

# 60

## JAHRE

### A. KROPIK

# Festschrift

zum 60. Geburtstag von Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Andreas Kropik  
im Rahmen der 10. Wiener Gespräche

Herausgeber:

Gallistel / Oswald / Raab / Szkopecz / Wallner

Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement, TU Wien

## 29.

---

### **Die Unschärfe als Teil der Lösung**

---

**Dipl.-Ing. Dr.techn. Markus Spiegl**

SSP BauConsult GmbH

Olympiastraße 39

6020 Innsbruck

**Dipl.-Ing. Dr.techn. Philip Sander**

RiskConsult GmbH

Olympiastraße 39

6020 Innsbruck

[www.riskcon.at](http://www.riskcon.at)

## 1. Einleitung

In einer Veröffentlichung von *Kropik*<sup>1</sup> iwS als Replik auf die vorlaufende Veröffentlichung von *Kodek*<sup>2</sup> zu ABGB § 1168 Abs 1 Satz 2 hat *Kropik* das Thema „Scheingenauigkeit“ bei der ex-post Betrachtung von gestörten Bauabläufen angesprochen. Dieser Hinweis auf die systembedingte Unschärfe bei der Diskussion zu Leistungsstörung ist bei uns in mehrfacher Weise auf fruchtbaren Boden gefallen. Seit beinahe 20 Jahren beschäftigen wir uns in der täglichen Arbeit mit dem systematischen Umgang mit Unschärfe<sup>3</sup> für

- Kostenprognosen
- Risikoanalysen
- Bauzeituntersuchungen

In den meisten Fällen liegt die Ursache fehlerhafter Prognosen primär in der Anwendung unzureichender Methoden zur Kostenermittlung und Risiko-Analyse<sup>4</sup>, sekundär überlagert vom Effekt des „Optimism bias“.

In letzter Zeit wird vermehrt auch der Mehrwert des systematischen Umgangs mit Unschärfe für

- Angebotsprüfung, Preisprüfung
- Claim- und Anti-Claimfragen zu Mehrbauzeit und Mehrkosten

erkannt und angewandt.

Nachdem diese Methoden noch nicht allgemein verbreitet sind, möchten wir das Stichwort „Scheingenauigkeit“ von Prof. *Kropik* positiv aufgreifen um im Rahmen dieser Festschrift zu seinem 60iger das Thema systematischer Umgang mit Unschärfe/Unsicherheit beispielhaft zu beleuchten.

---

<sup>1</sup> *Kropik*, Die Ermittlung der angemessenen Entschädigung, *bau aktuell*, 1/2018, 34.

<sup>2</sup> *Kodek*, Mehrkosten beim Bauvertrag: Dogmatische Grundlagen und praktische Anwendung, *bau aktuell*, 4/2017.

<sup>3</sup> *Sander/Spiegl*, Der Trugschluss der exakten Zahl – Fortschrittliche Wege zur Kosten- und Risikoanalyse, *bau aktuell*, 03/2011, 65ff.

<sup>4</sup> *Reilly*, Cost Estimating and Risk-Management for Underground Projects, World Tunnel Congress, Istanbul, Mai 2005.

Projektbeispiele (auszugsweise), an denen diese Methoden von uns derzeit umgesetzt werden:

- Ausbau Airport Lima (Peru)
- Canarsie Tunnel, L-Line zwischen Brooklyn und Manhattan, MTA, New York (USA)
- BART Silicon Valley Phase II Extension Project (USA)
- Unterstützung Vergleiche in mehreren großen Claims
- Airport Montreal (CA)
- Rader Hochbrücke (D)
- Neubau Rheinbrücke Duisburg (D)
- Verschiedenste Angebots- und Preisprüfungen

## 2. Prognose und Unschärfe bzw Unsicherheit

Prognosen in die Zukunft sind mit Unsicherheiten behaftet. Dies betrifft genauso die AG-seitigen Prognosekosten, wie auch die Angebotskalkulation eines Bieters für ein Bauprojekt – ggf unterscheiden sich die Optionen, wie mit auftretenden Abweichungen umgegangen wird bzw werden kann.

Wenn die Zukunft vorhersagbar wäre, wären Börsencrashes ausgeschlossen und Buchmacher arbeitslos. Bereits seit über 300 Jahren hat man die innewohnende Unsicherheit bei der Vorhersage der Zukunft verstanden. Leibniz schrieb 1703 einen Brief an Bernoulli: „Nature has established patterns originating in the return of events, but only for the most part“.<sup>5</sup> Die Vergangenheit kann als ein nützlicher Anhaltspunkt für die Zukunft angesehen werden, jedoch gibt es keine Garantie dafür, dass diese auch tatsächlich so eintritt. Die Erfassung und der Umgang mit Unsicherheiten spielt bei Großprojekten eine zentrale Rolle – ist jedoch nur ein Baustein von mehreren zum Projekterfolg. Deterministische Annahmen (Punktschätzungen) sind kein adäquates Mittel, um Prognosen abzubilden, sie suggerieren eine falsche Sicherheit.<sup>6</sup>

Eine bewährte Methode mit dieser Unsicherheit/Unschärfe umzugehen bietet die Probabilistik. Während der Einsatz von probabilistischen Methoden zur Verbesserung der Prognosesicherheit in manchen Wirtschaftszweigen schon breit etabliert ist, wurde dieser Schritt im Bausektor Mitteleuropas bisher noch nicht

---

<sup>5</sup> Bernstein, *Against the Gods, the remarkable story of risks*, John Wiley & Sons Inc., NYC 1996.

<sup>6</sup> Sander/Entacher, *Integrierte Kosten- und Bauzeitanalyse am Beispiel internationaler Projekte*, Bauwirtschaft 3-4/2017, 166ff.

vollzogen, wobei gerade dort Kosten und vor allem Risiken mit großen Unschärfen behaftet sind.<sup>7</sup>

Bei der Probabilistik werden nicht mehr deterministische Werte verarbeitet, sondern es besteht die Möglichkeit jedem Parameter seine Unschärfe in Form einer zB unsymmetrischen Bandbreite und ggf einer Verteilungsdichte mitzugeben. Mittels Simulationsverfahren werden diese Einflussgrößen aggregiert. Als Ergebnis bekommt man eine Verteilungsfunktion für Kosten und/oder Zeit – aus welcher den jeweiligen Werteinheiten (WE) oder Zeiteinheiten (ZE) zuordenbare Unterschreitungswahrscheinlichkeiten bzw P-Werte entnommen werden können.

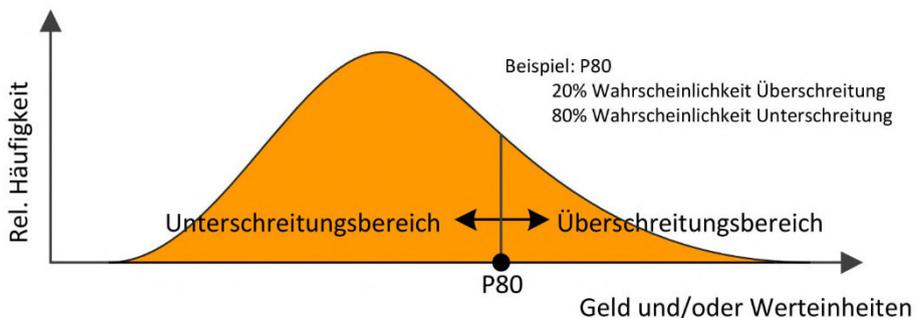


Abbildung 1: Histogramm der relativen Häufigkeit eines Ergebnisses

Nach unserer Erfahrung kann diese – im ersten Moment – neue Informationsmenge, aber sehr konstruktiv genutzt werden, weil:

- Im Falle von Prognose wird die inhärente Unschärfe des Ergebnisses plakativ und nicht durch eine diskrete Zahl – welche falsche Sicherheit suggeriert – verdrängt.
- Im Streitfall kann eine Einigung über Bandbreiten psychologisch viel leichter gefunden werden, als über diskrete Werte (zB Zeit- und/oder Kostenauswirkungen).

---

<sup>7</sup> Sander/Entacher, Integrierte Kosten- und Bauzeitanalyse am Beispiel internationaler Projekte, Bauwirtschaft 3-4/2017, 171.

### 3. Anwendungsbeispiele

Alle im Folgenden dargestellten Beispiele wurden mit unserer Software-Eigenentwicklung RIAAT<sup>8</sup> bearbeitet.

#### 3.1. Kostenprognose und Risikoanalysen

Im Bereich der Kostenermittlung können nachfolgende Methoden unterschieden werden:<sup>9</sup>

##### **Deterministische Kostenermittlung**

Die deterministische Kostenermittlung liefert einen einzelnen Wert, der sich als Summe der Produkte aus wahrscheinlichsten Mengen und wahrscheinlichsten Preisen ergibt.

##### **Bandbreitenmethode**

Die Bandbreitenmethode liefert folgende drei Resultate:

1. Summe der Produkte aus minimalen Mengen und minimalen Preisen
2. Summe der Produkte aus wahrscheinlichsten Mengen und wahrscheinlichsten Preisen
3. Summe der Produkte aus maximalen Mengen und maximalen Preisen

##### **Quadratwurzel-Methode**

Diese Methode der Kostenermittlung liefert einen einzelnen Wert, der sich als

Summe aller Basiskosten inkl eines Zuschlags für die Bandbreite der Basiskosten ergibt. (Quadratwurzel der Summe der Quadrate der relativen Basiskosten-Bandbreiten)

##### **Probabilistische Kostenermittlung**

Die probabilistische Kostenermittlung kombiniert die Basiskosten in einer Simulation. Das Resultat ist eine Wahrscheinlichkeitsverteilung.

---

<sup>8</sup> [www.riaat.riskcon.at](http://www.riaat.riskcon.at).

<sup>9</sup> Verändert nach: *Spiegl/Sander*, Systematisches Kosten- und Risikomanagement bei Großprojekten, FS 20 Jahre FH Campus, Wien 2017.

Nachfolgend wird ein Vergleich der zuvor angeführten Methoden der Kostenermittlung gezeigt. Hierfür wird ein vereinfachtes Beispiel aus dem Tunnelbau herangezogen. Die Eingangswerte sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt. Für die Mengen wird eine Dreiecksverteilung mit den Parametern Minimum (min), wahrscheinlichster Wert (most likely = ml) und Maximum (max) verwendet.

Kostenposition	Menge			Einheit	Einheitspreis [€]			Deterministisch
	min	ml	max		min	ml	max	Kosten/Meter Tunnel (ml)
Spritzbeton 10 cm - Kalotte	13,8	15,4	17,7	m <sup>2</sup>	9,7	12,1	15,8	186,3
Stahlmatte AQ50	13,8	15,4	16,9	m <sup>2</sup>	1,0	1,2	1,6	18,8
Swellex 3.0 m - Kalotte	1,7	1,8	2,0	Stk.	20,7	25,9	33,7	47,1
Spritzbeton 5 cm - Strosse	5,2	5,8	6,6	m <sup>2</sup>	6,0	7,5	9,7	43,1
Swellex 3.0 m - Strosse	0,4	0,5	0,5	Stk.	20,7	25,9	33,7	11,7
								<b>307,0</b>

Tabelle 1: Deterministische Basiskosten eines Tunnelbauprojekts (Verteilungsdichte Dreiecksverteilung)

In Abbildung 2 ist ein Vergleich der Resultate der beschriebenen Methoden der Kostenermittlung für das Beispiel dargestellt.

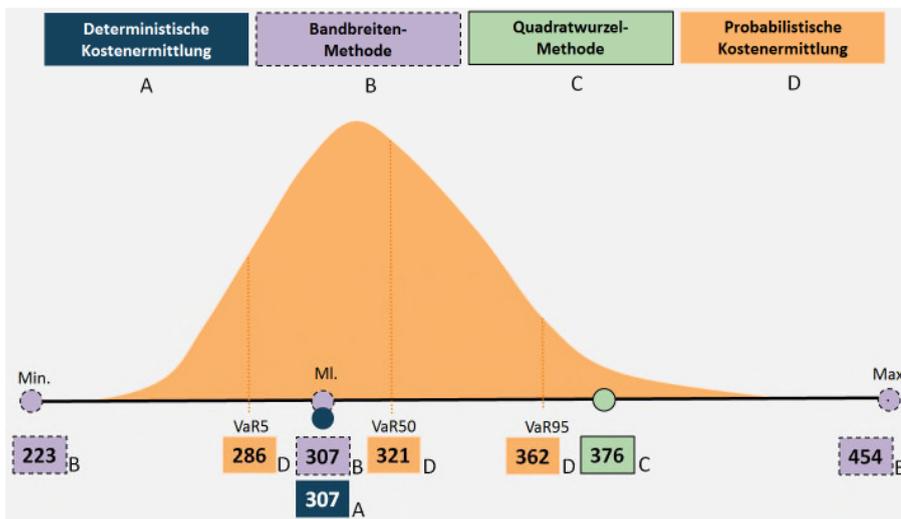


Abbildung 2: Ergebnisse der Vergleichsberechnung.  
(Hinweis: in dieser Abbildung entspricht die Abkürzung VaR dem P-Wert)

Wie aus Abbildung 2 erkennbar, liefert die klassische Deterministische Methode idF nur einen Wert, der ca P25 entspricht. Die in Österreich auch häufig zum Einsatz kommende Bandbreitenmethode liefert hingegen extreme Randwerte, deren zugehörigen P-Werte für eine Entscheidungsfindung irrelevant sind – der erwartete Wert liegt deckungsgleich mit dem Deterministischen Wert bei ca P25.

Die Quadratwurzelmethode kann maximal zu einer Abschätzung eines Worst-Case-Szenarios verwendet werden (Wert  $\gg P95$ ). Die Probabilistik liefert hingegen mit denselben Inputdaten einen zuverlässigen P50 Wert und sinnvolle Größen für eine Entscheidungsfindung im Bereich P5 bis P95, welche 90% der möglichen Szenarien der Zukunft abdecken.

Die neue ÖGG-Richtlinie zur „Kostenermittlung für Projekte der Verkehrsinfrastruktur unter Berücksichtigung relevanter Projektrisiken“ stellt eine gute Guideline dar, wie im Rahmen von Kostenprognosen damit umgegangen werden sollte.<sup>10</sup>

Methodisch konsequent in einem Projekt umgesetzt führt das zu einem realistischen Abbild der möglichen Zukunft, hier dargestellt mittels sogenannter S-Kurven der Verteilungsfunktionen für Basiskosten, plus Risiko, plus Vorausvalorisierung eines gerade in Planung befindlichen Brückenobjektes – als Ergebnis des Kostenermittlungsprozesses der jeweils aktuellen Projektphase.

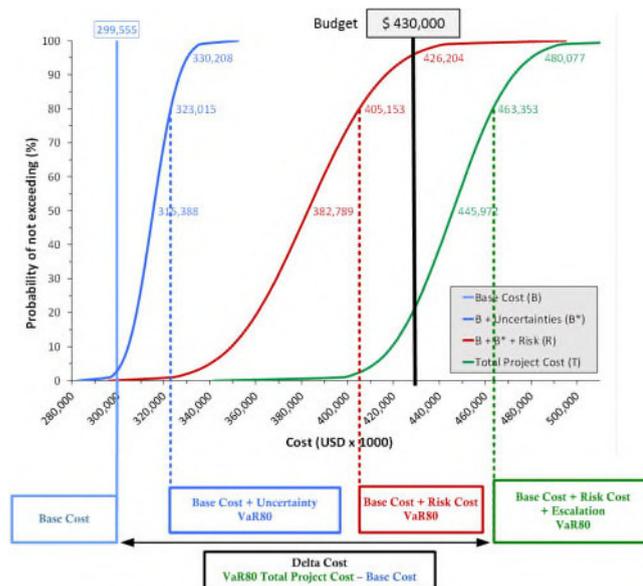


Abbildung 3: Beispiel für die Ergebnisdarstellung mittels S-Kurven für ein Brückenobjekt; inkl rein deterministischer Basiskosten und konkretem Budget; daraus ablesbar die hohe Wahrscheinlichkeit der Kostenüberschreitung (85%) beim zugrundeliegenden Realisierungsszenario (Bauzeit). (Hinweis in dieser Abbildung entspricht die Abkürzung VaR dem P-Wert).

<sup>10</sup> ÖGG – Österreichische Gesellschaft für Geomechanik, Richtlinie für die Kostenermittlung für Projekte der Verkehrsinfrastruktur unter Berücksichtigung relevanter Projektrisiken.

### 3.2. Bauzeitplanung

Bauzeitpläne mit integrierten Unsicherheiten iS Risiken zeigen sehr häufig, dass der klassische, deterministische „kritische Weg“ nur eine sehr geringe Wahrscheinlichkeit hat und daher als Entscheidungsgrundlage unzureichend ist bzw eine falsche Sicherheit suggeriert. Der Kritische Weg kann springen und die Wahrscheinlichkeit für den jeweiligen kritischen Weg kann ein Ergebnis der Simulation sein. Unten exemplarisch dargestellt an einem einfachen Beispiel aus dem Tunnelbau.

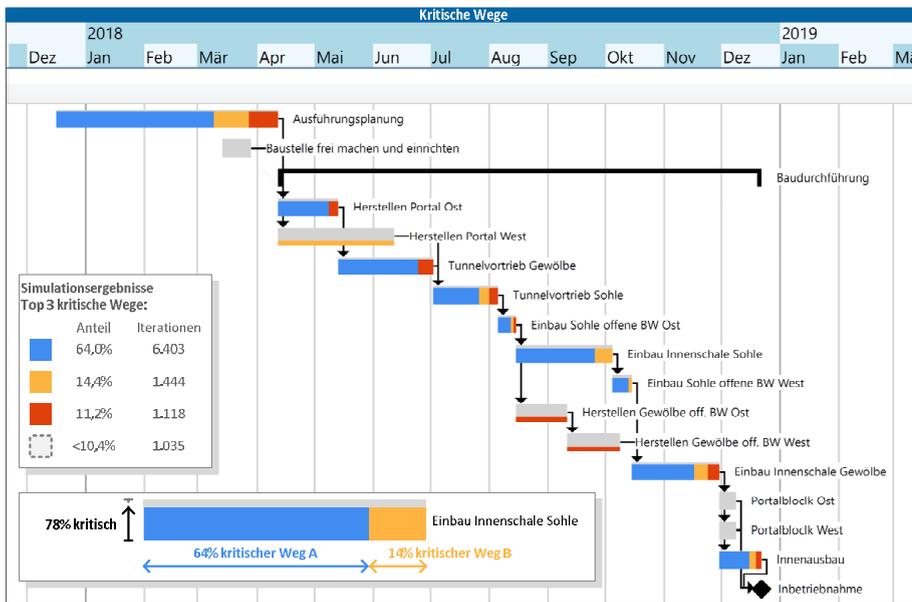


Abbildung 4: Simulationsergebnis für die Wahrscheinlichkeit verschiedener Kritischer Wege unter Berücksichtigung identifizierter Risiken (Screenshot RIAAT – Integrative Darstellung von Bauzeit und Risiken<sup>11</sup>)

In weiterer Folge ist eine Verschneidung von Kosten und Zeit wichtig, da sich beide Ansätze grundlegend unterscheiden, jedoch gegenseitig beeinflussen. Wird Geld nicht ausgegeben, so verbleibt es im Budget oder auf dem Bankkonto und kann zu einem späteren Zeitpunkt nach Bedarf eingesetzt werden. Wird Zeit hingegen nicht effizient eingesetzt, verstreicht diese und ist für immer verloren. Zeit kann in diesem Sinne nicht kontrolliert werden. Diese Eigenschaft der Zeit überträgt sich – bedingt durch die Abhängigkeit von Geld und Zeit – nicht selten bei Großprojekten auch auf den Geldfluss. Ein effizientes Bauzeitmanagement kann nicht dadurch erreicht werden nur die Leistung zu messen oder Pönalen

<sup>11</sup> www.riaat.riskcon.at

vertraglich festzulegen, es gilt den Prognosecharakter der Bauzeitplanung in der Analyse mit zu berücksichtigen. Der Wert eines Terminplans liegt daher nicht nur in der Kontrolle der Bauzeit, ihm kommt ein übergeordneter Stellenwert zu.<sup>12</sup>

Die Mitbetrachtung der Unschärfe in der Terminplanbearbeitung ist auch ein hilfreiches Tool im Bereich der Forensik gestörter Bauabläufe (ex-post Betrachtung) und ebenso im Forecast aus der Störung nach vorne.

### **3.3. Vergleichsverhandlungen**

Bei Vergleichsverhandlung werden neben den eigentlichen Zahlen des Vergleiches auch Kosten für die Durchsetzung (Gutachter, Rechtsberatung, Gerichtsgebühren usw) in die Waagschale geworfen.

Der Gap für eine Einigung ist jedoch bei deterministischer Verarbeitung der Zahlen häufig zu groß. Für eine Einigung kann es daher hilfreich sein, die Unschärfe bzw Unsicherheit der jeweiligen Partei mit zu berücksichtigen. Die Erfahrungstatsache zeigt, dass AG Erwartungen eher rechtsschiefe sind, während die Erwartungen des AN an seinen Claimerfolg iRF doch eine starke Linksschiefe haben.

---

<sup>12</sup> verändert aus Sander/Entacher, Integrierte Kosten- und Bauzeitanalyse am Beispiel internationaler Projekte, 166.

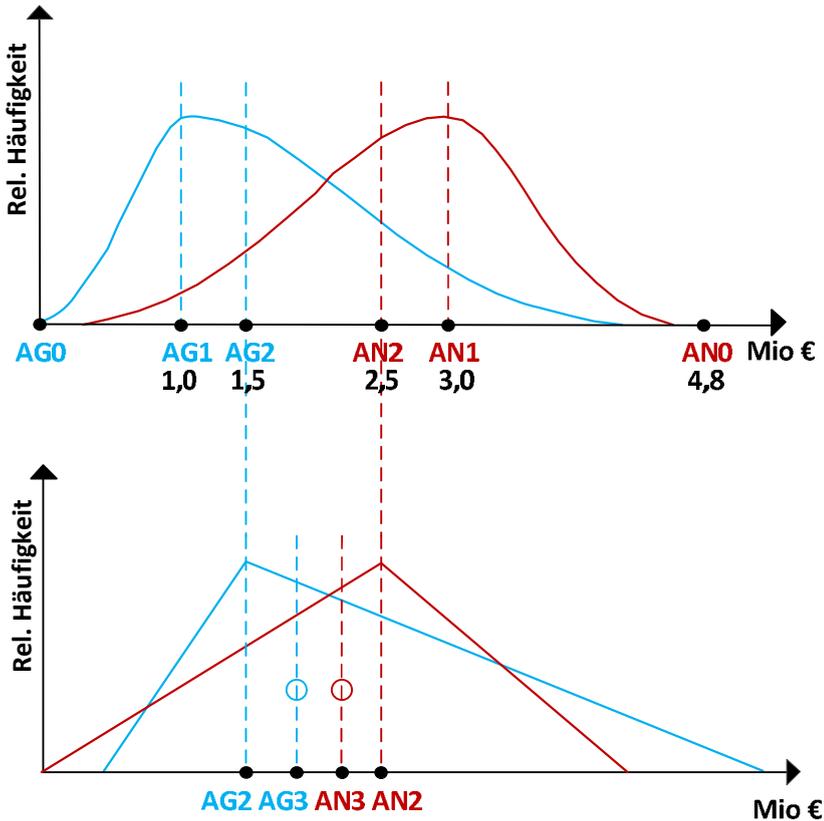


Abbildung 5: AG, AN Erwartung zum Zeitpunkt  $X \rightarrow 0$  Einreichung MKF; 1 Diskussion zu MKF dem Grunde und der Höhe nach ohne Einigung; 2 Erwartet Vergleichskosten inkl bewerteten Durchsetzungs- bzw Abwehrkosten; 3 Schwerpunkte der links- bzw rechtschiefen Erwartungshaltung von AG bzw AN

Selbst mit Unterstufenmathematik ist erkennbar, dass die Schwerpunkte der Dreiecke näher beieinanderliegen als die Erwartungswerte (Zeitpunkt 2; repräsentiert durch die Spitze der Dreiecke).

$$(AN3 - AG3) < (AN2 - AG2) \quad \text{Formel 1}$$

### 3.4. ETA, FTA, RAMS

Fehlerbäume oder Ereignisbäume eignen sich hervorragend, um abhängige Einflüsse inklusive der Unsicherheiten darzustellen. Im Maschinen-, Anlagenbau, Eisenbahntechnik (RAMS nach EN 50126) und Energieversorgung sind solche

Vorgangsweisen vielfach Standard – die Anwendung in klassischen Bauprojekten ist noch sehr wenig verbreitet.

Komplexere Risikoszenarien und Systeme können mit speziellen Methoden modelliert werden, wie sie in der DIN EN 31010 angeführt werden. Ziel ist es immer, die Realität so gut wie möglich durch ein passendes Modell abzubilden. Dafür werden professionelle Tools eingesetzt (hier: RIAAT – Risk Administration and Analysis Tool).<sup>13</sup>

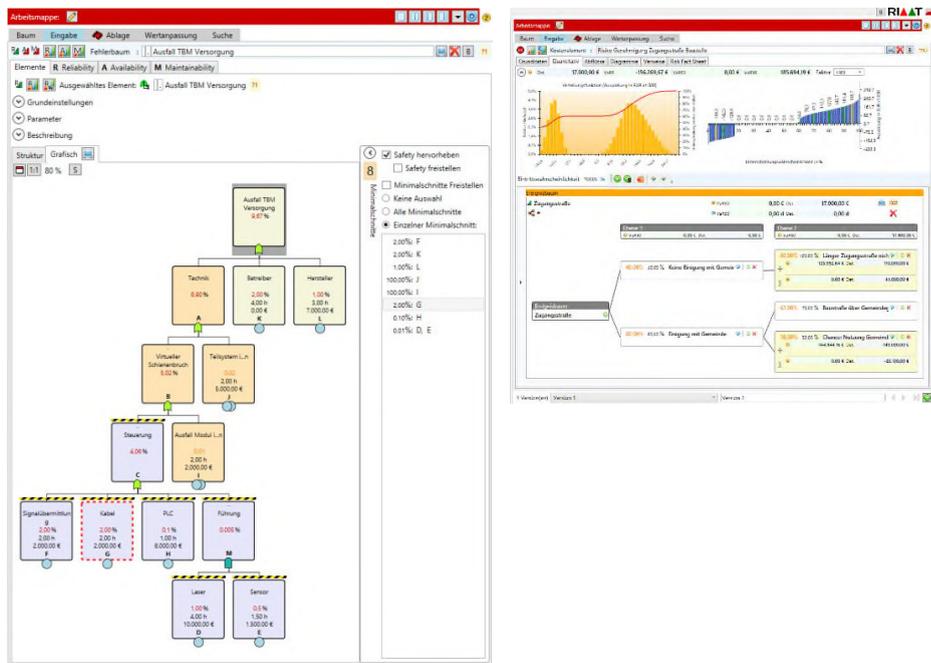


Abbildung 6: Beispiele für eine Fehlerbaumanalyse/FTA (links) und eine Ereignisbaumanalyse/ETA (rechts)

Fehlerbaumanalyse und Ereignisbaumanalyse lassen sich zu Bow-Tie Analysen kombinieren.<sup>14</sup>

Vorteile der Anwendung bei komplexen Szenarien:

<sup>13</sup> RIAAT Bedienungsanleitung, 2015, mehr Information unter [www.riskcon.at/riaat.php](http://www.riskcon.at/riaat.php).

<sup>14</sup> Verändert nach: Spiegel/Sander, Systematisches Kosten- und Risikomanagement bei Großprojekten, FS 20 Jahre FH Campus, Wien 2017.

- **Modellierung** komplexer Szenarien führt zu einem besseren Verstehen der Zusammenhänge → besseres Verstehen der Ursachen und Auswirkungen (Kostenabhängigkeit und/oder Schadensbilder).
- **Evaluierung** der Systemzuverlässigkeit und Sicherheit (zB RAMS).
- **Identifikation** von kritischen Komponenten/Tasks/Entscheidungen führt zu einer Verbesserung der Effizienz.

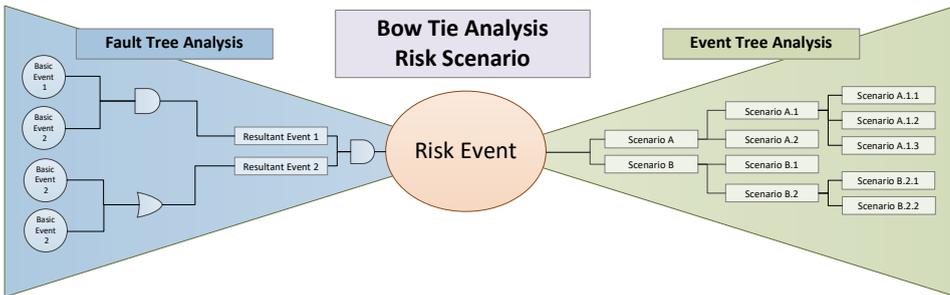


Abbildung 7: Bow Tie Analyse als Kombination von Fehlerbaum- (FTA) und Ereignisbaumanalyse (ETA)

#### 4. Zusammenfassung

Prognosen in die Zukunft sind mit Unsicherheiten behaftet. Der Trugschluss der exakten Zahl<sup>15</sup> ist leider ein Klassiker auf den mit vielen Nachkommastellen sozialisierte Techniker gerne reinfallen – selbst wenn die 10er Potenz unklar ist. Der Umgang mit Unschärfen/Unsicherheiten ist auch ein psychologisches Thema.

Die Wissenschaft und Praxis liefert für viele Anwendungsbereiche bewährte Methoden um mit Prognosen in die Zukunft besser umgehen zu können. Die Verbreitung dieser Methoden im Baubereich in Mitteleuropa ist steigerungsfähig. Ein bewährter Zugang sind probabilistische Simulationsverfahren zur Aggregation von Unter- und Überschreitungswahrscheinlichkeiten von Geld- und Zeiteinheiten (→ mit zugehörigen P-Werten).

In unseren weltweiten Projekten werden diese Methoden mit Unterstützung der Software RIAAT mit großem Erfolg eingesetzt – dzt sind die Projektgrößen noch mehr in der Größenordnung „mega-projects“ – es spricht aber nichts dagegen,

<sup>15</sup> Sander/Spiogl, Der Trugschluss der exakten Zahl – Fortschrittliche Wege zur Kosten- und Risikoanalyse, bauaktuell, 2/2011, 65ff.

diese Methoden flächig bei Projektgrößen ab etwa 10 Mio € einzusetzen – außer der vielfachen Angst vor Veränderung. Aber um mit Prof. Jodl zu sprechen „Stillstand ist Rückschritt“. Auch die „Bauwirtschaft“ in ihrer Gesamtheit aus Auftraggebern, Planern und Ausführenden wird hinsichtlich ihrer Entwicklung in Richtung Bauen 4.0 im Bereich der immer wichtigeren Themen Projektmanagement, Kosten, Risiken und Bauzeit nicht bei den Methoden aus dem Mittelalter stehen bleiben können.

## Literatur

*Bernstein*, Against the Gods, the remarkable story of risks, John Wiley & Sons Inc., NYC 1996.

*Kodek*, Mehrkosten beim Bauvertrag: Dogmatische Grundlagen und praktische Anwendung, Bauaktuell 4/2017.

*Kropik*, Die Ermittlung der angemessenen Entschädigung, Bauaktuell 01/2018.

*Österreichische Gesellschaft für Geomechanik*, Richtlinie für die Kostenermittlung für Projekte der Verkehrsinfrastruktur unter Berücksichtigung relevanter Projektrisiken, Salzburg 2016.

*Reilly*, Cost Estimating and Risk-Management for Underground Projects, World Tunnel Congress, Istanbul, Mai 2005.

RIAAT Bedienungsanleitung, mehr Information unter [www.riscon.at/riaat.php](http://www.riscon.at/riaat.php).

*Sander/Entacher*, Integrierte Kosten- und Bauzeitanalyse am Beispiel internationaler Projekte, Bauwirtschaft 3-4/2017, 166ff.

*Sander/Spiegl*, Der Trugschluss der exakten Zahl – Fortschrittliche Wege zur Kosten- und Risikoanalyse, Bauaktuell 2/2011, 65.

*Spiegl/Sander*, Systematisches Kosten- und Risikomanagement bei Großprojekten, FS 20 Jahre FH Campus, Wien 2017.