

# Integrierte Kosten- und Bauzeitanalyse am Beispiel internationaler Projekte

Dr. Philip Sander ist Geschäftsführer bei RiskConsult GmbH, Innsbruck

Dr. Martin Entacher ist Projektleiter bei RiskConsult GmbH, Innsbruck

## 1. Einleitung

Das integrierte Kosten- und Bauzeitmodell ist ein fester Bestandteil des Risikomanagements und damit Teil des Projektmanagements bei Großprojekten. Dabei werden die Informationen aus Kostenmanagement, Risikomanagement und Terminplanung gebündelt und miteinander verknüpft. Das Modell ermöglicht weitere Analysemöglichkeiten (z.B. was-wäre-wenn) auf einem Managementlevel. Die Integration der Terminplanung in das Risikomanagement ist dabei äußerst relevant, da diese – wie viele Beispiele bei Großprojekten zeigen – oftmals die Ursache massiver Kostenüberschreitungen sind.

Eine Verschneidung von Kosten und Zeit ist 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 Leistung zu messen oder Pönalen vertraglich festzulegen, es gilt den Prognosecharakter der Bauzeitplanung in der Analyse mit zu berücksichtigen. Der Wert eines Terminplans liegt daher nicht in der Kontrolle der Bauzeit, ihm kommt ein übergeordneter Stellenwert zu.

Mit dem konventionellen Zugang, so viele Risiken wie möglich auf den Unternehmer zu schieben, wird ein Großprojekt nicht erfolgreich werden können. Es geht bei Großprojekten vielmehr darum eine Entscheidung treffen zu können, relevante Risiken zu erkennen und anzunehmen, um frühzeitig gegensteuern zu können.<sup>1</sup> Das in diesem Artikel vorgestellte integrierte probabilistische Kosten- und Bauzeitmodell unterstützt Entscheidungen der Projektleitung zur Steuerung von Projekten.

Zur Analyse und Steuerung von Großprojekten werden probabilistische Methoden eingesetzt, die ein Mehr an Information über das individuelle Kosten- und Risikopotenzial des Projekts liefern. Mit diesem Zugang werden Informationen generiert, die es ermöglichen Projekte effizienter und transparenter abzuwickeln.

## 2. Management von Großprojekten

### 2.1 Grundlegendes

Großprojekte folgen anderen Regeln und bedürfen daher besonderer Ansätze, die hier kurz zusammengefasst werden:<sup>2</sup>

Um zu verstehen, wie komplexe Systeme funktionieren, reicht es nicht diese in ihre Einzelteile zu zerlegen. So reicht es nicht, einen Fisch zu studieren, um zu wissen wie ein ganzer Schwarm sich verhält. Umgelegt auf komplexe Projekte bedeutet das, dass es nicht ausreichend ist einzelne Arbeitsschritte nachzuvollziehen, um die Dynamik des Projektteams und ihrer Ressourcen zu verstehen.

<sup>1</sup> Forrester Consulting: Strategic PMOs Play A Vital Role In Driving Business Outcomes, November 2013.

<sup>2</sup> Mosaic Project Service: The Effective Management of Time on mega Projects, October 2010.

Komplexität

Großprojekte sind chaotisch. Das bedeutet, sie weisen die Charakteristika von Ordnung auf dem Makro-Level auf, jedoch zeigen sie Chaos bzw. Unkontrolliertheit, wenn diese im Detail betrachtet werden. Innerhalb eines chaotischen Systems sind tendenziell die Reaktionen nicht linear (d.h. kleine Änderungen des Impulses können große Änderungen in den weiterführenden Handlungen hervorrufen.).

Ein anderes Phänomen wird „Umkehrpunkt“ (Tipping-Point)<sup>3</sup> genannt, wo eine kleine Änderung des Impulses zu einer katastrophalen und irreversiblen Veränderung des Gesamtsystems führt (z.B. der Tropfen der das Fass zum Überlaufen bringt).

Selbstorganisierende Systeme wiederum setzen sich aus einem System von einfachen Regeln zusammen und enthalten Rückkopplungsschleifen, welche die Auswirkungen des Impulses verstärken oder abmildern können, lernfähig sind und sich in ihrer verändernden Umwelt anpassen können. In vielfältiger Hinsicht beschreibt dies die Handlungsweise eines gut aufgestellten Projektteams. So führt bspw. eine zu hohe Bestimmtheit der Kosten- und Terminplanung bei Großprojekten unausweichlich zu falschen oder fehlenden Entscheidungen, erzeugt durch die statische Betrachtung dynamischer Probleme.

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 in einem Brief an Bernoulli: „Nature has established patterns originating in the return of events, but only for the most part“ (Die Natur schuf Muster, ausgehend von der Wiederkehr von Ereignissen, allerdings nur für den überwiegenden Teil).<sup>4</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. Deterministische Annahmen (Punktschätzungen) sind kein adäquates Mittel, um Prognosen abzubilden, sie suggerieren falsche Erwartungen an ein Großprojekt.

Eine wissenschaftliche Betrachtung von Managementaufgaben führte zu großen Produktivitätsgewinnen in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts. Der Mittelpunkt lag auf dem Arbeiter als Teil eines produktiven Maschinenparks (z.B. Fließbandfertigung nach Henry Ford) und der Entdeckung der „richtigen Vorgehensweise“ für jeden Arbeitsschritt, um die Effizienz zu maximieren. Diese Ideen funktionieren ausgezeichnet für sich wiederholende Arbeitsschritte, welche exemplarisch für die Produktionsverfahren der 1960er Jahre galten. Erste Probleme entstanden, als sich die Arbeitsform von der Herstellung von Dingen zur Schaffung von Wissen veränderte (z.B. Softwareerstellung).

Man stelle sich einen Softwareingenieur vor, der für einen gesicherten Zugang einen Algorithmus entwickelt. Die vorrangige Arbeit ist das Durchdenken des Problems und die Entwicklung einer Idee zur Lösung dieses Problems. Dies passiert im Gehirn des Ingenieurs. Das Messen des Outputs ist sinnlos, die Anzahl an Zeilen Code spiegeln nicht die Effizienz der Lösung wieder. So kann die effizienteste und eleganteste Lösung weit weniger Code umfassen als eine klobige und ineffiziente Umsetzung. Die Effizienz (und damit Qualität) kann allerdings nicht vollständig getestet werden, bevor andere Komponenten (z.B. von anderen Leuten) entwickelt und integriert werden. Dies führt u.U. zu Anpassungen am Algorithmus. Die einzige Person, die in der Lage ist diese Arbeit zu kontrollieren ist der Experte. Er/Sie muss fortlaufend seine/ihre Arbeit mit der Arbeit der anderen Experten in seinem Team koordinieren. Das Erfordernis eines neuen Paradigmas zum Wissensmanagement wurde von Peter Drucker im Jahr 1954 erkannt und in seinen späteren Werken erweitert.<sup>5</sup> Mit diesem Ansatz relativiert sich der oft offensiv gebrauchte Spruch: „Jeder ist ersetzbar“ (Tipping-Point).

Trotz gängiger Meinung und aktueller Namensgebung, steuert keines der sogenannten „Projektsteuerungswerkzeuge“ irgendetwas. Das Ändern von Zahlen in einem Kostenplan verändert nicht die

Prognosecharakter

Das Paradoxon der Experten

Werkzeuge

3 Gadwell, M.: The Tipping Point: How Things Can Make a Big Difference, Little Brow & Co, Boston, 2000.

4 Bernstein, P.L.: Against the Gods, the remarkable story of risks, John Wiley & Sons Inc., NYC, 1996.

5 Drucker, P.: The Practice of Management, Harper & Row, NYC, 1954.

Projekt Management Office (PMO)

Geldflüsse von oder zum Konto der Organisation – die Verantwortlichen, die Schecks ausstellen oder Geld überweisen übernehmen das. Analog dazu haben Änderungen im Zeitplan keine Auswirkungen auf die tatsächliche Ausführungszeit. Einzig die Denkweise der Projektbeteiligten kann durch Projektsteuerungswerkzeuge beeinflusst werden und Auswirkungen bei zukünftigen Entscheidungen haben. Bereits Geschehenes lässt sich nicht mehr ändern! Zur Unterstützung dieser Denkweise werden Werkzeuge benötigt, die übersichtlich Informationen aus verschiedenen Bereichen – wie eben Kosten und Terminplanung – verschneiden, sodass fundierte Entscheidungen getroffen werden können.

Ein PMO ist ein unabhängiges Projektteam einer Organisation mit Budgetverantwortung, die zeitlich befristet installiert wird. Ziel ist es spezielle Ziele (z.B. Abwickeln eines Großprojekts), die über die täglichen Aufgaben einer Organisation hinausgehen, erfolgreich zu Erreichen. Aus Sicht eines temporären Projektteams in Form eines PMO rückt der Fokus des Projektmanagements von einer reinen Beaufsichtigung der Projektentwicklung zu einem echten Management der benötigten Prozesse und Ressourcen, um ein erfolgreiches Projekt zu liefern. Dies wird mit Sammlung, Verschmelzung, Verarbeitung, Schaffung und Anwendung von Wissen erreicht. Projektarbeit unterscheidet sich von betrieblicher Arbeit nicht durch die zeitliche Befristung der Aufgabe (alle Aufgaben sind zeitlich befristet), sondern durch die zeitliche Befristung, mit der das Projektteam zur Bearbeitung des Projekts herangezogen und nach der Lieferung aufgelöst wird. Betriebliche Teams werden auf der Annahme gemanagt, dass diese in mehr oder weniger gleicher Besetzung an ähnlichen Aufgaben dauerhaft arbeiten. Die Einrichtung eines Projekts Management Office ist eine der wesentlichen Voraussetzungen für die erfolgreiche Abwicklung eines Großprojektes.

Das Projektteam kann als soziales Netzwerk betrachtet werden. Das Maß des „sozialen Kapitals“ innerhalb eines Netzwerks wird durch die Stärke und Effektivität der Beziehungen zwischen den Personen eines Projektteams bestimmt.

Soziales Verhalten

Risiken und Unsicherheiten sind ein natürlicher Teil dieses Konstrukts – Es ist unmöglich in die Köpfe der Menschen hineinzusehen, um ihre Absichten zu verstehen. Jedoch ist es möglich die Denkweise der Menschen durch wirkungsvolle Kommunikation zu beeinflussen. Einer guten Führungskraft gelingt es zu motivieren und das Team zu beflügeln. Team Alignment (Team Building) Workshops können einen wesentlichen Beitrag dazu leisten.

## 2.2 Die Rolle der Terminplanung

Sobald die Idee der Terminplanung als ein exaktes Kontrollelement verworfen wird, entwickelt sich diese, paradoxerweise für die Projektleitung, zu einem nützlichen Managementtool. In der „komplexen Welt“ der Großprojekte wird die Terminplanung genutzt um:

- Ein wirkungsvolles Planungstool zu haben, um Menschen dazu zu bewegen über zukünftige, optimierende Handlungen zu diskutieren.
- wirkungsvoll zu kommunizieren, Handlungen zu koordinieren und proaktiv zur Zusammenarbeit beizutragen

Um damit Erfolg zu haben, muss die Terminplanung flexibel, dynamisch, reagierend und einfach nachvollziehbar für die Teammitglieder sein (beides: nützlich und genutzt). Der Terminplaner muss ein guter Kommunikator, Frager, Zuhörer und über allem großartiger Teamplayer sein.

Alle Modelle sind falsch, die Frage ist nur wie falsch müssen sie sein, damit sie nicht mehr nützlich sind? Das Akzeptieren, dass ein Terminplan nicht zu 100 % richtig sein kann, befreit nicht von der Aufgabe diesen so realistisch wie möglich aufzustellen.

Der „Guide to Good Practice in the Management of Time in Complex Projects“ liefert eine Vielzahl von praktischen Ideen um wirkungsvolles Zeitmanagement in komplexen Projekten zu verbessern. Einige dieser Grundkonzepte sind:<sup>6</sup>

6 The Chartered Institute of Building: Guide to Good Practice in the Management of Time in Complex Projects, Wiley-Blackwell, 2010.

- Das Erfordernis wirkungsvoller Planung bevor Termine bestimmt werden und die Berücksichtigung der Ziele, die sich aus diesen beiden Prozessen ergeben.
- Das Konzept der Terminplanungsverdichtung und das Erfordernis in einem zweckmäßigen Detaillierungsgrad zu planen, abhängig vom derzeitigen Wissensstand des Projektteams.
- Das Erfordernis für laufende dynamische Anpassungen der Terminplanung. Traditionelle Verträge bauen auf einem unveränderlich detaillierten Terminplan auf, welcher für forensische Analysen eines gescheiterten Projekts herangezogen werden können. Im Gegensatz dazu lebt ein erfolgreiches Projekt von Prozessen, die proaktiv Verzögerungen mithilfe der Terminplanungsdichte verringern.
- Das Erfordernis umgehend die Unsicherheiten der identifizierten Auswirkungen von verzögerten Ereignissen mit Hilfe des eines aktuellen Terminplans bewerten zu können, um wirkungsvolle Vermeidungsstrategien zu entwickeln.

### 2.3 Kostenstruktur

Nur ein durchgängiges Kostenmanagement ermöglicht – gerade bei langjährigen Projekten, die von Natur aus zahlreichen Veränderungen unterliegen – Kosten auch rückwirkend zu älteren Projektstatus vergleichbar darzustellen. Die Strukturierung der Kosten in sogenannte Kostenbestandteile ist bereits vor Projektstart ein essenzieller Schritt für die Etablierung eines durchgängigen Kosten-Managements. Zur Sicherstellung einer eindeutigen Kostenstruktur wird daher mit einer Kostenbestandteilstruktur gearbeitet, die zumindest aus drei wesentlichen Kostenbestandteilen besteht:<sup>7</sup>

- Basiskosten – Plankosten für ein definiertes Projekt mit definierter Preisbasis ohne Reserven
- Risikokosten – Kosten aus möglicherweise eintretenden Gefahren und Chancen
- Vorausvalorisierung – Kosten zur Berücksichtigung einer angenommenen zukünftigen Marktentwicklung

Kostenbestandteilstruktur

Eine ausschließliche Berücksichtigung von Basiskosten, ggf. unter Berücksichtigung intransparenter verschmierter Reserven, wird auch als EGAP – Szenario (*everything goes as planned*) bezeichnet.<sup>8</sup> Das Ziel einer Projektbudgetierung muss jedoch die Berücksichtigung eines MLD – Szenarios (*most likely development*) unter Berücksichtigung von Risiken und Vorausvalorisierung (Teuerung) sein.

In Abbildung 1 ist ein Beispiel für eine Kostenstruktur von Projekten graphisch anhand eines Wasserfalldiagramms veranschaulicht. Es besteht aus tatsächlichen Kosten ohne Unsicherheiten (linker Teil des Wasserfalldiagramms: B0, Z, G – *Ausgangskosten*) und unsicheren Komponenten (rechter Teil des Wasserfalldiagramms: B\*, R, V – *Unsicherheiten*). Die Unsicherheiten werden auch als *Deltakosten* bezeichnet. Sie sind für die Projektbudgetierung maßgeblich, weil sie jenen Teil des Projektbudgets darstellen, der mitunter vernachlässigt wird, wenn mit weniger transparenten Kostenstrukturen gearbeitet wird. *Unsicherheiten* sind in der Planungsphase hoch und bauen sich im Projektverlauf ab. Im Gegensatz dazu stehen zusätzliche Kosten, die typischerweise zunehmen, wenn sich das Risikopotenzial abbaut sowie die Gleitung, die tatsächlich eingetretene Preissteigerungen bei Verträgen mit variablen Preisen berücksichtigt.

Eine weitere Voraussetzung für die Vergleichbarkeit der Kosten zu verschiedenen Stichtagen ist die Berücksichtigung der Preisbasis, auf der sämtliche Kosten einheitlich zu ermitteln sind oder auf die späteren Kosten zumindest rückführbar sind.

Die Vorausvalorisierung prognostiziert die Kostensteigerung der ermittelten Kosten in der Zukunft. Da Großprojekte über Jahre hinweg laufen, ist die zukünftige Teuerungsrate zu berücksichtigen. Diese kann durch den Zinseszinsseffekt eine beachtliche Größenordnung erreichen, was nicht selten dazu führt, dass eine nicht ausgewiesene Teuerungsrate fälschlich als Kostenerhöhung interpretiert wird. Es kann, gerade bei Großprojekten, generell empfohlen werden, nur Zahlen im Sinne von Gesamtkosten

<sup>7</sup> Reilly, J, Sander P., Mörgeli, A.: Construction — You need risk-based cost estimating, Tunneling & Underground Construction, 10. Jahrgang, Nr. 1, S. 23–30, 2016.

<sup>8</sup> Flyvbjerg, B., Bruzelius, N., Rothengatter, W.: Megaprojects and Risk – An Anatomy of Ambition. Cambridge University Press, Cambridge, 2003.

Wasserfall-  
diagramm  
Deltakosten

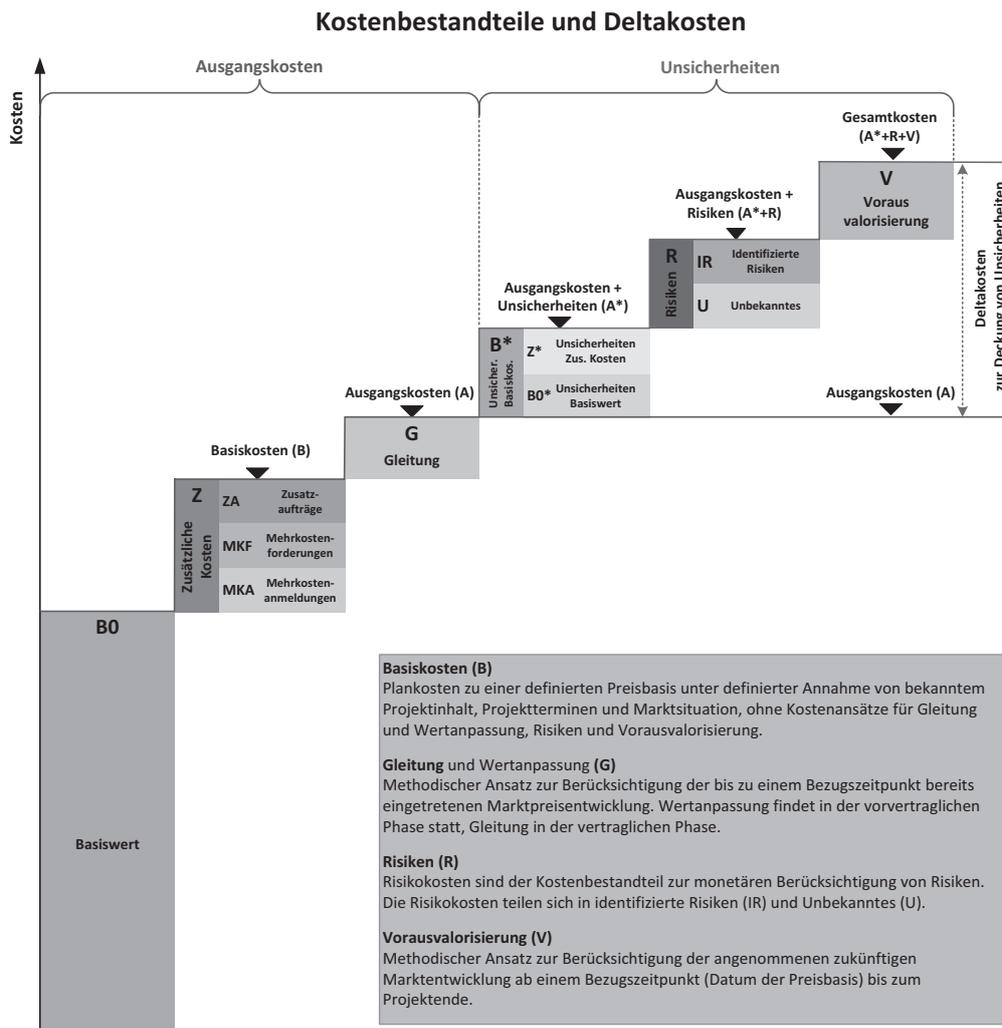


Abbildung 1: Beispiel einer Kostenstruktur für Bauprojekte

zu veröffentlichen, da davon auszugehen ist – wie schon die Systematik zeigt – dass Basis- oder Plankosten nicht deckungsgleich mit den Gesamtkosten sind.

Als Schlüsselfaktor hat sich gezeigt, dass die Ermittlung der Basiskosten im Sinne „nackter Basiskosten“, d.h. ohne Reserven erfolgen muss. So simpel diese Grundforderung klingt, so schwierig ist diese „psychologische Hürde“ vielfach zu nehmen. Viele Projekte zeigen praktisch ein Chancenpotenzial im Bereich Mengenabweichungen, welches darauf zurückgeführt werden kann, dass die Mengenvordersätze im Allgemeinen mit zu viel „Puffer“ ermittelt bzw. angesetzt werden.

Bei der Erstellung von Leistungsverzeichnissen (LV) ist es häufige Praxis bereits eine Risiko-Reserve durch einschlägige LV-Positionen zu berücksichtigen. Diese Risiko-LV-Positionen werden somit vom Risikopotenzial in das LV transferiert. Für eine transparente Darstellung der Kosten sollte bereits in der Ausführungsphase die konsequente Trennung zwischen „reinen Basiskosten“ (ohne Risiko-LV-Positionen) und den Risiko-LV-Positionen gewährleistet sein. Werden diese beiden Basiskostenteile nicht getrennt verwaltet, kann nur mehr eine Analyse gegenüber dem Vertrag (LV) durchgeführt werden. Die Durchgängigkeit der Kostenverfolgung ist dann nicht mehr gegeben.<sup>9</sup>

## 2.4 Berücksichtigung von Unsicherheiten

Während der Einsatz von probabilistischen Methoden zur Verbesserung der Prognosesicherheit in manchen Wirtschaftszweigen schon etabliert ist, wurde dieser Schritt im Bausektor in Mitteleuropa

<sup>9</sup> Sander, P., Spiegl, M.: Druchgängiges Kosten und Risikomanagement bei Großprojekten im Infrastrukturbereich, Brenn-erCongress, Februar 2014.

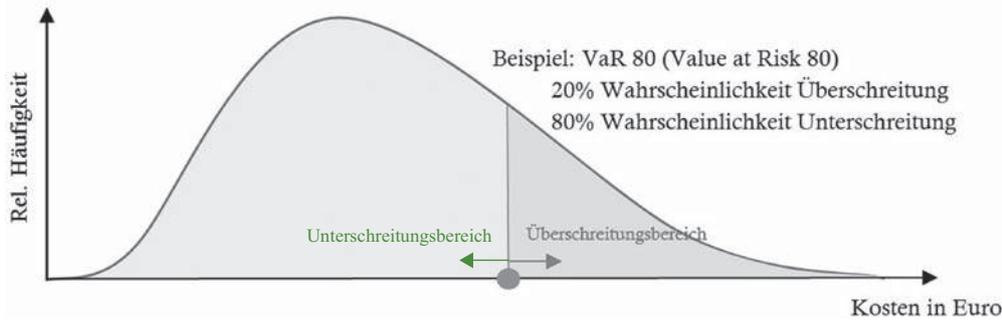
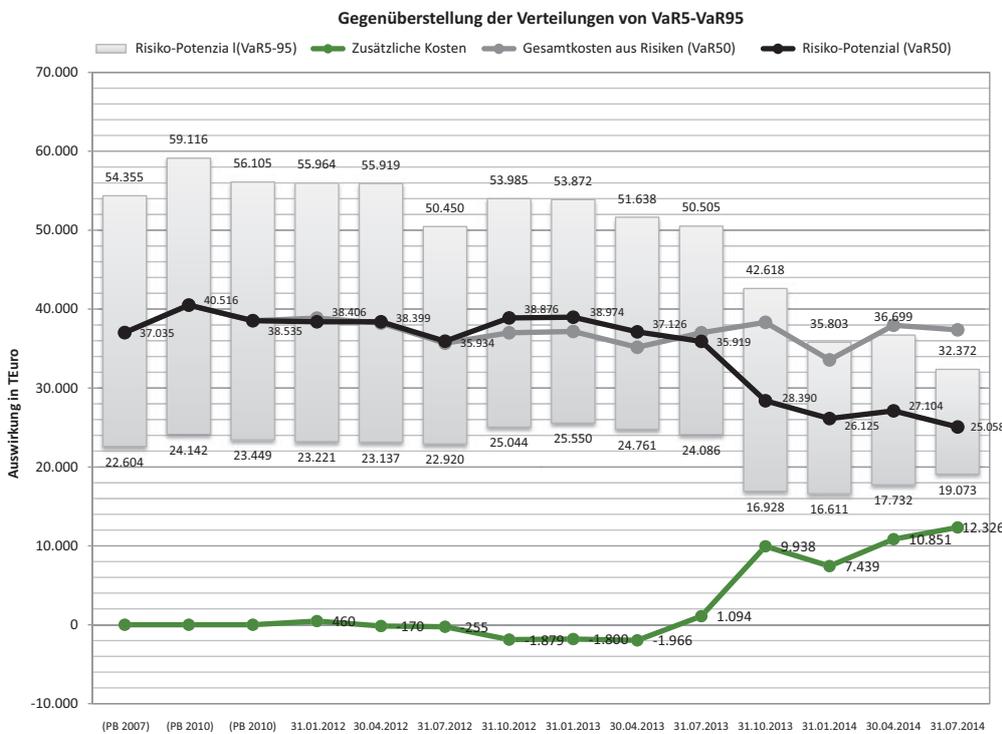


Abbildung 2: Abzeichnung einer Über- bzw. Unterdeckung am Beispiel eines Budgets

bisher noch nicht vollzogen, wobei gerade dort Kosten und vor allem Risiken mit großen Unschärfen behaftet sind. Eine probabilistische Risiko-Analyse liefert als Ergebnis eine Aussage über das Risiko-Potenzial in beliebigen Werteinheiten (z.B. Euro oder Zeit). Der Vorteil gegenüber deterministischen Standardverfahren ist der deutlich höhere Informationsgehalt, da das Ergebnis eine Verteilungsfunktion mit Unter- bzw. Überschreitungswahrscheinlichkeiten (Value at Risk Information) ist, die eine Bandbreite des Risiko-Potenzials (inkl. Best und Worst Case) abbildet.<sup>10</sup> Auf dieser Grundlage können dann folgende Fragen beantwortet werden:

- Wie viel Prozent des aktuellen Kosten-Potenzials sind noch durch das restliche Budget gedeckt? Zeichnet sich eine Unter- oder Überdeckung ab?
- Wie viel Prozent des aktuellen Kosten-Potenzials sollen durch das Budget gedeckt werden? Wie viel bleibt bewusst ungedeckt?
- Wie hoch ist das Risiko-Potenzial im Vergleich zu den Basiskosten?
- Welche Elemente unterliegen der höchsten Schwankung?

Mit zyklischer Verfolgung der Risikoentwicklung zu festen Stichtagen kann das Projekt während der Ausführung über ein Controlling, welches die Vorteile der Probabilistik für Prognosen nutzt,



Risikobewirtschaftung

Abbildung 3: Veränderung des Risikopotenzials durch Risiko-Bewirtschaftung

10 Sander, P., Moergeli, A., Reilly, J.: Quantitative Risk Analysis – Fallacy of the Single Number. In: Proceedings of the World Tunnel Congress (2015), Dubrovnik, Croatia.

fortlaufend überwacht werden. Das Ziel des Controllings besteht zum einen darin, eine sich abzeichnende Budget-Über- oder Unterdeckung und deren Ursachen frühzeitig zu identifizieren und zum anderen in der Erarbeitung effektiver Maßnahmen zur fortlaufenden Gewährung einer Kostenstabilität.

Als Unterstützung der Risikokommunikation werden Diagramme verwendet, die auf den Informationsbedarf der jeweiligen Entscheidungsträger abgestimmt sind. Abbildung 3 zeigt beispielhaft eine historische Verfolgung des Risikopotenzials während der Ausführungsphase.

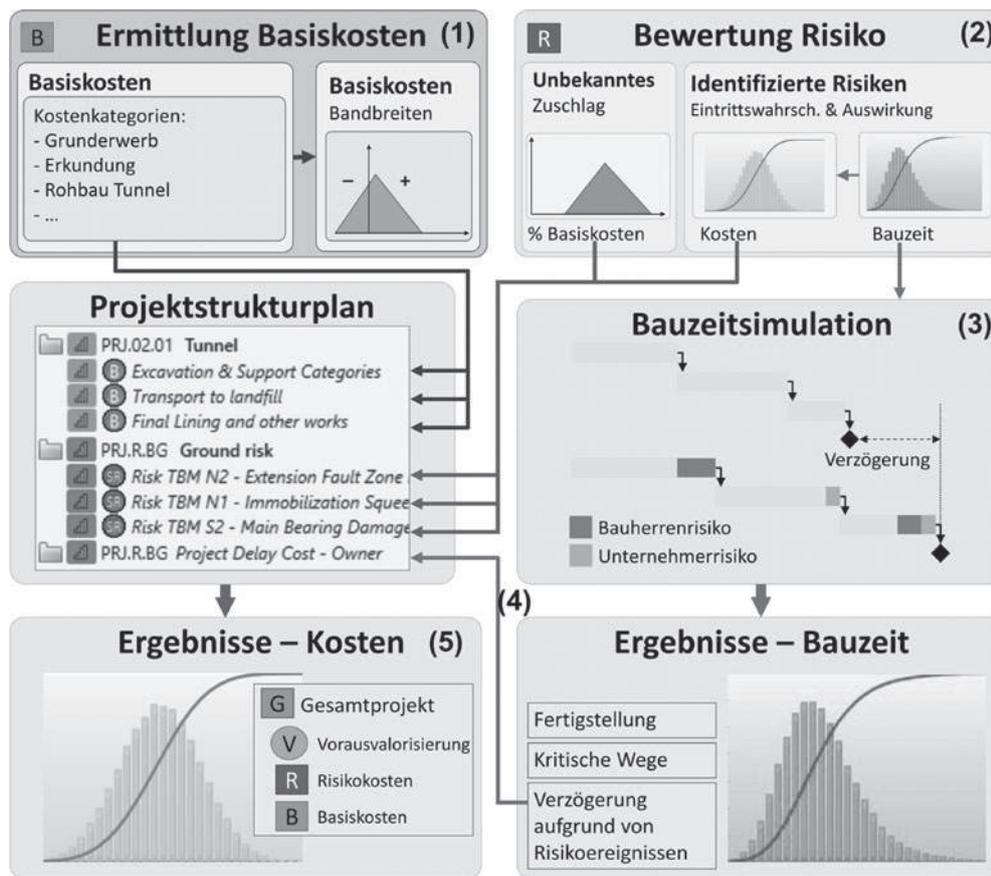
Dabei wird das ermittelte Risikopotenzial zu jedem Stichtag (hier: Quartal) inklusive Unsicherheiten in Säulenform (orange Bandbreiten) dargestellt. Es ist eine Verringerung der Unsicherheiten (kleiner werdende Säulen) mit zunehmendem Baufortschritt zu beobachten, was auf den steigenden Wissensgewinn zurückzuführen ist. Ebenso ist ein Abschmelzen des Risikopotenzials zu den Zusätzlichen Kosten (Zusatzaufträge = eingetretene Risiken) zu beobachten. Die Gesamtkosten aus Risiken (blau) ermitteln sich aus dem prognostizierten Risikopotenzial (rot) und den Zusätzlichen Kosten (grün). Die Gesamtkosten aus Risiken sind in diesem Projekt sehr konstant, was auch das Ziel wäre.

### 3. Integrales Kosten- und Bauzeitmodell

#### 3.1 RIAAT – Prozess

Der Prozess für die integrale Kosten- und Bauzeitanalyse ist in Abbildung 4 dargestellt und enthält folgende Teilschritte:

- (1) Kostenermittlung, Validierung der Basiskostenermittlung unter Berücksichtigung von Unsicherheiten und Aufbau des PSP (Projektstrukturplan).
- (2) Risikoanalyse (Bewertung Auswirkungen auf Kosten und Zeit) und Zuweisung in PSP.
- (3) Risiken werden mit Vorgängen des Bauzeitplans verknüpft. Anschließend werden Fertigstellung, kritische Wege und Verzögerungen aufgrund von Risiken per Simulation ermittelt.
- (4) Ermittlung der Kosten aus Bauzeitverlängerung und Integration in den PSP.
- (5) Die Projektkosten inkl. aller Unsicherheiten steht nun auf allen Ebenen des Projektstrukturplans und gliedert nach Kostenbestandteilen zur Verfügung.

Abbildung 4: RIAAT Prozess – Integriertes Kosten- und Bauzeitmodell<sup>11</sup>

Im ersten Schritt erfolgt die Ermittlung der Basiskosten und deren Validierung sowie die Zuteilung von Bandbreiten zur Berücksichtigung von Mengen- und Preisunsicherheiten. In der praktischen Durchführung wird die Kostenermittlung im Regelfall vom Planungsteam durchgeführt. Bei Großprojekten sollte diese Kostenermittlung extern validiert werden. Dabei werden Umfang, Mengen und Preise der Kostenermittlung geprüft, die Zuschläge für Unberücksichtigtes validiert und die Ergebnisse mit einer Bandbreite versehen (vgl. u.a. CEVP).<sup>12</sup> Diese Bandbreite deckt übliche Mengen- und Preisschwankungen innerhalb des definierten Basisszenarios ab, jedoch keine Unwägbarkeiten aus Risiken.

Die Risikobewertung erfolgt in zwei Schritten. Einerseits wird ein Zuschlag für Unbekanntes nach einem Richtwertverfahren<sup>13</sup> ermittelt, andererseits werden konkrete Risikoszenarien identifiziert, analysiert und hinsichtlich ihrer Kosten- und Bauzeitauswirkung bewertet. Die Kosten finden – wie bereits die Basiskosten – Eingang in den hierarchischen Projektstrukturplan (PSP). Risiken mit Bauzeitauswirkung werden darüber hinaus mit Vorgängen des Bauzeitplans verknüpft, um das Fertigstellungsdatum, Bauzeitverzögerungen und den kritischen Weg unter Berücksichtigung der identifizierten Risikoszenarien ermitteln zu können. Das Ergebnis der Bauzeitsimulation (Abweichung vom Zieldatum) wird in den Projektstrukturplan verknüpft und mit zeitgebundenen Kosten verknüpft. Damit werden die Kosten aus Bauzeitverzögerungen im Gesamtergebnis berücksichtigt.<sup>14</sup>

Risikobewertung

11 Sander, P., Entacher, M., Reilly, J.: Risk-Based Integrated Cost and Schedule Analysis for Infrastructure Projects. In: Tunnel Business Magazine (2017), Heft 8, S. 34–37.

12 Reilly, J.J. 2004 w. McBride, M., Sangrey, D., MacDonald, D. & Brown, J. „The development of CEVP® – WSDOT’s Cost-Risk Estimating Process.“ Proc. BSCE Fall/Winter 2004.

13 ÖGG – Österreichische Gesellschaft für Geomechanik (2016): ÖGG-Richtlinie „Kostenermittlung für Projekte der Verkehrsinfrastruktur. Unter Berücksichtigung relevanter Projektrisiken“, ÖGG – Österreichische Gesellschaft für Geomechanik, Salzburg, 2016.

14 Neumann R., Sander P.: Risikomanagement bei Bauprojekten – Anwendung in der Praxis, Braunschweiger Baubetriebsseminar, Braunschweig, 2017.

Der vorgestellte Prozess ist im Prinzip generisch, jedoch für die Umsetzung mit der Software RIAAT optimiert.<sup>15</sup> RIAAT (Abbildung 5) verfügt über eine hierarchische Projektstruktur und verwendet Verteilungen zur Berücksichtigung von Unsicherheiten. Neben einer Schnittstelle zu MS Excel für den Datenimport/-export stehen umfangreiche Modellierungsmöglichkeiten (z.B. Ereignis- und Fehlerbäume) und Visualisierungsmöglichkeiten zur Klassifikation von Risiken zur Verfügung. Das Alleinstellungsmerkmal liegt im integrierten Bauzeitplan (Schnittstelle zu MS Project und Oracle Primavera),

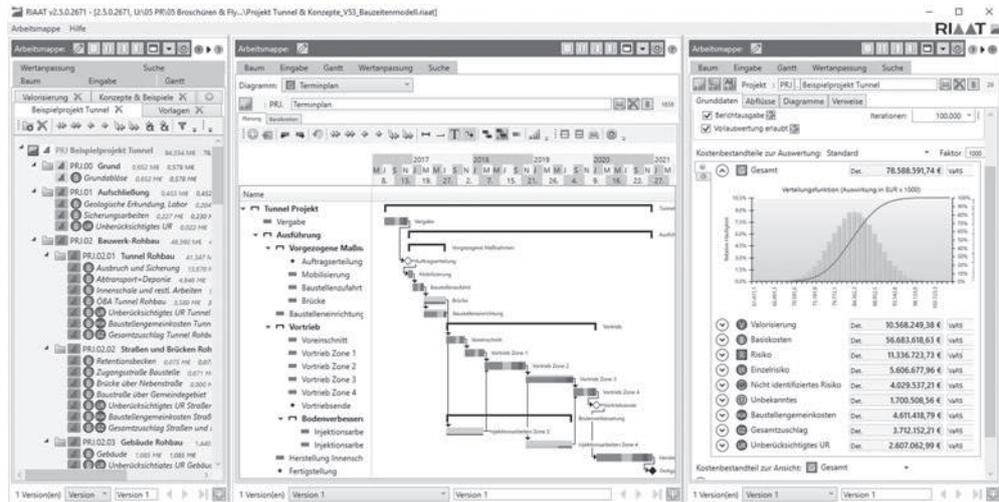


Abbildung 5: Beispiel RIAAT Benutzeroberfläche

dem Risiken aus dem Risikoregister mittels drag & drop zugeordnet werden. Die Kosten- und Risikoanalyse wird dadurch zu einer integralen Kosten- und Bauzeitanalyse.

### 3.2 Darstellung von Unsicherheiten

Genauso wichtig wie die Identifizierung von Kostenrisiken, ist die Erfassung der **Terminrisiken**:

- Bei einigen Projekten ist die Einhaltung der Termine das vorrangige Ziel, auch um den Preis höherer Kosten.
- Terminverschiebungen können hohe Folgekosten haben (Vorhalten von Personal und Material, Bereitstellung von Ausweichverkehrsmitteln, Strafzahlungen).

Im einfachsten Falle sehen Terminpläne darum Pufferzeiten vor, die durch das Eintreten terminlicher Risiken aufgezehrt werden. Anstatt sich auf Pauschalen zu stützen, können terminliche Risiken gleichfalls in den Workshops identifiziert und mit Unschärfe versehen werden.

Abbildung 6 zeigt an einem Beispiel aus dem Tunnelvortrieb, wie Vorgänge zusätzlich zur Basisdauer (blau) noch ein oder mehrere Einzelrisiken (rot) angefügt werden können.

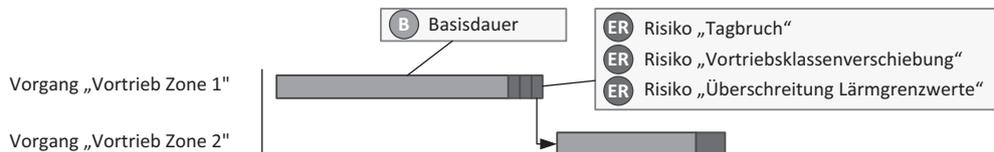


Abbildung 6: Vorgänge mit angehängten Risiken

Aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Bandbreite der Einzelrisiken ergeben sich viele mögliche Szenarien (siehe Abbildung 7).

15 RIAAT, 2017: <http://riaat.riskcon.at>.

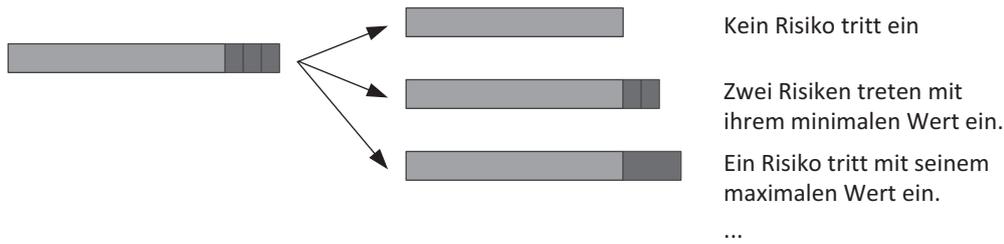


Abbildung 7: Mögliche Szenarien für einen Vorgang mit drei Einzelrisiken

Mit Hilfe von speziellen Softwarelösungen<sup>16</sup> kann, auf Basis der Unsicherheiten in den einzelnen Vorgängen, eine Monte-Carlo-Simulation durchgeführt werden. Tausende Szenarien werden durchgespielt und es ergibt sich ein probabilistisches Ergebnis für die Meilensteine und das Enddatum, in Form einer Wahrscheinlichkeitsverteilung.

Aus der Verschiebung eines Stichtages gegenüber dem Zieltermin (Abbildung 8) können wiederum **indirekte Kosten (Folgekosten)** abgeleitet werden. Natürlich kann auch ein Chancenpotential vorliegen, durch einen möglichen frühzeitigen Abschluss der Arbeiten.

Der Vorgang „Injektionsarbeiten Zone 4“ liegt nur in ca. 30 % der Szenarien auf dem kritischen Pfad und nur der gelbe Pfad führt überhaupt durch diesen Vorgang.

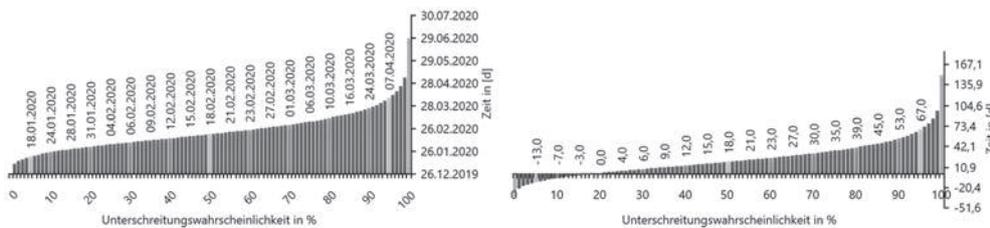


Abbildung 8: Mögliches Enddatum (links), Abweichung vom Zieltermin (rechts)

Unterschiedliche Szenarien im Zuge der Simulation führen auch zu unterschiedlichen kritischen Pfaden, die ermittelt und eingeblendet werden können. Abbildung 9 zeigt farblich hervorgehoben drei mögliche kritische Pfade (blau, gelb und rot). Wie farblich ausgefüllt der Vorgang in der Höhe erscheint illustriert außerdem, bei welchem Anteil möglicher Szenarien der Vorgang überhaupt auf einem kritischen Pfad liegt.

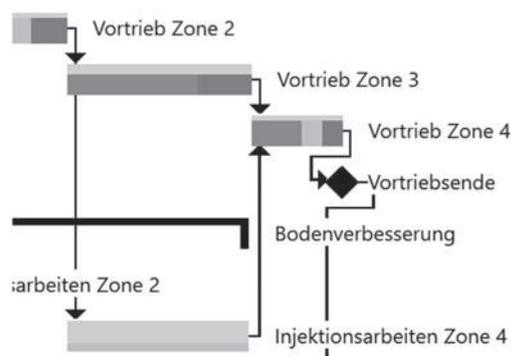


Abbildung 9: Hervorhebung von 3 möglichen kritischen Pfaden

## 4. Fallbeispiel Basistunnel

### 4.1 Projektbeschreibung

Die integrale Kosten- und Bauzeitanalyse wird anhand eines fiktiven Beispielprojekts veranschaulicht, das auf den Erfahrungen der Autoren bei verschiedenen europäischen Basistunnels beruht. Der

Monte-Carlo-Simulation

16 RIAAT, 2017: <http://riaat.riskcon.at>.

Anwendung im  
Projekt

14 km lange zweiröhrige Tunnel wird mit vier Tunnelbohrmaschinen aufgeföhren. Daneben gibt es zwei Sprengvortriebe von einem der Portale aus sowie einen Zugangsschacht, eine Zugangsstraße, eine Nothaltestelle, Querschläge und die Errichtung der Tunnelinnenschale, die in Teilbereichen optional ist. Abbildung 10 zeigt das Projekt in einem Weg-Zeit-Diagramm.

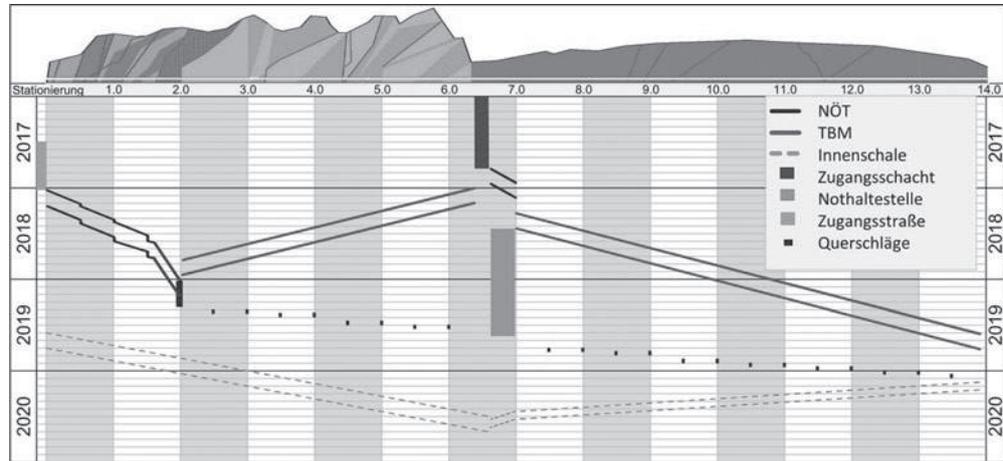


Abbildung 10: Weg-Zeit-Diagramm Beispielprojekt Basistunnel, horizontale Achse: Station, vertikale Achse: Bauzeit.

## 4.2 Risikoanalyse und Bauzeitmodell

Nach der Validierung der Kostenermittlung und der Zuordnung von Bandbreiten werden im Zuge von moderierten Workshops Risiken identifiziert, analysiert und bewertet. Die Entwicklung von Risikoszenarien, die konkret und quantitativ bewertet werden können, setzt voraus, dass sich das Projektteam mit den Risiken detailliert auseinandersetzt, das beinhaltet z.B. die Benennung konkreter Ursachen und Auswirkungen. Durch die Verwendung von Risk Fact Sheets, in denen das Risiko sowie Maßnahmen genau beschrieben werden, wird dieser Prozess erleichtert und geführt. Nur konkrete Risikoszenarien können mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit (0–100 %) oder Häufigkeit (0, 1, 2, ...) sowie Auswirkungen (Dreipunktschätzungen für Kosten & Bauzeit) quantifiziert werden. Von Risikoanalysen mit generischen Bewertungen (z.B. semiquantitativ: 1 bis 5), deren Bedeutung nicht eindeutig definiert ist, ist dringend abzuraten. Komplexe Risiken (z.B. Abhängigkeiten) können bei Bedarf mittels Ereignis- oder Fehlerbäumen (ETA, FTA) modelliert werden. Das Risikoregister sollte während der Risikoworkshops in Echtzeit aktualisiert werden, um dem Projektteam einen bestmöglichen Überblick über den laufenden Prozess zu geben.

#	Identifiziertes Risiko	Eintrittswahrscheinlichkeit	Häufigkeit	Auswirkung Bauzeit (d)		
				min	erwartet	max
1	TBM S2/S1 – Schaden Hauptlager	20 %	-	90	180	400
2	TBM N1 – Vortriebsklassenverschiebung	70 %	-	20	120	180
3	TBM N1/N2 – Verklemmen wg. Druckhaftigkeit	25 %	-	60	120	200
4	Verspätung Vergabe Bauauftrag	50 %	-	30	90	180
5	Fehlende Freigabe der Planung	30 %	-	30	120	180
6	TBM N2 – Vortriebsklassenverschiebung	70 %	-	12	24	180
7	NÖT F2 – Vortriebsklassenverschiebung	90 %	-	-20	60	100
8	Schacht – Vortriebsklassenverschiebung	60 %	-	30	60	90
9	TBM N1 – Verzögerungen beim Aufbau	25 %	-	20	60	100
10	TBM S2 – VerlängerungInnenschale	-	3	5	10	20

Risikoregister

Tabelle 1: Auszug Bewertung typischer Tunnelbaurisiken.

Tabelle 1 zeigt beispielhaft Bewertungen für typische Tunnelbaurisiken, die sich maßgebend auf das Bauzeitmodell des Beispielprojekts auswirken werden. Abbildung 11 zeigt den Terminplan als GANTT-Diagramm mit den bereits zugeordneten Risiken. Der Terminplan wird in einem separaten vorausgehenden Workshop auf die wesentlichen Inhalte kondensiert, sodass Kerninformationen und Abhängigkeiten übersichtlich dargestellt werden. Alle Risiken des Risikoregisters wurden per drag & drop einem Vorgang zugewiesen, die deterministische Risikoauswirkung (Eintrittswahrscheinlichkeit x Erwartungswert) wird farblich dargestellt. In diesem Beispiel sind die Risiken farblich in drei Kategorien unterteilt (violett: Ausschreibung und Vergabe, blau: Auftraggeber, grün: Auftragnehmer). Tatsächlich ist die Risikoauswirkung aufgrund der Eintrittswahrscheinlichkeit und der Bandbreite der Auswirkung natürlich variabel, aufgrund der zugewiesenen Unsicherheiten werden verschiedene kritische Wege möglich.

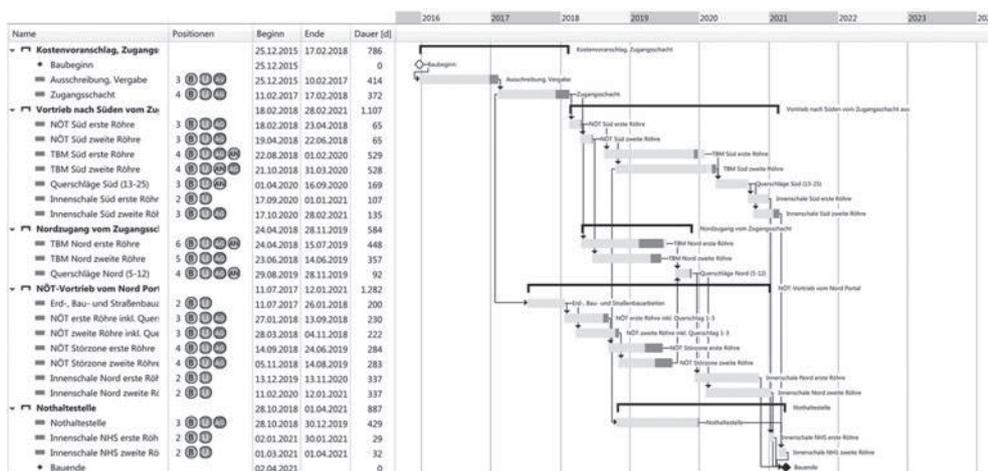


Abbildung 11: Basisterminplan mit zugeordneten Risiken, die Farben zeigen die deterministische Risikoauswirkung an

Thematisch gleiche, aber voneinander unabhängige Risiken wie z.B. der Schaden eines Hauptlagers für verschiedene Tunnelbohrmaschinen werden als separate Risikoereignisse modelliert, da sie unabhängig auftreten können. Korrelationen von Risiken, z.B. das Antreffen einer Störzone, dass wahrscheinlich beide Tunnelröhren gleichermaßen betrifft, werden durch eine mehrfache Zuweisung eines einzelnen Risikoszenarios modelliert. Die Bedeutung Korrelationen in Terminplänen modellieren zu können, wurde bereits durch Drop & Duffey<sup>17</sup> erkannt, Details zur Modellierung von Korrelationen und Abhängigkeiten wurden von Sander et al.<sup>18</sup> veröffentlicht.

### 4.3 Ergebnisse

Der kritische Weg wird aufgrund der Unschärfen im Modell mittels Monte-Carlo-Simulation ermittelt, Abbildung 12 zeigt die Simulationsergebnisse. Jede Farbe kennzeichnet einen kritischen Weg. Vorgänge mit mehr als einer Farbe liegen auf mehreren der möglichen (und wahrscheinlichen) kritischen Wege, der Vorgang „Ausschreibung, Vergabe“ setzt sich bspw. aus fünf Farben zusammen, er kommt auf allen vier maßgebenden kritischen Wegen vor. Der Vorgangsbalken ist zu 100 % in Farbe dargestellt, er enthält keine grauen Anteile mehr, das zeigt, dass der Vorgang zu 100 % am kritischen Weg liegt. Abbildung 13 zeigt anhand eines Beispiels, wie die Farben zu interpretieren sind. Der kritische Weg im Beispielprojekt wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 60 % (blau + gelb) über die TBM-Vortriebe im Süden laufen. Der rote und der grüne kritische Weg zeigen an, dass es aber auch eine Wahrscheinlichkeit von etwa 25 % gibt, dass die TBM-Nordvortriebe kritisch werden. Der NÖT-Vortrieb, der am Nordportal beginnt, hat nur eine Chance von 12 % kritisch zu werden. Das würde der Fall sein, wenn sich im Zuge der Ausführung zeigt, dass die Störungszone bei km 2.0 länger ist als in der Prognose (vgl. Abbildung 12 und 13.).

Kritische Wege

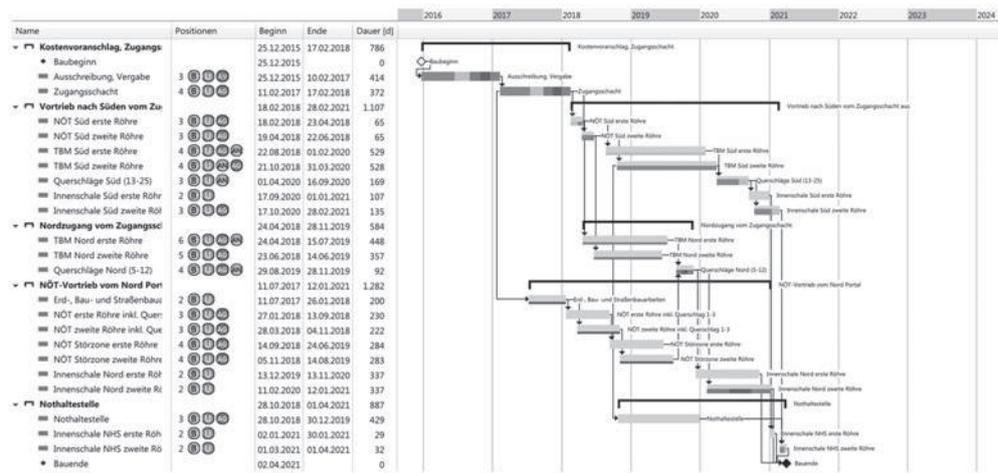


Abbildung 12: Ergebnisse der Simulation des kritischen Weges, jede Farbe zeigt einen möglichen kritischen Weg an.

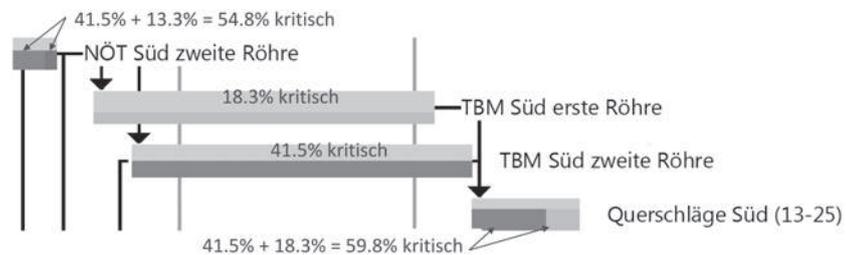


Abbildung 13: Interpretation der Simulationsergebnisse des kritischen Weges.

17 Dorp, J.R., Duffey, M.R.: Statistical dependence in risk analysis for project networks using Monte Carlo methods. In: International Journal of Production Economics 58 (1999), S. 17–29.

18 Sander, P., Reilly, J.J., Moergeli, A.: Risk Management – Correlation and Dependencies for Planning, Design and Construction. In: Proceedings of the World Tunnel Congress (2016).

Die Risiken aus Tabelle 1 sind in Abbildung 14 nun in Form eines Bandbreitendiagramms dargestellt. Die mögliche Risikoauswirkung wird in ihrer gesamten Bandbreite dargestellt, jeder Farbblock entspricht einer Wahrscheinlichkeit von 10 %. Das oberste Risiko „TBM S2 – Schaden Hauptlager“ beginnt am linken Ende mit dem VaR80 (Value at Risk 80 = Unterschreitungswahrscheinlichkeit 80 %), daraus kann man ableiten, dass die Eintrittswahrscheinlichkeit dieses Risikos 20 % sein muss, denn in 80 % aller Fälle ist die Risikoauswirkung null. Die Darstellung reicht jeweils bis zum VaR95. Neben der Risikobezeichnung sind die zugewiesenen Kostenbestandteile zu sehen. Alle Risiken sind Einzelrisiken (ER), zusätzlich ist jedes Risiko als Ausschreibungs-/Vergabe-Risiko oder für die Ausführung als Auftraggeber- oder Auftragnehmerrisiko gekennzeichnet. Neben den Kostenbestandteilen steht weiters eine Prozentzahl. Sie zeigt an mit welcher Wahrscheinlichkeit das Risiko am kritischen Weg liegen wird. Das Risiko der Verspätung der Vergabe des Bauauftrags liegt bspw. auf allen kritischen Wegen, somit 100 %. Die Risikoauswirkung in Verbindung mit der Wahrscheinlichkeit, dass das Risiko überhaupt am kritischen Weg liegen wird, erlaubt den Rückschluss auf die Risikopriorität hinsichtlich des Fertigstellungstermins.

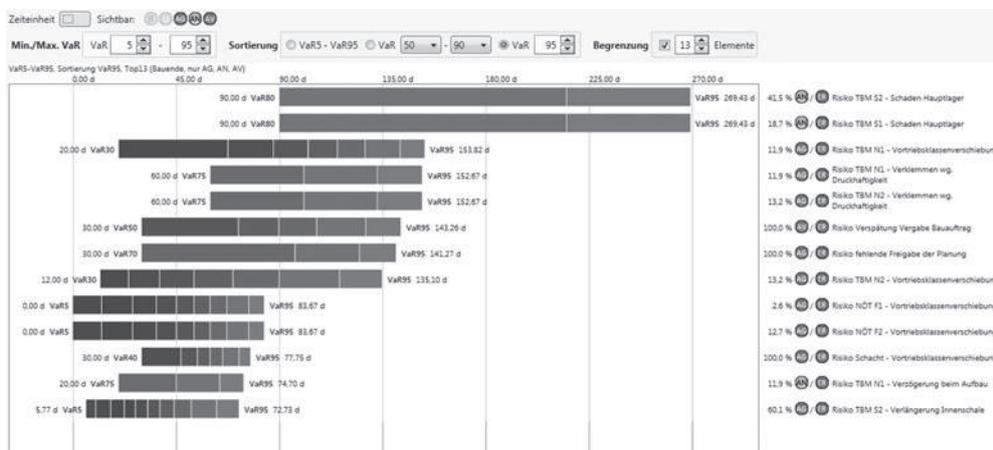


Abbildung 14: Bandbreitendiagramm mit prozentualer Anteil der Einzelrisiken am kritischen Weg.

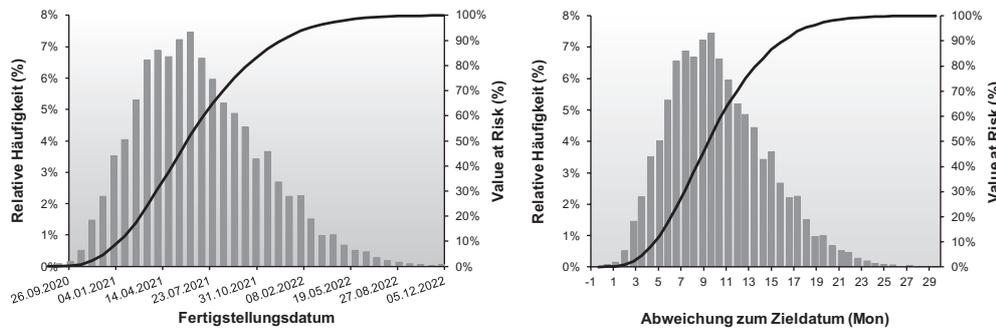


Abbildung 15: Fertigstellungstermin (links), Abweichung zum Zieldatum (rechts)

Die Prognose des Fertigstellungstermins und die Abweichung zum ursprünglichen Zieldatum sind in Abbildung 15 zu sehen. Die Abweichung kann wiederum einzelnen Risikosphären zugeordnet werden. Im Beispielprojekt wurde angenommen, dass für jenen Teil der Verzögerung, der sich aus Auftragnehmerrisiken ergibt (Risikosphäre AG) zeitgebundene Kosten von 60.000 €–110.000 € anfallen, die sich aus dem Bau und der verspäteten Inbetriebnahme zusammensetzen. Das Ergebnis aus der Simulation wird in das Risikoregister verknüpft und mit dem Ansatz für zeitgebundene Kosten pro Tag multipliziert. Die zusätzlichen Kosten aus Verzögerungen durch Auftragnehmerrisiken sind in Abbildung 16 dargestellt.

Risikodarstellung

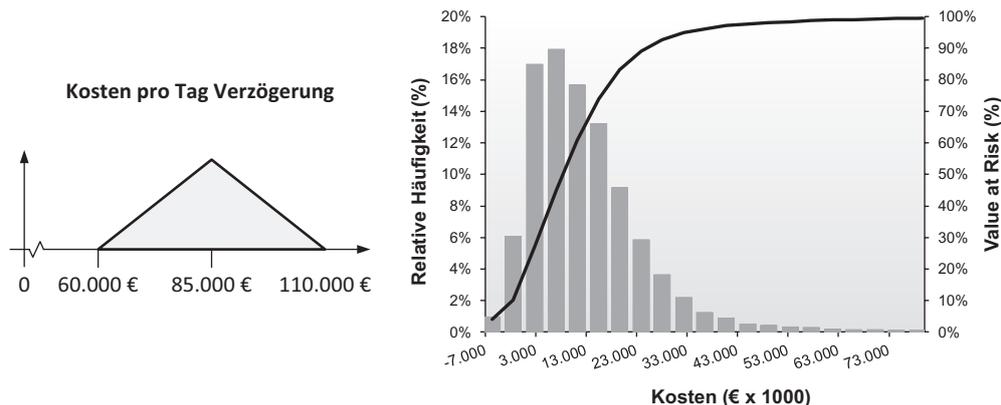


Abbildung 16: Kosten pro Tag Verzögerung und Kosten durch Verzögerung aus Auftraggeber Risiken.

Unter der Berücksichtigung von Basiskosten, Risiken (inkl. Kosten aus Verzögerungen) und Vorausvalorisierung ergeben sich für Projekt Gesamtrohbaukosten in der Höhe von 446 € Mio (VaR50) bzw. 463 € Mio (VaR80), die Deltakosten (Differenz zwischen deterministischen Basiskosten und Projektkosten unter Berücksichtigung aller Kostenbestandteile) betragen 164 € Mio (VaR80), die Ergebnisse sind in Abbildung 17 dargestellt.

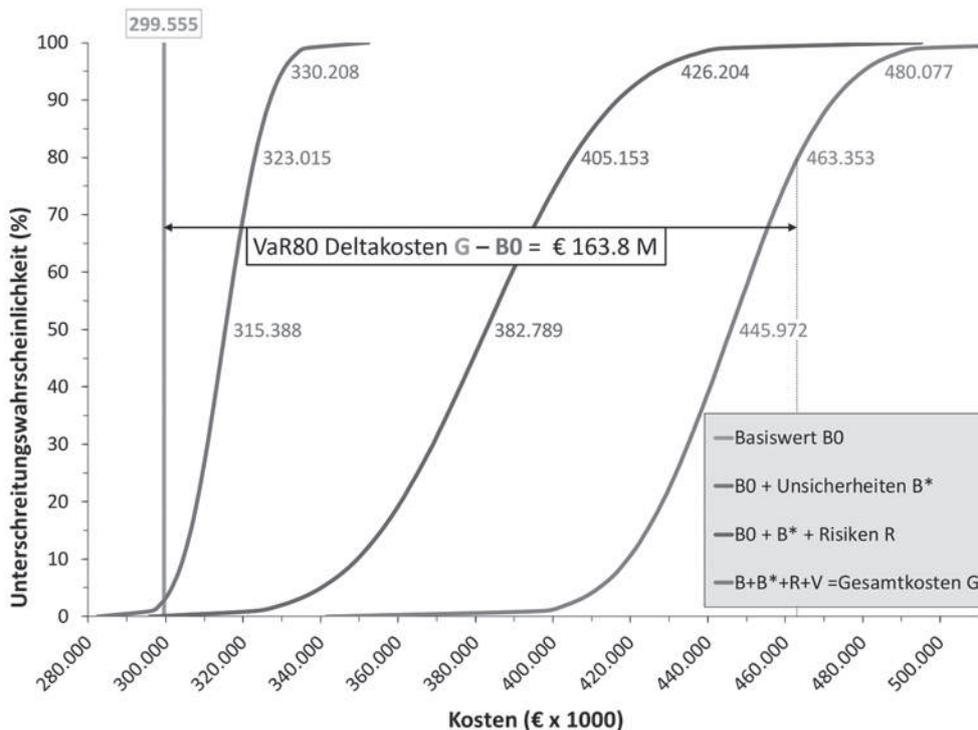


Abbildung 17: Projektkosten nach Kostenbestandteilen

## 5. Anwendung bei internationalen Großprojekten

Folgende Projekt sind ein Auszug aktueller Großprojekte, bei denen die integrale Kosten- und Bauzeitanalyse zum Einsatz kommt.

### 5.1 Neubau Internationaler Flughafen Lima/Peru

Die Erweiterung des New Jorge Chávez International Airport wird LAP voraussichtlich ca. \$ 1.500 Mio. kosten und zu Verbesserungen für über 30 Mio. Passagiere, Fluggesellschaften und der umliegenden Flughafengemeinschaft (Geschäfte, Zulieferer, etc.) führen. Zentrales Hauptaugenmerk liegt darin, Peru als Flughafen Drehkreuz zu positionieren und damit die lokale Wirtschaft zu stärken sowie die Wahrnehmung Perus als internationalem Akteur zu stärken.



Abbildung 18: Mögliche Neubauvariante (Quelle: LAP)

Praxisbeispiele

## 5.2 Neubau Rheinbrücke Duisburg

Die Autobahn A 40 verbindet das Ruhrgebiet mit dem Niederrhein und ist daher für die Region von großer Bedeutung. Die Rheinbrücke Duisburg-Neuenkamp wurde 1970 erbaut und erreicht heute die Grenzen ihrer Widerstandsfähigkeit. Die Erweiterung der Autobahn A 40 und der Bau einer effizienteren Brücke, die die alte Brücke ersetzt, ist von wesentlicher Bedeutung um sicherzustellen, dass der Verkehr in den kommenden Jahrzehnten sicher fließt.

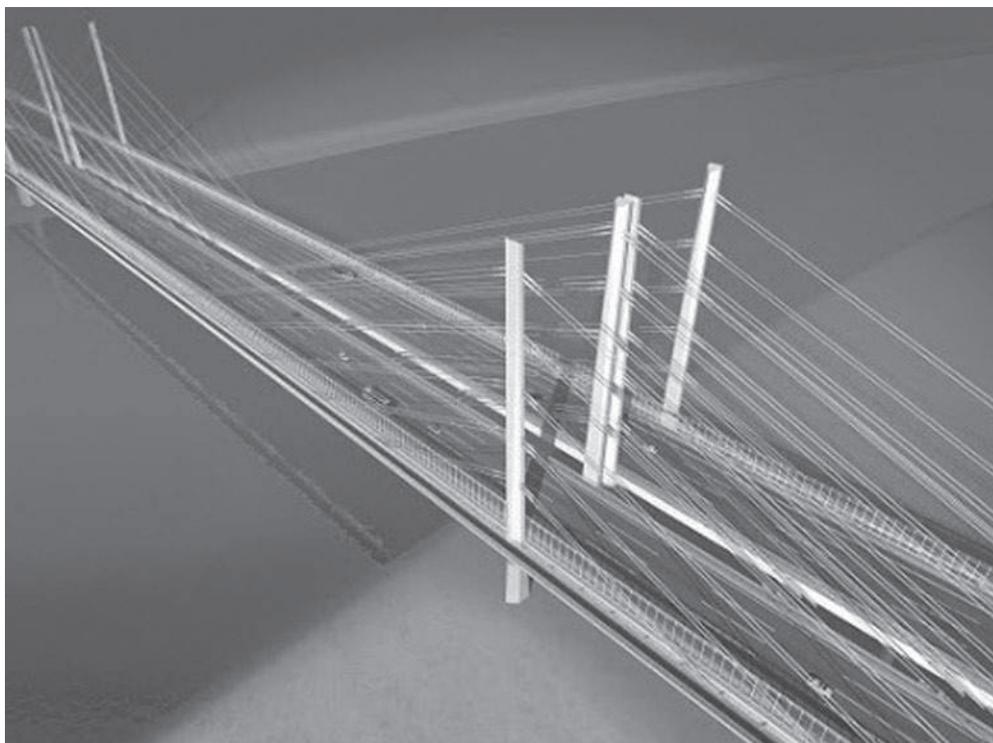


Abbildung 19: Neubau Rheinbrücke Duisburg (Quelle: DEGES)

## 5.3 BART Silicon Valley Phase II Extension Project

Erweiterung des existierenden Bay Area Rapid Transit Systems (BART) ins Silicon Valley (San Jose). 6 Meilen Erweiterung (5 Meilen Tunnel), 4 Stationen und Wartungseinrichtungen. Es wird mit 33.000

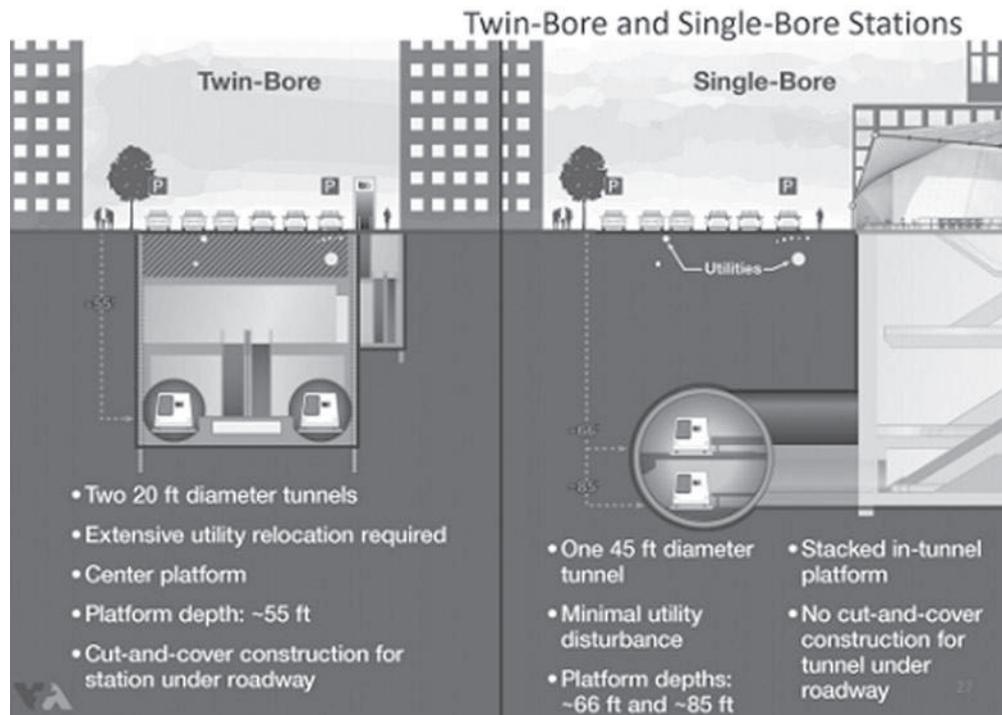


Abbildung 20: Varianten für Stationen (Quelle: VTA)

Passagieren täglich gerechnet. Im Zuge der Planung wird derzeit ein Variantenvergleich (einröhrig und zweiröhriger Vortrieb) durchgeführt.

### 5.4 U-Bahn New York: Canarsie Tunnel

Instandsetzung und Modernisierung des Canarsie Tunnel (U-Bahnlinie L) New York zwischen Manhattan und Brooklyn, inklusive 3 Stationen, infolge der Schäden durch den Hurrikan Sandy.

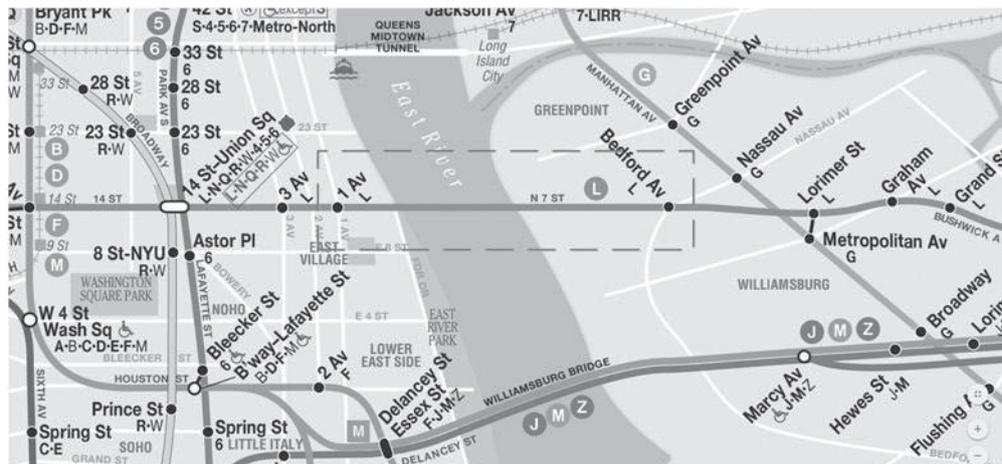


Abbildung 21: Canarsie Tunnel (Quelle: MTA)

## 6. Fazit

Die integrale Kosten- und Bauzeitanalyse bündelt relevante Informationen aus Kostenmanagement, Risikomanagement und Controlling. Sie ist ein zentrales Element für die Abwicklung von Großprojekten, die aufgrund ihrer Eigenschaften in vielen Feldern besondere Management- und Organisationsansätze benötigen. Der Terminplanerstellung kommt dabei als zentrales Steuerungselement eine besondere Rolle zu. Das Modell und die Vorgehensweise wurden an einem Beispielprojekt vorgestellt. Zusammenfassend kann festgehalten werden:

- Mit einer integralen Kosten- und Bauzeitanalyse kann der Einfluss von Risiken auf die Bauzeit analysiert werden. Damit können Verzögerungen und Verzögerungskosten unter Berücksichtigung von Unsicherheiten in einem integralen Modell ermittelt werden.
- Die probabilistische Terminplananalyse wird dazu benutzt die potenziellen kritischen Pfade und ihre zugehörigen Wahrscheinlichkeiten zu bestimmen.
- Die Ergebnisse können in der Planungsphase zur Budgetfestlegung herangezogen werden.
- In der Ausführungsphase lassen sich von Risiken und deren multiple Auswirkungen auf das Projekt analysieren. Aus den Ergebnissen können Maßnahmen abgeleitet und umgesetzt werden.