

Risk Management and Contract Models in Tunnelling – Part 2  
Risikomanagement und Vertragsmodelle im Tunnelbau – Teil 2

# Integral Consideration of Cost, Schedule, and Risks

## Integrale Betrachtung von Kosten, Terminen und Risiken

Large-scale projects involve a high investment volume, a high degree of uncertainty and extended delivery schedules. A digital project risk twin is an advantage in this regard, allowing uncertainties and correlations between cost, schedules and risks to be displayed and analysed transparently.

Großprojekte bringen ein hohes Investitionsvolumen, ein hohes Maß an Unsicherheiten sowie lange Laufzeiten mit sich. Um dem gerecht zu werden, ist der Einsatz eines digitalen Projektrisikozwillings von Vorteil, mit dem sich Unsicherheiten und Abhängigkeiten zwischen Kosten, Terminen sowie Risiken transparent darstellen und analysieren lassen.

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. PHILIP SANDER, Head of Institute of Construction Management/ Leiter Institut für Projektmanagement und Bauwirtschaft  
SIMON CHRISTIAN BECKER, M.Sc., CARL PHILIPP FRIEDINGER, M.Eng., Research Associate/Wissenschaftliche Mitarbeiter; Bundeswehr University Munich/Universität der Bundeswehr München, Germany/Deutschland  
Dipl.-Ing. Dr. techn. MARKUS SPIEGL, CEO/Geschäftsführer, RiskConsult GmbH, Innsbruck, Austria/Österreich

### 1 Introduction

In the first part, "Risk Management and Contract Models in Tunnelling: Risk Management Basics", the relevance of transparent cost and risk management in large infrastructure projects was presented – in particular the main cost components and their composition. To successfully measure and control cost and schedules, a comprehensible assessment of risks is necessary. In comparison to deterministic methods, probabilistic methods provide valuable information on uncertainties [1]. The fundamentals outlined in part 1 are illustrated using a digital project risk twin (PRT).

### 2 Integral Modelling of Cost, Schedule and Risks

#### 2.1 Fundamentals of Integral Modelling

The integration of scheduling into risk management is important because – as many examples of major projects

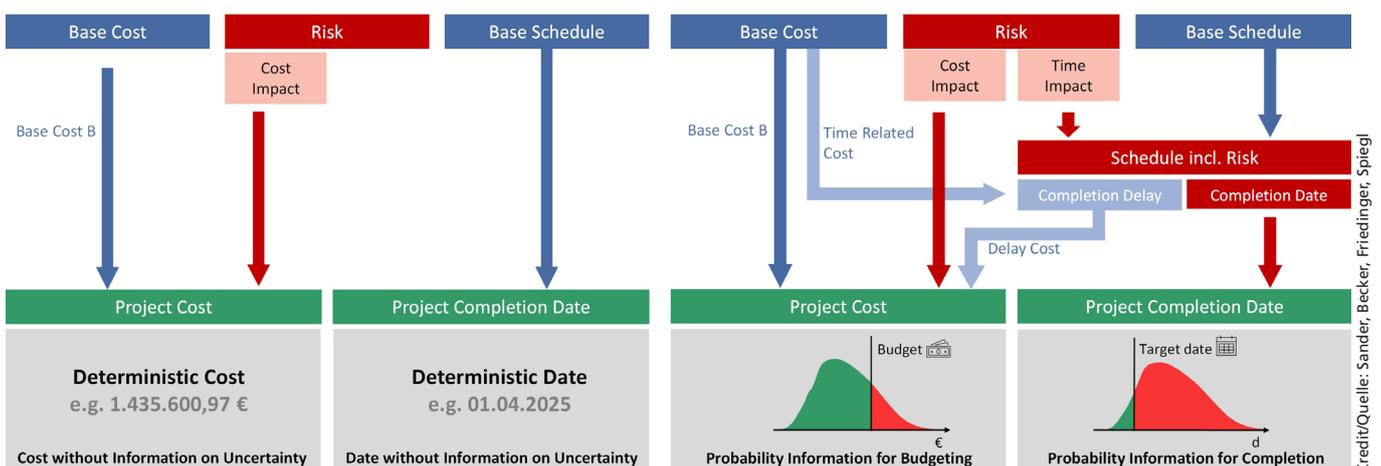
### 1 Einleitung

Im ersten Teil „Risikomanagement und Vertragsmodelle im Tunnelbau: Grundlagen Risikomanagement“ wurde die Relevanz eines transparenten Kosten- und Risikomanagements bei großen Infrastrukturprojekten vorgestellt – insbesondere die wesentlichen Kostenbestandteile und deren Zusammensetzung. Um Kosten und Termine erfolgreich messen und steuern zu können, ist eine nachvollziehbare Bewertung der Risiken notwendig. Probabilistische Methoden liefern im Vergleich zur Deterministik wertvolle Informationen zu Unsicherheiten [1]. Die genannten Grundlagen aus Teil 1 werden mit einem digitalen Projektrisikozwilling (Projekt Risk Twin – PRT) dargestellt.

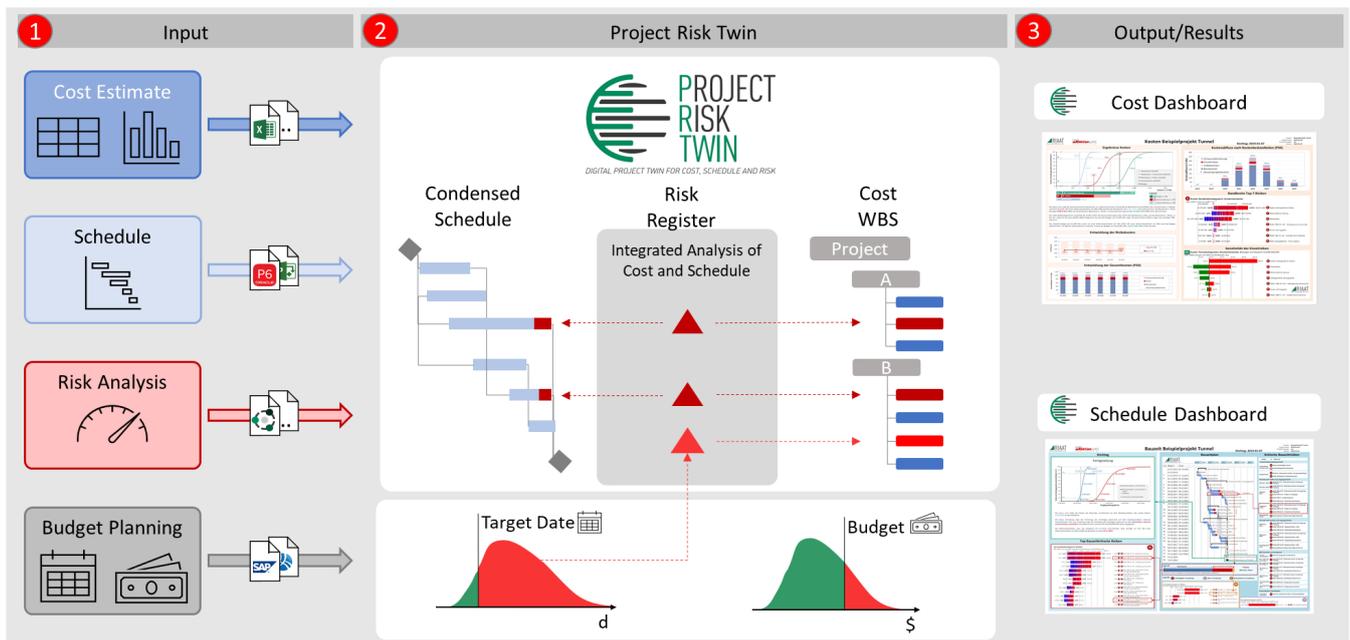
### 2 Integrale Modellierung von Kosten, Terminen und Risiken

#### 2.1 Grundlagen der Integralen Modellierung

Die Integration der Terminplanung in das Risikomanagement ist



1 Left: standard project management approach; right: Integrated cost, risk and schedule model  
Links: Standard Projektmanagement-Ansatz; rechts: Integriertes Kosten-, Risiken- und Bauzeitmodell

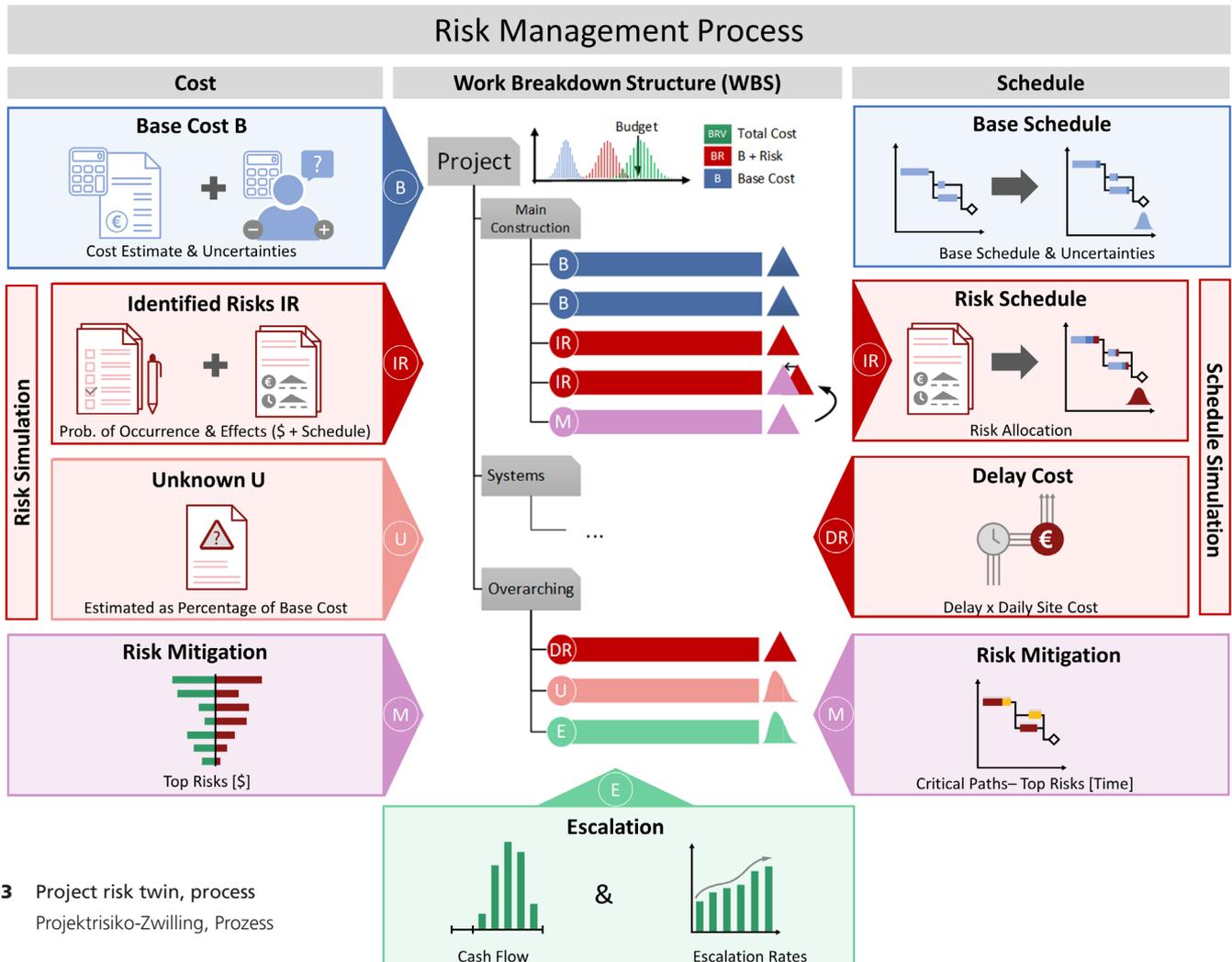


Credit/Quelle: Sander, Becker, Friedinger, Spieg

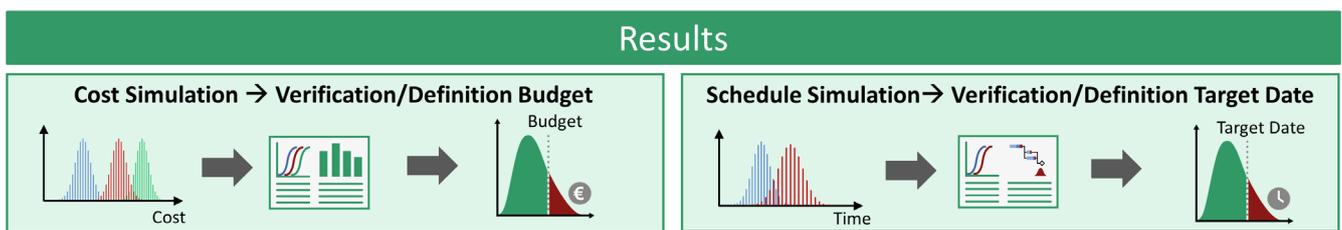
**2** Digital project risk twin for infrastructure projects  
Funktionsweise des digitalen Projektrisikozwillings für Infrastrukturprojekte

show – it is often the cause of massive cost overruns. Particularly in infrastructure projects like tunnel construction, events such as a jammed tunnel boring machine (TBM) can lead to massive losses in terms of both time and money. The cost and time approaches are fundamentally different, but correlate with each other (there is a dependency between the two elements). If money is not spent, it remains in the budget and can be used at a later date as required. If, on the other hand, time is not used efficiently, it expires and is lost forever. In this sense, time cannot be controlled. Due to the dependency on money and time, this characteristic of time is also transferred to the financial aspects of major projects. Efficient construction time management cannot be achieved by simply measuring performance or contractually stipulating penalties; the forecasting nature of construction scheduling must be taken into account in the analysis. The value of a schedule therefore lies not only in the control of the construction time, rather it is of overriding importance. The conventional approach in project management (see Fig. 1, left) of viewing cost, risks and scheduling separately does not take into account the interdependence of time and cost. In addition, forecast values are often used as the basis for decisions without any information on uncertainties whose actual occurrence is close to zero. With this silo thinking, the components of costs and time cannot be modelled realistically. The integral model (see Fig. 1, right) links risks with a potential construction time impact to the schedule processes in order to determine the completion date, construction

wichtig, da diese – wie viele Beispiele bei Großprojekten zeigen – oftmals die Ursache massiver Kostenüberschreitungen ist. Speziell bei Infrastrukturprojekten wie z. B. einem Tunnelbau können Ereignisse, wie das Verklemmen einer Tunnelbohrmaschine, zu massiven zeitlichen und in der Folge auch monetären Verlusten führen. Die Ansätze von Kosten und Zeit sind grundlegend unterschiedlich, korrelieren jedoch miteinander (es besteht eine Abhängigkeit zwischen den zwei Elementen). Wird Geld nicht ausgegeben, so verbleibt es im Budget 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 – bei Großprojekten auch auf den Geldfluss. Ein effizientes Bauzeitmanagement kann nicht dadurch erreicht werden, nur Leistung zu messen oder Strafen vertraglich festzulegen; es gilt, den Prognosecharakter der Bauzeitplanung in der Analyse mit zu berücksichtigen. Der Wert eines Terminplans liegt daher nicht allein in der Kontrolle der Bauzeit, ihm kommt ein übergeordneter Stellenwert zu. Mit dem konventionellen Zugang im Projektmanagement (vgl. Bild 1, links), Kosten, Risiken und Terminplanung als unabhängig zu betrachten, wird die Abhängigkeit von Zeit und Kosten nicht berücksichtigt. Zudem werden oft Prognosewerte ohne jegliche Information zu Unsicherheiten, deren reales Eintreten gegen Null geht, als Grundlage für Entscheidungen herangezogen. Mit diesem Silodenken können die Komponenten Kosten und Zeit nicht realistisch abgebildet werden. Das integrale Modell (vgl. Bild 1, rechts) verknüpft Risiken mit potenzieller Bauzeitauswirkung mit den Vorgängen des



Credit/Quelle: Sander, Becker, Friedinger, Spiegl



time delays and potentially critical paths, taking into account the identified risk scenarios. The result of the construction time simulation (deviation from the target date) is integrated into the work breakdown structure (WBS) and linked to time-related costs. This means that the costs from construction delays are taken into account in the overall result [2, p. 24–25].

Terminplans, um das Fertigstellungsdatum, Bauzeitverzögerungen und potenziell kritische Wege unter Berücksichtigungen der identifizierten Risikoszenarien ermitteln zu können. Das Ergebnis der Bauzeitsimulation (Abweichung vom Zieldatum) wird in den Projektstrukturplan (PSP) eingebunden und mit zeitgebundenen Kosten verknüpft. Damit werden die Kosten aus Bauzeitverzögerungen im Gesamtergebnis berücksichtigt [2, S. 24–25].

## 2.2 Digital Project Risk Twin for Cost, Schedule and Risks

## 2.2 Digitaler Projektrisiko-Zwilling für Kosten, Termine und Risiken

A Digital Twin (DT) is a representation of a tangible or intangible object or process from the real to the digital world [3, p. 3]. DT has become a household word in large

Der Digitale Zwilling (Digital Twin – DT) ist eine Darstellung eines materiellen oder immateriellen Objektes oder Prozesses aus der realen in die digitale Welt [3, S. 3]. DT ist mittlerweile ein Begriff

infrastructure projects as technological advances in modelling and simulation make it applicable. **Figure 2** shows the elements of a DT for cost and schedule in infrastructure projects with the corresponding steps: the input/system integration of cost, schedule, risk, and budget data are gathered at the beginning (Fig. 2 (1)). In the PRT (Fig. 2 (2)), the data is linked by software. Simulation is used to perform an integrated cost and schedule risk analysis including uncertainties. The analysis results are processed and displayed in the form of individually tailored dashboards (Fig. 2 (3)).

The PRT is made up of several components. **Figure 3** shows chronologically from top to bottom the process steps to create such a model. Starting with basic cost and basic schedule planning, through risk analysis and risk mitigation, to the selection of an approach for escalation (future price increase).

In the lower part of Figure 3, the results for cost and schedule are shown. Furthermore, a distinction is made between the sub-process for the cost in the left part of the graphic and the sub-process for the schedule in the

bei großen Infrastrukturprojekten, da die technologischen Fortschritte in der Modellierung und Simulation die Anwendung ermöglichen. **Bild 2** zeigt die Elemente eines DT für Kosten, Termine und Risiken bei Infrastrukturprojekten mit den entsprechenden Schritten. Die Eingabe/Systemintegration von Kosten-, Termin-, Risiko- und Budgetdaten erfolgt zu Beginn (Bild 2 (1)). Im Project Risk Twin (Bild 2 (2)) werden die Daten mittels Software verknüpft. Durch Simulation wird eine integrierte Kosten- und Terminrisikoanalyse unter Einbeziehung von Unsicherheiten durchgeführt. Die Analyseergebnisse werden aufbereitet und in Form von maßgeschneiderten Dashboards ausgegeben (Bild 2 (3)). Der PRT setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen.

**Bild 3** zeigt chronologisch von oben nach unten die Prozessschritte zur Erstellung eines solchen Modells. Angefangen von der Basiskosten- und Basisterminplanung über die Risikoanalyse und die Maßnahmenplanung bis zur Wahl eines Ansatzes für die Vorausvalorisierung (zukünftige Preissteigerung).

Im unteren Teil von Bild 3 sind die Ergebnisse für Kosten und Termine dargestellt. Weiterhin wird zwischen dem Teilprozess für die Kosten im linken Teil der Grafik und dem Teilprozess für die Termine im rechten Teil der Grafik unterschieden. In



Intelligentes Bauen  
verbindet Menschen.

Mehr Infos zum  
Projekt:



right part of the graphic. In the middle, the work breakdown structure is shown, which structures the recorded cost items hierarchically so that they can be analysed individually. **Figure 4 (1)** shows an example of how the cost items are integrated into the WBS.

At the beginning of the process (see Fig. 3), the Base Cost (B) is determined and uncertainties for quantities and prices are evaluated [4, p. 2]. Equivalently, a Base Schedule is created. It is recommended to have the results validated by external experts.

This is followed by the risk analysis. In the first step, the specific risk scenarios are identified, described and quantified in terms of their probability of occurrence and impact on cost and construction time. In order to take uncertainties into account, the evaluation is carried out by means of three-point estimate (worst, expected and best case). Both positive (opportunities) and negative (threats) effects are considered from the perspective of the two contracting parties, client and contractor (see Fig. 4 (2)).

Risks which could delay construction completion trigger additional time related cost in most cases. To calculate the delay cost the potential delay due to risk impact is linked with time-related cost from base cost [5, p. 24] (see Fig. 4, (3)). All information is obtained in moderated workshops attended by the client-side project team. A conditioning of the participants is necessary in advance of the workshops. Important goals are to raise awareness

der Mitte ist der Projektstrukturplan dargestellt, der die erfassten Kostenbestandteile hierarchisch strukturiert, sodass diese individuell analysiert werden können. **Bild 4 (1)** zeigt dabei exemplarisch die Einbindung der Kostenbestandteile in den PSP. Zu Beginn des Prozesses (vgl. Bild 3) erfolgt die Ermittlung der Basiskosten und die Bewertung von Mengen- und Preisunsicherheiten [4, S. 2]. Äquivalent wird ein Basisterminplan erstellt. Es wird empfohlen die Ergebnisse in einem weiteren Durchgang durch externe Experten validieren zu lassen.

Anschließend erfolgt die Risikoanalyse. Im ersten Schritt werden die konkreten Risikoszenarien identifiziert, beschrieben und hinsichtlich ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit sowie Kosten- und Bauzeitauswirkung quantifiziert. Um Unsicherheiten zu berücksichtigen, erfolgt die Bewertung mittels Dreipunktschätzung (schlechtester, erwarteter und bester Fall). Es werden positive (Chancen) als auch negative (Gefahren) Auswirkungen aus Sicht der beiden Vertragspartner (Auftraggeber und Auftragnehmer) betrachtet (vgl. Bild 4 (2)).

Verzögerungen aus eingetretenen Risiken führen in den meisten Fällen nicht nur zu einer Verschiebung der Fertigstellung des Projekts, sondern auch zu zusätzlichen Kosten. Um diese Verzögerungskosten abbilden zu können, werden im folgenden Schritt die terminlichen Risikoauswirkungen im Terminplan mit den in den Basiskosten hinterlegten zeitgebundenen Kosten verknüpft [5, S. 24] (vgl. Bild 4, (3)). Alle Informationen werden in moderierten Workshops gewonnen, an denen das bauherrenseitige Projektteam teilnimmt. Eine Konditionierung



WBS with Structures Cost Components

Probabilistic Results for all Cost Components for the selected WBS Level

Integrated Schedule with assigned Risks and Milestone Analysis

Tornado Chart with Sensitivity Analysis

4 Sample main interface RIAAT software  
Screenshot RIAAT-Software

Credit/Quelle: Sander, Becker, Friedlinger, Spiegl

with regard to risk management and to reduce optimism bias (self-overestimating optimism).

In the second step of the risk analysis, the Unknown (U), consisting of non-identified and non-identifiable risks, is considered. Structured questionnaires are used to evaluate the project based on numerous factors such as maturity, complexity, geological conditions and market situation. The result is a project-specific percentage surcharge on base cost, which also takes into account the quality of the individual risk analysis performed. A higher degree of complexity and particularly unfavourable geological conditions result in a higher surcharge to be applied [6, p. 20]. For risk management, the impact of the individual risks on the overall project is analysed (e.g., sensitivity analyses, what-ifs, critical paths, etc.) (see Fig. 4, (4)). Appropriate risk mitigation measures can be derived from this to mitigate high impact cost and schedule risks. The risk mitigation measures can be quantified in advance by simulations and evaluated in terms of their cost-effectiveness. This provides a solid base for decision-making [5, p. 25]. The cash outflow over the entire project duration is used to calculate Escalation (E – future price increase). For long-running projects, high inflation cost must be expected due to the compound interest effect, which must be taken into account for both base cost and risks.

### 3 Outlook

The use of a digital project risk twin enables the transparent visualisation of uncertainties and correlations between cost and schedule. This leads to an improvement in the achievement of project goals. In order to minimise risks, suitable measures and/or corrective measures must be selected. Part 3 deals with risk management. It shows what measures are available to manage risks and what effects they have.

This publication is supported by dtec.bw – Centre for Digitalisation and Technology Research of the University of the Bundeswehr (DigiPeC – Digital Performance Contracting Competence Center).

#### LITERATUR/REFERENCES

- [1] S. C. Becker, C. P. Friedinger und P. Sander, „Risk Management and Contract Models in Tunnel Construction – Part 1: Basics of Risk Management“, tunnel 1/2024, S. 22–27.
- [2] P. Sander, S. C. Becker und K. Nübel, „Risk Management in Major Tunnelling Projects – Part 1: Basics and Success Factors“, tunnel 2/2021, S. 18–27.
- [3] R. Klostermeier, S. Haag und A. Benlian, Geschäftsmodelle Digitaler Zwillinge. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2020.
- [4] M. Entacher, P. Sander und M. Spiegl, „Risikobasierte Integrale Kosten- und Bauzeitanalyse für Infrastrukturprojekte“, Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift, S. 1–8, 2018.
- [5] P. Sander, S. C. Becker, M. Lammers, K. Uphoff, R. Brodehl und A. van Drogenbroeck, „Digital Project Risk Twin – Application for the Construction of U5 East, Hamburg“, tunnel 6/2021, S. 20–29.
- [6] ÖGG, „Richtlinie für die Kostenermittlung für Projekte der Verkehrsinfrastruktur unter Berücksichtigung relevanter Projektrisiken unter Berücksichtigung relevanter Projektrisiken“, Salzburg, 2016.

der Teilnehmer ist im Vorfeld der Workshops notwendig. Wichtige Ziele sind die Sensibilisierung in Bezug auf das Risikomanagement und die Reduzierung des Optimism Bias (selbstüberschätzender Optimismus).

Im zweiten Schritt der Risikoanalyse wird das unbekanntes Risiko, bestehend aus nicht-identifizierten und nicht-identifizierbaren Risiken, betrachtet. Mittels strukturierter Fragebögen wird das Projekt anhand zahlreicher Faktoren wie Reifegrad, Komplexität, geologische Verhältnisse und Marktsituation bewertet. Ergebnis ist ein projektspezifischer, prozentualer Zuschlag auf die Basiskosten, der auch die Qualität der durchgeführten Einzelrisikoanalyse berücksichtigt. Ein höherer Komplexitätsgrad und besonders ungünstige geologische Verhältnisse führen beispielsweise zu einem höher anzusetzenden Zuschlag [6, S. 20]. Zur Risikobewältigung wird die Auswirkung der Einzelrisiken auf das Gesamtprojekt analysiert (z. B. Sensitivitätsanalysen, Was-wäre-wenn, kritische Pfade, etc.) (vgl. Bild 4, (4)). Geeignete Maßnahmen zur Risikominderung können hieraus abgeleitet werden, um Kosten- und Zeitrissen mit hoher Auswirkung zu mitigieren. Die Maßnahmen der Risikoprävention lassen sich vorab durch Simulationen quantifizieren sowie auf ihre Wirtschaftlichkeit hin bewerten und bilden eine valide Entscheidungsgrundlage [5, S. 25]. Der Mittelabfluss über die gesamte Projektlaufzeit ist die Basis für die Ermittlung der zukünftigen Preissteigerung (Vorausvalorisierung). Für langlaufende Projekte muss hier aufgrund des Zinseszins-Effektes mit hohen Inflationskosten gerechnet werden, die sowohl für die Basiskosten als auch für die Risiken zu berücksichtigen sind.

### 3 Ausblick

Der Einsatz eines digitalen PRTs ermöglicht eine transparente Darstellung von Unsicherheiten und Abhängigkeiten zwischen Kosten und Terminen. Dies führt zu einer Verbesserung der Erreichbarkeit der Projektziele. Um Risiken zu minimieren, sind geeignete Maßnahmen bzw. Bewältigungsmaßnahmen zu wählen. Auf die Risikobewältigung wird in Teil 3 eingegangen. Darin wird aufgezeigt, welche Maßnahmen zur Bewältigung von Risiken zur Verfügung stehen und welche Auswirkungen diese haben.

Diese Veröffentlichung wird durch dtec.bw – Zentrum für Digitalisierungs- und Technologieforschung der Bundeswehr gefördert (DigiPeC – Digital Performance Contracting Competence Center).