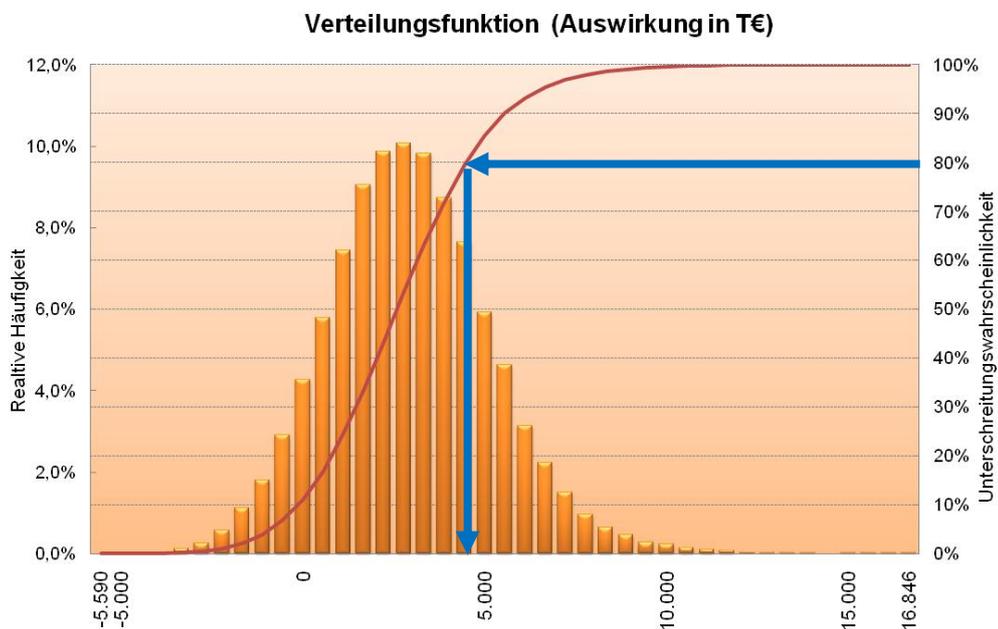


Abbildung 6: Beispiel: Ermittlung des Risiko-Budgets für eine 80% Deckung (€ 4,54 Mio.) des erfassten Risiko-Potenzials mittels Wahrscheinlichkeitsverteilung

Praktische Anwendung

Um den probabilistischen Zugang für Risiko-Analysen und Kostenermittlungen zu ermöglichen, wurde von den Autoren das Software-Tool „Risk Analysis and Administration Tool“ (RIAAT) entwickelt [7, 8]. Das Tool ermöglicht für Risiko-Analysen eine systematische Identifikation und Bewertung von Risiken. Diese Vorgangsweise und das zyklische Überarbeiten von Risiko-Bewertung und Maßnahmen in jeder Projektphase – also ein umfassendes Risiko-Management – werden durch RIAAT unterstützt. Neben der Risiko-Analyse kann die bereit gestellte Methode auch für probabilistische Kostenermittlungen verwendet werden.

Bei der Bewertung der finanziellen Auswirkung für ein Risiko können mehrere Unterelemente angegeben werden (z.B. Anker, sonstige Aufwendungen, Lohnkosten, Zeitgebundenen Kosten, etc.). Jedes Element besteht aus zwei Faktoren – Menge und Preis/Kosten – wobei jeder Faktor wiederum individuell durch eine eigene Verteilungsdichte nachvollziehbar modelliert werden kann.

Aus Erfahrung zeigt sich, dass in der Mehrzahl der Fälle zur Modellierung Dreieckfunktionen und Rechteckfunktionen ausreichend sind. Auch PERT steht als Alternative zur Verfügung. Zusätzliche Flexibilität wird durch das Modul BUILD ermöglicht. BUILD erlaubt das individuelle Modellieren von Verteilungsdichten für spezielle Fälle. So können auch Risiken wie Flutereignisse oder Verkehrsunfälle, für die statistische Daten existieren, individuell modelliert werden. Bei Bedarf können auch weitere Funktionen wie Normal- und Lognormal-Verteilung und andere, die in der mathematischen Statistik Verwendung finden, eingesetzt werden.

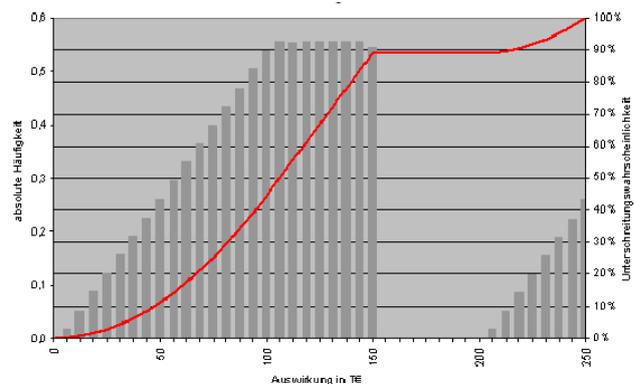
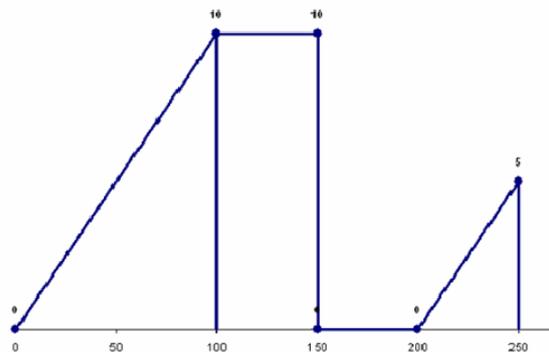


Abbildung 7: Individuelle Modellierung und Simulationsergebnis mit BUILD

Für eine realitätsnähere Darstellung können Faktoren und Kostenelementen auch in Korrelation gesetzt werden. Werden Maßnahmen eingebunden, so können die Maßnahmenkosten zusammen mit den Risikokosten zum umfassenden Risiko-Potenzial aggregiert werden.

Neben den probabilistischen Basisanforderungen zu Modellierung und Simulation [5, 6] unterstützt die Software die Verwaltung der Risiken über mehrere Projektphasen hinweg. Kostenermittlungen und Risiko-Analysen sollten für die folgenden Phasen durchgeführt werden: Grundlagenermittlung, Vorprojektplanung, Einreichplanung, Ausschreibungsplanung, Ausführung.

In jeder Phase ist ein Zyklus für die Risiko-Analyse durchzuführen. Abgesehen vom ersten Zyklus, wo Risiko-Kataloge strukturiert und andere Grundlagen bestimmt werden, wiederholen sich

die restlichen Schritte bei jedem Zyklus. Nur zwischen den Phasen Ausschreibungsplanung und Ausführung sind größere Modifikationen notwendig, weil sich mit dem Übergang zur konkreten Bauausführung und der dabei geschlossenen Verträge das Risiko-Potenzial des Projektes stark ändern kann.

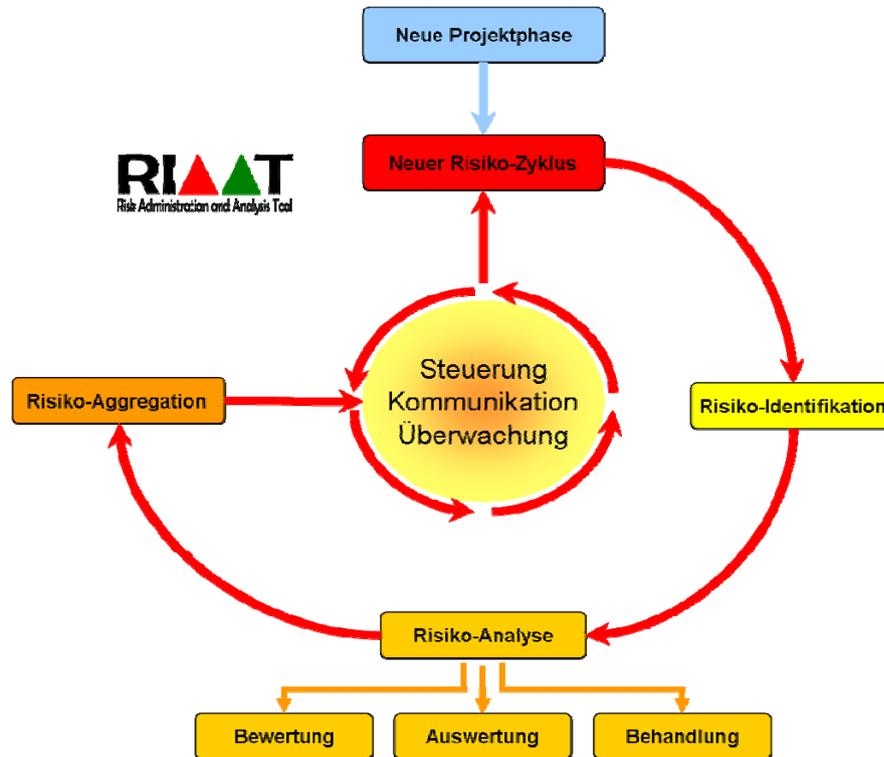


Abbildung 8: Phasen des Risiko-Management-Prozesses in RIAAT

Nachdem alle identifizierten Risiken bewertet und ausgewertet wurden, ist der letzte Schritt im Zyklus die Aggregation zum Projekt-Risiko-Potenzial. Das Ergebnis ist dann eine Verteilungsfunktion, wie sie in Abbildung 6 zu sehen ist.

RIAAT bietet eine umfassende Dokumentation, die es erlaubt, Einzelrisiken wie auch das Gesamt-Risiko-Potenzial während der gesamten Ausführungsphase transparent zu verfolgen. Das Reportwesen ist individuell anpassbar. Standardelemente eines Risiko-Reports sind die Katalogdarstellung der Risiken und Diagramme zu Einzelrisiko- und Gesamtrisiko-Potenzial. Weiterhin sind im Bericht die Maßnahmen inkl. Kosten (Brutto/Netto Damagebetrachtung) und eine detaillierte Beschreibung der finanziellen Konsequenzen enthalten. Wenn gewünscht, liefert der Report auch Angaben zur Risikoveränderung über die Projektlaufzeit.

Zusammenfassung

Die Anwendung probabilistischer Methoden liefert Auftraggeber/Investor wie auch ausführende Unternehmen ein Mehr an Information über das individuelle Risikopotenzial des Projekts. Neben fundierten Budgetierungsgrundlagen und Reduktion der Unsicherheit bei der Projektfinan-

zierung bietet RIAAT Möglichkeiten zum gezielten Nutzen von Chancen und rechtzeitigen Gegensteuern bei Gefahren in der Ausführungsphase.

Die in diesem Beitrag vorgestellte Software unterstützt die Methoden zur Kosten- und Risiko-Analyse mit einer umfassenden Verwaltung und Dokumentation von Risiken über alle Projektphasen. Mit Hilfe von RIAAT können somit in jeder Projektphase Aussagen zum Risiko-Potenzial gemacht werden. In Kombination mit einer Kostenermittlung, die Unschärfen in Bezug auf Mengen und Preise berücksichtigt, wird in Berichtsform eine solide Basis an Informationen für die Budgeterstellung und das Kosten- und Risiko-Management zur Verfügung gestellt.

Literatur:

- [1] **Lauth, Bernhard; Sareiter, Jamel** „Wissenschaftliche Erkenntnis“, mentis, 2005
- [2] **Chalmers, Alan F.** „Wege der Wissenschaft“, Springer, 2007
- [3] **Rescher, Nicholas** “Wissenschaftlicher Fortschritt”, Walter de Gruyter, 1982
- [4] **Carnap, Rudolf; Stegmüller, Wolfgang** „Induktive Logik und Wahrscheinlichkeit“, Springer, 1959
- [5] **Morgan, M. G, Henrion, M., Small, M.** “Uncertainty: A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis”, Cambridge University Press, Cambridge, 1992
- [6] **Vose, D.** “Risk Analysis – A quantitative Guide”, John Wiley & Sons, Chichester, 2008
- [7] **Sander, P.; Spiegl, M.; Schneider, E.** “Probability and Risk Management“, Artikel Tunnels & Tunnelling International, APRIL 2009
- [8] **Sander, P.; Spiegl, M.; Schneider, E.** “Probabilistische Kosten- und Risiko-Analyse für Großprojekte“, Festschrift – 40 Jahre Institut für Bauwirtschaft TU Graz, 2009

Autoren: Dipl.-Ing. Philip Sander, Geschäftsführer RiskConsult GmbH
 Dipl.-Ing. Dr. tech. Markus Spiegl, Geschäftsführer RiskConsult GmbH und SSP
 BauConsult GmbH
 em. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Eckart Schneider
 Universität Innsbruck, Fakultät für Bauingenieurwissenschaften und Umwelt-
 technik, Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften, Arbeitsbereich
 Baubetrieb, Bauwirtschaft und Baumanagement

Kontakt: Mail: psander@riskcon.at, Mobil: +43-664-4035146