

Risk Management and Contract Models in Tunnel Construction – Part 1: Basics of Risk Management

Risikomanagement und Vertragsmodelle im Tunnelbau – Teil 1: Grundlagen des Risikomanagements

Risk management should ensure that the project objectives are achieved. Adequate risk management also supports the decision-making process as to which contract model is suitable for the specifics of tunnel construction projects. For this purpose, it is important to know the basics and the procedure of risk management, which are presented in this article. In the following parts of the series, risk management, contract types, their selection and incentives from the perspective of risk management and insurance in tunnel construction will be presented and explained in more detail. The purpose of this series is to create a greater awareness of risks and to deal with them accordingly so that the project objectives can be achieved.

Das Risikomanagement soll das Erreichen der Projektziele sicherstellen. Ein adäquates Risikomanagement unterstützt auch die Entscheidungsfindung, welches Vertragsmodell für die Spezifika von Tunnelbauprojekten geeignet ist. Dafür ist es wichtig, die Grundlagen und das Vorgehen des Risikomanagements zu kennen, welche in diesem Beitrag dargestellt werden. In den später folgenden Teilen der Serie werden Risikobewältigung, Vertragsarten, deren Auswahl und Anreize unter dem Aspekt des Risikomanagements sowie Versicherungen im Tunnelbau aufgezeigt und näher erläutert. Diese Serie dient dazu, ein höheres Bewusstsein für Risiken zu schaffen und damit entsprechend umzugehen, damit die Projektziele erreicht werden.

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

1 Introduction

Risk management is a project management task in which the opportunities and risks of a project are identified, analyzed, evaluated and monitored. Project-specific risk management is intended to ensure the achievement of project objectives and thus the success of major projects [1, p. 226; 2, p. 31].

Effective cost and risk management is crucial to the success of major projects. Significant cost and schedule overruns in major projects show that risk management is often not given the importance it should have. In order to be able to measure and control cost and schedule against the defined targets, it is necessary to assess risks transparently and take them into account appropriately. Another point is the meaningful presentation of the results as a decision-making aid for the client and its management.

2 Fundamentals of Risk Management

2.1 Components of Risk Management

Risk management is a process that can be broken down into further subprocesses. The aspects of identification, analysis, evaluation and management are briefly outlined here (see Fig. 1). Of course, risk management also includes communication with the relevant stakeholders and monitoring during the execution of the project.

1 Einleitung

Das Risikomanagement ist eine Projektführungsaufgabe, im Rahmen derer Chancen und Gefahren eines Projektes identifiziert, analysiert, bewertet und überwacht werden. Ein projektspezifisches Risikomanagement soll die Erreichung der Projektziele sicherstellen und damit den Erfolg von Großprojekten [1, S. 226; 2, S. 31].

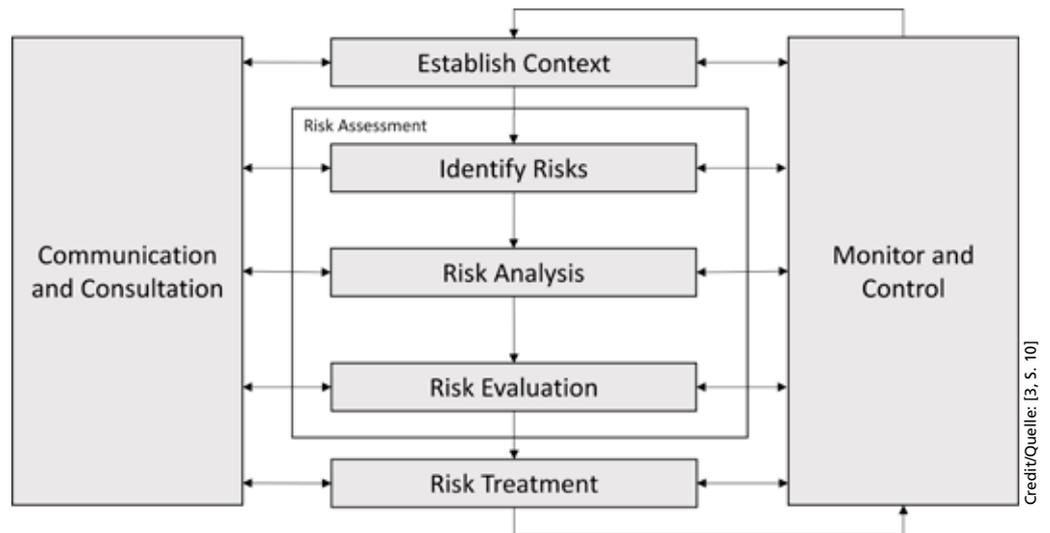
Ein wirkungsvolles Kosten- und Risikomanagement ist entscheidend für den Erfolg von Großprojekten. Signifikante Kosten- und Terminüberschreitungen bei Großprojekten zeigen, dass dem Risikomanagement oft nicht der Stellenwert zugeschrieben wird, den es eigentlich haben sollte. Um Kosten und Termine gegenüber den festgelegten Zielen messen und steuern zu können, ist es erforderlich Risiken transparent zu bewerten und angemessen zu berücksichtigen. Ein weiterer Punkt ist die aussagekräftige Darstellung der Ergebnisse als Entscheidungshilfe für den Auftraggeber und dessen Management.

2 Grundlagen des Risikomanagements

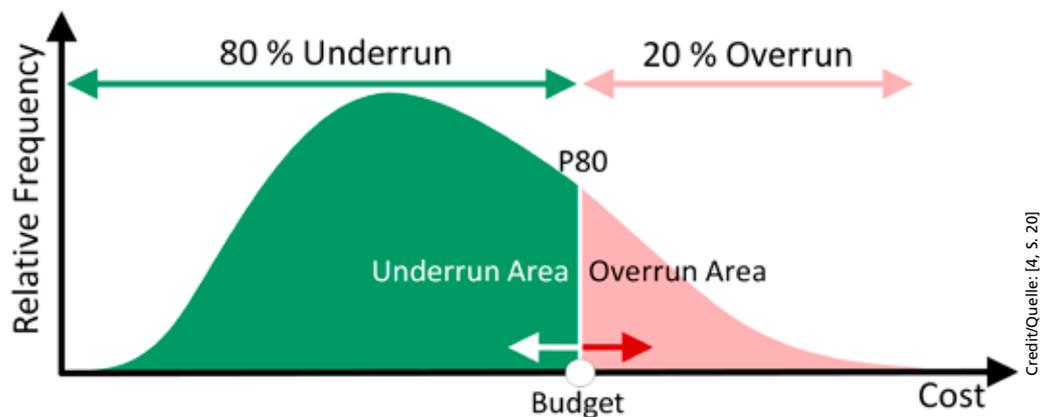
2.1 Bestandteile des Risikomanagements

Das Risikomanagement ist ein Prozess, der sich in weitere Teilprozesse gliedern lässt. Hier sollen kurz die Aspekte Identifikation, Analyse, Bewertung und Bewältigung angerissen werden (vgl. Bild 1). Selbstverständlich beinhaltet das Risikomanagement auch die Kommunikation mit den entsprechenden

1 Risk Management
Risikomanagement



2 Validation of a budget
(here P80)
Validierung eines Budgets
(hier P80)



Risk identification serves to record all relevant risks that trigger further activities in subsequent risk management or are relevant for analysis. The risk analysis quantifies potential identified risks in terms of probability of occurrence and impact. The risk assessment serves as a classification to identify the relevant risks. Risk management comprises four methods (acceptance, avoidance, transfer or mitigation) to reduce or eliminate the risk.

2.2 Consideration of Uncertainties

Figure 2 shows an example of the result of a probabilistic analysis. The budget is compared with the forecast range from risk management. It is shown that there is an 80% probability (P80) of staying below the upper budget limit. Conversely, there is a 20% probability that the budget will be exceeded. The P value (or value at risk) indicates a value (e.g. € 1.0 million) within a probability distribution that will not be exceeded or undercut with an assigned probability (probability of exceeding or falling short). This allows the robustness of a selected budget to be determined and also validated cyclically.

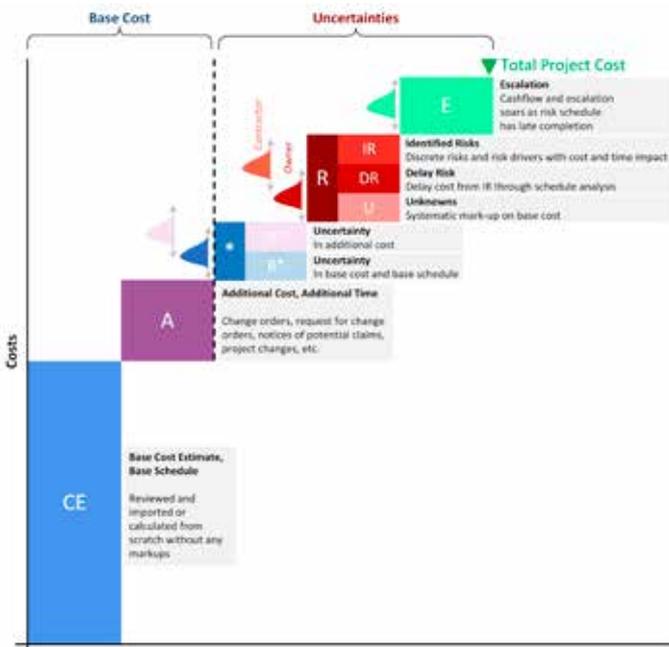
By using the probabilistic method (evaluation using bandwidths), it is possible to map the actual level of knowledge about cost, schedule and risks for each project phase using the bandwidth. This allows reality to be modeled much better than with a single

Beteiligten und eine Überwachung bzw. Überprüfung bei der Abwicklung des Projektes.

Die Risikoidentifikation dient zur Erfassung aller relevanten Risiken, die im späteren Risikomanagement weitere Aktivitäten anstoßen bzw. für die Analyse relevant sind. Mit der Risikoanalyse werden potenzielle identifizierte Risiken im Hinblick auf Eintrittswahrscheinlichkeit und Auswirkungen quantifiziert. Die Risikobewertung dient als Klassifizierung, um die maßgeblichen Risiken zu erkennen. Die Risikobewältigung umfasst vier Methoden (Akzeptanz, Vermeidung, Übertragung oder Minderung), um das Risiko zu verringern bzw. zu eliminieren.

2.2 Berücksichtigung von Unsicherheiten

In Bild 2 ist beispielhaft ein Ergebnis einer probabilistischen Analyse dargestellt. Das Budget wird der Prognosebandbreite aus dem Risikomanagement gegenübergestellt. Zu erkennen ist, dass das Budget mit einer Wahrscheinlichkeit von 80 % (P80) unterschritten wird. Im Gegenzug besteht eine Wahrscheinlichkeit von 20 %, dass das Budget überschritten wird. Der P-Wert (oder auch Value at Risk) gibt innerhalb einer Wahrscheinlichkeitsverteilung einen Wert (z. B. 1,0 Million Euro) an, der mit einer zugeordneten Wahrscheinlichkeit nicht über- bzw. unterschritten wird (Über- bzw. Unterschreitungswahrscheinlichkeit). So lässt sich die Robustheit eines gewählten Budgets bestimmen und auch zyklisch validieren.



Credit/Quelle: [6, S. 7]

3 Sample of a cost component structure
Beispiel einer Kostenbestandteilstruktur

deterministic value (point estimate). A deterministic approach suggests a certainty that is, however, subject to a high degree of uncertainty. With a bandwidth, the uncertainty can be shown transparently. The advantages of using probabilistic methods can be listed as follows [5]:

- Consideration of uncertainties by specifying ranges instead of exact figures. Uncertainties can thus be taken into account transparently and used as a basis for decision-making.
- The independent variables of risk assessment "probability of occurrence" and "impact" are not mixed up (extent of damage), the information is not lost in the course of aggregating the cost and risks.
- In the case of probabilistically determined cost, budgeting can be carried out with a degree of robustness. This indicates the probability of exceeding or falling short of the budget.

2.3 Cost Components

The use of cost components (see Fig. 3) aims to map cost transparently by specifying a clear cost structure. This structure should remain applicable from requirements planning through construction to the end of the project. The basic cost components are

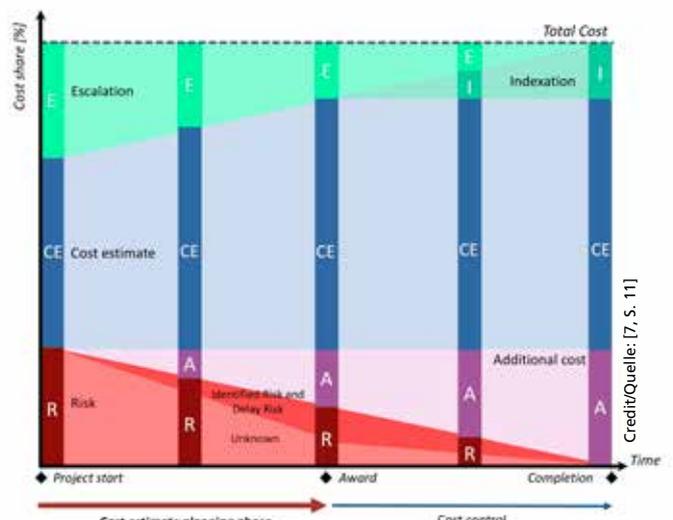
- Base cost (CE+A): cost if "everything goes according to plan", without reserves for risks or approaches for escalation (price increase).
- Risk cost (R): Cost arising from risks and opportunities that may occur but are not certain to materialize (probability of occurrence).

Mit Verwendung der probabilistischen Methode (Bewertung mittels Bandbreiten) ist es möglich, den tatsächlichen Wissensstand über Kosten, Termine und Risiken zu jeder Projektphase anhand der Bandbreite abzubilden. Die Realität kann dadurch wesentlich besser modelliert werden als durch einen einzigen deterministischen Wert (Punktschätzung). Mittels deterministischer Betrachtung wird eine Bestimmtheit suggeriert, die jedoch einer hohen Unsicherheit unterliegt. Mit einer Bandbreite kann die Unsicherheit transparent ausgewiesen werden. Die Vorteile durch die Anwendung probabilistischer Methoden lassen sich wie folgt aufzählen [5]:

- Berücksichtigung von Unsicherheiten durch die Angaben von Bandbreiten anstatt exakter Zahlen. Unsicherheiten können dadurch transparent berücksichtigt und als Entscheidungsgrundlage herangezogen werden.
- Die unabhängigen Größen der Risikobewertung „Eintrittswahrscheinlichkeit“ und „Auswirkung“ werden nicht vermischt (Schadensausmaß), die Information geht im Zuge der Aggregation der Kosten und Risiken nicht verloren.
- Bei probabilistisch ermittelten Kosten kann die Budgetierung mit Robustheitsgrad erfolgen. Dieser gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit das Budget über- bzw. unterschritten wird.

2.3 Kostenbestandteile

Die Verwendung von Kostenbestandteilen (vgl. Bild 3) hat das Ziel, Kosten transparent durch die Vorgabe einer klaren Kostenstruktur abzubilden. Diese Struktur soll von der Bedarfsplanung über die Bauausführung bis hin zum Projektende anwendbar bleiben. Die grundlegenden Kostenbestandteile sind:



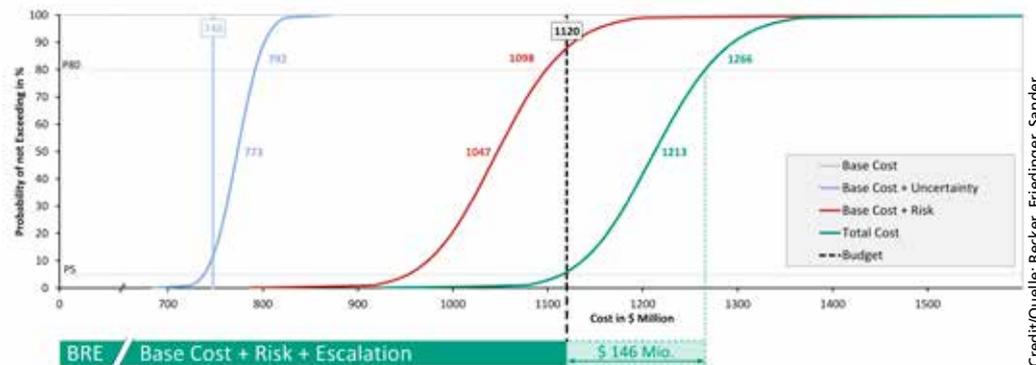
Credit/Quelle: [7, S. 11]

4 Idealised representation of the cost components in the course of the project

Idealisierte Darstellung der Kostenbestandteile im Projektverlauf

5 Total cost broken down into cost components with uncertainties and budget comparison

Gesamtkosten nach Kostenbestandteilen mit Unsicherheiten und Budgetvergleich



Credit/Quelle: Becker, Friedinger, Sander

- Escalation (E): Cost resulting from the forecast price increases (nominalization).

The cost component structure can be seen in the course of the project (see Fig. 4). During the planning phase, there is usually a high risk potential, but no additional cost as a result of risks that have occurred. In addition, the forecast cost for escalation depends on the implementation period (e.g. one year or ten years).

The risk potential is reduced in the course of construction, but additional cost is incurred in return. Escalation decreases with shorter intervals to the end of the project. After conclusion of the contract – if indexation clauses have been agreed – indexation cost arises (escalation incurred). Upon completion, there are no more uncertainties. The actual cost now only consists of the base cost ($B = CE + A$) and the indexation (I).

To validate the calculation of base cost, it is recommended that a contractor-based calculation be prepared. The calculation is carried out by experts according to common practice in the construction industry. One focus of the calculation is on the transparent determination of time-related cost [8, p. 123], as this contributes a primary part of the cost, especially in tunnel construction projects. With any type of delay, time-related cost has a high influence on the overall project cost.

Determining cost based on key figures is not expedient for complex large-scale projects, as this does not adequately reflect the time aspects. Key figures are often taken from the submission prices of other projects. These

- Basiskosten (CE+A): Kosten, wenn „alles nach Plan“ verläuft, ohne Reserven für Risiken oder Ansätze für Vorausvalorisierung (Preissteigerung).
- Risikokosten (R): Kosten, die sich aus Gefahren und Chancen ergeben, die eintreten können, aber nicht sicher eintreten (Eintrittswahrscheinlichkeit).
- Vorausvalorisierung (E): Kosten, die sich aus den prognostizierten Preissteigerungen (Nominalisierung) ergeben.

Im Projektverlauf kann die Kostenbestandteilstruktur (vgl. Bild 4) angenommen werden. Während der Planungsphase existiert in der Regel ein hohes Risikopotenzial, aber noch keine zusätzlichen Kosten, welche die Folge von eingetretenen Risiken sind. Außerdem sind die prognostizierten Kosten für die Vorausvalorisierung in Abhängigkeit des Realisierungszeitraums angesetzt (z. B. ein Jahr oder zehn Jahre).

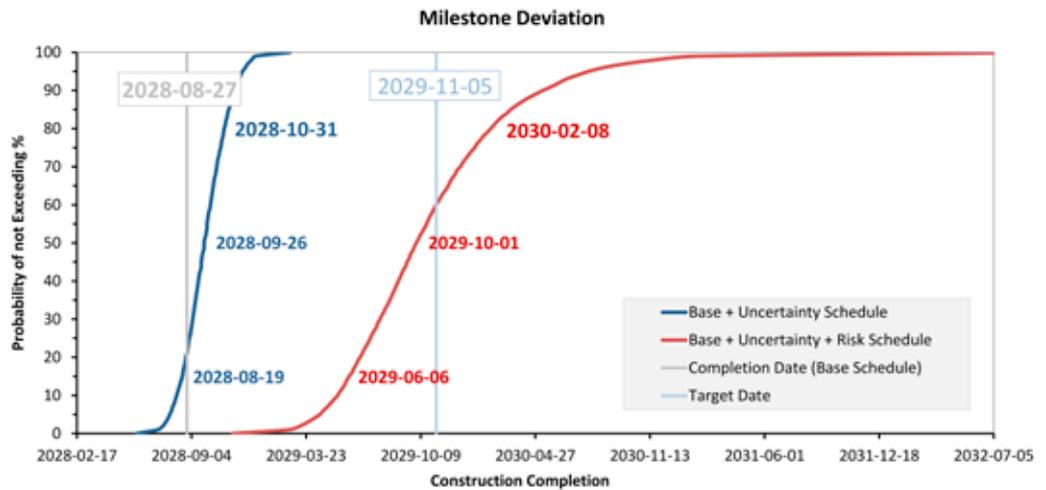
Im Zuge der Bauausführung verringert sich das Risikopotenzial, im Gegenzug entstehen zusätzliche Kosten. Die Vorausvalorisierung wird mit kleinerem Abstand zum Projektende geringer. Nach Vertragsschluss treten – bei vereinbarten Gleitungsklauseln – Gleitungskosten auf (eingetretene Vorausvalorisierung). Mit der Fertigstellung gibt es keine Unsicherheiten mehr. Die Ist-Kosten bestehen nur mehr aus den Basiskosten ($B = CE + A$) und der Gleitung (I).

Zur Validierung der Basiskostenermittlung wird die Erstellung einer unternehmensnahen Kalkulation empfohlen. Die Kalkulation erfolgt durch Experten, nach gängiger Praxis in der Bauwirtschaft. Ein Schwerpunkt der Kalkulation liegt auf der transparenten Ermittlung der zeitgebundenen Kosten (ZGK) [8, S. 123], da diese insbesondere bei Tunnelbauprojekten einen



6 Milestone deviation

Auswertung von Meilensteinen



Credit/Quelle: Becker, Friedinger, Sander

prices include allocations that are chosen speculatively by the contractor and are not transparent.

3 Results of Cost and Schedule

3.1 Cost

The total project cost including its uncertainties are determined by simulation from the base cost, the risks and the escalation. The result of the analysis is presented using S-curves according to cost components (see Fig. 5). Starting from the deterministic base cost (748 million dollars in the example), the blue curve shows the base cost including quantities and price uncertainties. The risks (red curve) and the cost estimates for escalation (green curve) are added to this. The result is compared with the budget. In the example, the budget of 1120 million dollars corresponds to the P5 value, i.e. there is a 5% probability that the budget will be undershot and a 95% probability that it will be exceeded. In order to achieve a budget certainty of 80%, the budget would have to be increased by 146 million dollars.

3.2 Schedule

The evaluation of the completion date (milestones) results in a systematically similar S-curve diagram as for the cost. The blue curve in the example in Figure 6 shows the basic schedule including uncertainties. The red curve is the result of adding identified risks (IR) with deadline impact. The comparison with the target date (in the example August 27, 2028) results in a schedule certainty of approx. 20% (P20). The target date can be met with a probability of 20% on the current reporting date. There is an 80% probability that it will be exceeded. In order to achieve a 60% certainty (P60) of the target date according to the current status, November 5, 2029 should be considered as the target date.

primären Teil der Kosten beitragen. Bei jeglicher Art von Verzögerung haben zeitgebundene Kosten einen hohen Einfluss auf die Gesamtprojektkosten.

Eine Kostenermittlung basierend auf Kennwerten ist bei komplexen Großprojekten nicht zielführend, da diese die zeitlichen Aspekte nicht adäquat abbildet. Kennwerte werden oft von Submissions-Preisen anderer Projekte entnommen. Diese Preise beinhalten Umlagen, die durch den Unternehmer spekulativ gewählt werden und nicht transparent nachvollziehbar sind.

3 Ergebnisse von Kosten und Terminen

3.1 Kosten

Aus den Basiskosten, den Risiken und der Vorausvalorisierung werden die Projektgesamtkosten inkl. ihrer Unsicherheiten durch Simulation ermittelt. Das Ergebnis der Analyse wird anhand von S-Kurven nach Kostenbestandteilen dargestellt (vgl. Bild 5). Ausgehend von den deterministischen Basiskosten (im Beispiel 748 Millionen Dollar), zeigt die blaue Kurve die Basiskosten inklusive Mengen und Preisunsicherheiten. Darauf werden die Risiken (rote Kurve) und die Kostenansätze für die Vorausvalorisierung aufgeschlagen (grüne Kurve). Das Ergebnis wird dem Budget gegenübergestellt. Im Beispiel entspricht das Budget von 1120 Millionen Dollar dem P5-Wert, d. h. das Budget wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 5% unterschritten und mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% überschritten. Um eine Budgetsicherheit von 80% zu erreichen, müsste das Budget um 146 Millionen Dollar erhöht werden.

3.2 Termine

Die Auswertung des Fertigstellungsdatums (Meilensteine) ergibt ein systematisch ähnliches S-Kurven-Diagramm wie bei den Kosten. Die blaue Kurve im Beispiel in Bild 6 zeigt den Basissterminplan inkl. Unsicherheiten. Die rote Kurve ergibt sich, wenn man identifizierte Risiken (IR) mit Terminauswirkung

4 Outlook

In this article, the basics of risk management with regard to the classification of cost components, probabilistic methods and the presentation of results were shown. In the next part, the dependence of time and cost, which is particularly relevant in tunnel construction, will be discussed. It will describe how cost, schedule and risks are analyzed integrally.

hinzufügt. Der Vergleich mit dem Zieldatum (im Beispiel 27. August 2028) ergibt eine Terminplansicherheit von ca. 20 % (P20). Das Zieldatum kann mit dem derzeitigen Stichtag mit einer Wahrscheinlichkeit von 20 % gehalten werden. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 80 % wird es überschritten. Um eine 60-prozentige Sicherheit (P60) des Zieldatums zu erreichen, sollte der 5. November 2029 als Zieldatum ins Auge gefasst werden.

4 Ausblick

Zunächst wurden die Grundlagen des Risikomanagements hinsichtlich der Einteilung von Kostenbestandteilen, probabilistischen Methoden und der Darstellung von Ergebnissen aufgezeigt. Im nächsten Teil wird auf die im Tunnelbau besonders relevante Abhängigkeit von Zeit und Kosten eingegangen. Es wird beschreiben wie Kosten, Termine und Risiken integral analysiert werden.

REFERENCES/LITERATUR

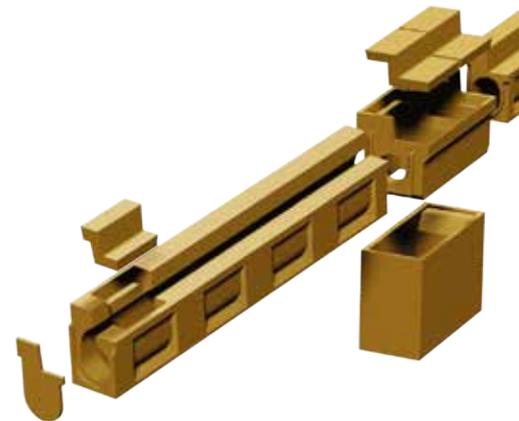
- [1] AHO, Projektmanagement in der Bau- und Immobilienwirtschaft – Standards für Leistungen und Vergütung: Leistungsbild und Honorierung, 5. Aufl. Köln: Reguvis Kooperationspartner des Bundesanzeiger Verlages, 2020.
- [2] BMVI, „Reformkommission Bau von Großprojekten: Komplexität beherrschen – kostengerecht, termintreu und effizient“, Berlin, 2015.
- [3] Risikomanagement – Verfahren zur Risikobeurteilung, 31010, DIN e.V., Berlin, Nov. 2010.
- [4] 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.
- [5] V. M. Bier, „An Overview of Probabilistic Risk Analysis for Complex Engineered Systems“ in Fundamentals of risk analysis and risk management, V. Molak, Hg., Place of publication not identified: CRC Press, 1996, I.5.
- [6] P. Sander und S. C. Becker, „Gemeinsames Risikomanagement bei Großprojekten mit der Integrierten Projektabwicklung (IPA)“, Berlin, 2023.
- [7] ÖGG, „Richtlinie für die Kostenermittlung für Projekte der Verkehrsinfrastruktur unter Berücksichtigung relevanter Projektrisiken unter Berücksichtigung relevanter Projektrisiken“, Salzburg, 2016.
- [8] D. Jacob, C. Müller und M. Oehmichen, Kalkulieren im Ingenieurbau. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2018.

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].

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



**WE ARE A PRODUCER
OF DEWATERING
TUNNEL CHANNELS
MADE OF
POLYMER CONCRETE**



**WE ARE LOOKING FOR A
SALES REP
FOR THE ALPS REGION**

**FOR DETAILS PLEASE SEND US
YOUR EMAIL**

**SYSTEMY I TECHNOLOGIE Sp. z o.o.
Ul. Kopalniana 7
59-100 Polkowice, Poland**

**www.sytec-group.com
email: sytec@sytec-group.com
tel. +48 76 72 34 235
fax. +48 76 723 42 22**

Das unverzichtbare Standardwerk

für Bauausführung und Baustelleneinrichtung

Die BGL 2020 ist erhältlich als

» **Online-Zugang**

- » praktische **Berechnungshilfen**
- » individuelle Maschinen
speichern und verwalten
- » aktueller **Erzeugerpreisindex**
- » bedienungsfreundliche **Navigation**
- » einfache **Volltextsuche**
- » **regelmäßige** Aktualisierungen

» **csv-Datensatz**
für Ihr ERP-System

» **Buch**
vollständig überarbeitete und aktualisierte
Neuaufgabe 2020



Weitere Informationen:

www.bgl-online.info | bgl@bauverlag.de | +49 5241 21 51-40 00