

Diploma Thesis

Deterministic and probabilistic risk assessment for complex infrastructure projects from the client's point of view

submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Diplom-Ingenieur
of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

Diplomarbeit

Deterministische und probabilistische Risikobewertung bei komplexen Infrastrukturprojekten aus Sicht des Auftraggebers

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieurs
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Simon Werner, BSc

Matr.Nr.: 01028005

unter der Anleitung von

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Gerald Goger**

Univ.Ass. Dipl.-Ing. **Alexander Bender, BSc**

Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement –
Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik
Technische Universität Wien
Karlsplatz 13/234-1, A-1040 Wien

Wien, im September 2021



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Danksagung

In aller erster Linie möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken. Sie haben mich nicht nur während den ganzem Studium begleitet und unterstützt, sondern haben mir somit auch die Möglichkeit geschaffen, mich persönlich weiterzuentwickeln. Die persönliche Weiterentwicklung sehe ich als genau so Wichtig an, wie die institutionelle Ausbildung. Danke für alles!

Weiters möchte ich Herrn Dipl.-Ing. Martin Hrunek danken, der mich während meiner Arbeit bei den Wiener Linien gefördert hat und mir eine duale Form des Studiums ermöglichte. Im Zuge dieser Diplomarbeit wurden probabilistische Risikoanalysen durchgeführt und dies wäre ohne der Software der Firma RiskConsult GmbH und deren Geschäftsführer Dipl.-Ing. Dr.techn. Markus Spiegl nicht umsetzbar gewesen. Danke an die beiden Herren, von denen ich bereits viele wertvolle Dinge aus dem Arbeitsalltag lernen durfte.

Ein besonderer Dank gilt Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerald Goger, der mich im Laufe des Studiums außerordentlich sachkundig gelehrt hat und mir das Verfassen meiner Diplomarbeit am Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement ermöglichte. Als letztes möchte ich mich noch bei meinen Betreuern der Diplomarbeit bedanken. Dipl.-Ing. Dr.techn. Tobias Bisenberger betreute mich in meiner Anfangszeit bis zu seinem Abschluss des Doktoratsstudium der technischen Wissenschaften und leitete mich direkt an Herrn Dipl.-Ing. Alexander Bender weiter. Alexander betreute mich seit Anfang des Jahres und war stets als Sparringpartner bereit, mit mir zu diskutieren.

Ein wahres und herzliches Dankeschön gilt auch allen anderen Personen, die ich während meines Studiums kennenlernen durfte und die mich zu der Person geformt haben, die ich heute bin.

Danke Euch allen!!!



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Kurzfassung

Schlagwörter: Tunnelbau (konventionell und maschinell), Infrastrukturprojekt, Risikomanagement, Risikowertung (deterministisch und probabilistisch)

Große Verkehrsinfrastrukturprojekte zeichnen sich durch lange Projektphasen, schwierigen Randbedingungen und eine hohe Anzahl an Projektbeteiligten aus. Innerstädtische Infrastrukturprojekte sind zudem durch beengte Platzverhältnisse, logistische Herausforderungen und eine Vielzahl von setzungsempfindlichen Strukturen an der Oberfläche im Bereich des Tunnelvortriebs gekennzeichnet. Der Tunnelbau in urbanen Gebieten ist weiterhin von erhöhtem Vorkommen von Kampfmitteln, erweiterten archäologischen Bereichen und begrenzten Flächen für Baustelleneinrichtung, Disposition und Baustellenlogistik geprägt. Diese projektspezifischen Rahmenbedingungen führen zu einer erschwerten Kostenermittlung für den Auftraggeber. Vom Kostenrahmen in der Projektstartphase, über die Kostenschätzung in der Vorprojektphase bis hin zum Kostenanschlag der Ausschreibungsphase müssen dabei die Kostenermittlungen kohärent und vollständig ausgearbeitet werden. Die Schwierigkeit dabei ist, die Unsicherheiten der langen Planungsphasen miteinzuberechnen. Marktwirtschaft, Politik, Bestandsobjekte, Baugrund und viele weitere Faktoren beeinflussen laufend die Kosten- und Terminprognose. Dafür werden von der österreichischen Gesellschaft für Geomechanik eigene Kostenbestandteile in der Kostenermittlung vorgesehen. Der Kostenbestandteil *Risiko* speist sich aus den identifizierten Risiken und dem Unbekanntem, das wiederum in nicht identifizierte Risiken und nicht identifizierbare Risiken unterteilt ist. Zur Evaluierung des *Risikos* steht dem Auftraggeber die Durchführung des Richtwertverfahrens zur Verfügung. Dieser Prozess erfolgt in drei Schritten. Als erstes wird die Komplexität des Projektes eingeschätzt. Im Anschluss wird eine qualitative Bewertung des Projektprofils durchgeführt und darauffolgend werden Einzelrisiken verbal beschrieben und deren Relevanz abgeschätzt. Summiert man die Ergebnisse dieser Prozessschritte ergibt dies eine pauschale Einschätzung des projektspezifischen Risikopotenzials. Empfindet der Auftraggeber das pauschale Ergebnis des Richtwertverfahren nicht als hinreichend genau genug, so kann das Verfahren mit Einzelrisikobewertung zum Einsatz kommen. Dabei werden auf gängige Methoden wie Brainstorming oder Brainwriting zur Risikoidentifikation zurückgegriffen. Daraufhin wird die qualitative und quantitative Analyse zur monetären und zeitlichen Auswirkung ausgeführt. Nach der pro-aktiven Maßnahmenbeschreibung ergeben sich die Risikokosten identifizierter Einzelrisiken. Die zu berechnenden Risikokosten mittels Einzelrisikobewertung setzen sich aus den Risikokosten identifizierter Einzelrisiken und einem Zuschlag für Unbekanntes zusammen. Zur vollständigen Kostenermittlung bedarf es an weiteren Kostenbestandteilen wie *Basiskosten*, *Gleitung* und *Vorausvalorisierung*. Die Ermittlung der einzelnen Bestandteile kann durch ein deterministisches oder probabilistisches Verfahren berechnet werden. Bei der deterministischen Methode beläuft sich die Angabe auf eine konkrete Zahl und das Ergebnis auf einen konkreten Wert. Eine Aussage zur Kostensicherheit kann nicht getroffen werden. Die probabilistische Methode hingegen berücksichtigt die Unschärfen in einer frühen Planungsphase mit beispielsweise drei Werten (minimaler, erwarteter und maximaler). Die Berechnung des Ergebnisses läuft über ein Simulationsverfahren und liefert Bandbreiten der Gesamtprojektkosten als Wahrscheinlichkeitsverteilung. Aus der resultierenden Wahrscheinlichkeitsverteilung kann der Auftraggeber das Budget inklusive Unterschreitungswahrscheinlichkeit festlegen.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abstract

Keywords: Tunneling (conventional and mechanised), infrastructure project, risk management, risk assessment (deterministic and probabilistic)

Large transport infrastructure projects are characterized by long project phases, difficult frame conditions and a high number of project participants. Inner-city infrastructure projects are also characterized by limited space, logistical challenges and a large number of settlement-sensitive structures on the surface in the area of the tunnel drive. Tunnel construction in urban areas is further characterized by increased occurrence of explosive ordnance, extended archaeological areas and limited space for site equipment, scheduling and site logistics. These project-specific frame conditions make it more difficult for the client to calculate costs. The cost framework in the project start phase, the cost estimate in the pre-project phase and the cost estimate in the tender phase must be worked out coherently and completely. The difficulty here is to take into account the uncertainties of the long planning phases. Market economy, politics, existing buildings, building area and many other factors constantly influence the cost and deadline forecast. For this reason, the Austrian Society for Geomechanics provides its own cost components in the cost calculation. The cost component *risk* is made up of the identified risks and the unknown, which in turn is divided into unidentified risks and unidentifiable risks. In order to evaluate the *risk*, the client has at his disposal the implementation of the indicative value procedure. This process is carried out in three steps. First, the complexity of the project is assessed. Then a qualitative assessment of the project profile is carried out, followed by a verbal description of individual risks and an estimation of their relevance. If the results of these process steps are added up, this results in an overall assessment of the project-specific risk potential. If the client feels that the lump-sum result of the guideline procedure is not sufficiently precise, the procedure with individual risk assessment can be used. Here, common methods such as brainstorming or brainwriting are used for risk identification. Qualitative and quantitative analysis of the monetary and temporal impact is then carried out. After the proactive description of measures, the risk costs of identified individual risks are calculated. The risk costs to be calculated by means of individual risk assessment are made up of the risk costs of identified individual risks and a surcharge for unknown risks. For the complete cost calculation, further cost components are required such as *base costs*, *guiding* and *pre-valorisation*. The determination of the individual components can be calculated using a deterministic or a probabilistic method. In the deterministic method, the specification amounts to a concrete number and the result to a concrete value. A statement on cost certainty cannot be made. The probabilistic method, on the other hand, takes into account the uncertainties in an early planning phase with, for example, three values (minimum, expected and maximum). The calculation of the result runs via a simulation procedure and provides bandwidths of the total project costs as a probability distribution. From the resulting probability distribution, the client can determine the budget including the probability of falling short.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	11
1.1	Motivation	11
1.2	Forschungsfragen	12
1.3	Forschungsmethodik	12
1.4	Abkürzungsverzeichnis	13
1.5	Begriffsbestimmungen	13
2	Grundlagen des Tunnelbaus	15
2.1	Rückblick auf die Geschichte des Tunnelbaus	15
2.2	Ausbruchsarten	17
2.2.1	Vollausbruch	17
2.2.2	Ausbruch in Teilen	18
2.3	Vortriebsmethoden	20
2.3.1	Der zyklische, konventionelle oder bergmännische Vortrieb	20
2.3.2	Der kontinuierliche oder maschinelle Vortrieb	26
2.3.3	Übersicht der Tunnelvortriebsmaschinen	26
2.4	Sicherungsmittel	30
2.4.1	Spritzbeton	31
2.4.2	Anker	32
2.4.3	Stahlbögen und Gitterträger	33
2.4.4	Verzugsbleche und Spunddielen	34
2.4.5	Spiesse	34
2.4.6	Rohrschirme	35
2.4.7	Ortsbrustinjektionen	36
2.4.8	Gefrierschirme	37
2.4.9	Setzungskompensationen	38
3	ÖGG - Richtlinie Kostenermittlung für Projekte der Verkehrsinfrastruktur	39
3.1	Grundlagen der Kostenermittlung	39
3.1.1	Projektphasen	39
3.1.2	Kostenstruktur	41
3.1.3	Berücksichtigung der Unsicherheiten	41
3.2	Kostenbestandteile	42
3.2.1	Basiskosten	43
3.2.2	Wertanpassung und Gleitung	45
3.2.3	Risiken	45
3.2.4	Vorausvalorisierung	49
3.3	Zusammenführung der Kostenbestandteile	49
3.4	Kostenverfolgung und Kostenfeststellung	50
3.5	Zusammenfassung	51

4	Ganzheitliches Denken bei komplexen Infrastrukturprojekten	53
4.1	Ganzheitliches Denken bei der Realisierung komplexer Infrastrukturprojekte . . .	53
4.1.1	Systemisches Denken – ein Erfolgsfaktor bei Großprojekten	54
4.1.2	Systemisch-kybernetische Projektorganisation	54
4.1.3	Systemische Energie im Projektmanagement	55
4.1.4	Voraussetzungen und Fähigkeiten zu systemischem Denken	55
4.1.5	Auf ganzheitlichen Wegen sicher ins Ziel	56
4.1.6	Streben nach Anerkennung und Erfolg	57
4.2	Das größte Infrastrukturprojekt Wiens	57
4.2.1	Projektbeschreibung	58
4.2.2	Die Geologie der Trasse	59
5	Risiken im Tunnelbau	61
5.1	Die generische Risikoidentifikation – Quantitative Risiko-Analyse	61
5.1.1	Das Richtwertverfahren	62
5.1.2	Bewertung des Projektprofils	62
5.1.3	Erfassung identifizierter Einzelrisiken	64
5.1.4	Zusammenfassung und Konsequenzen	64
5.1.5	Das Verfahren mit Einzelrisikobewertung	66
5.2	Risikobewertung für beispielhafte Risiken im Tunnelbau	72
5.2.1	Risiken im zyklischen Vortrieb	76
5.2.2	Risiken im kontinuierlichen Vortrieb	80
5.2.3	Risiken im Tunnelbau bezüglich Setzungen und Hebungen	84
5.2.4	Risiken im Tunnelbau bezüglich Findlinge im Tunnelbau	88
5.2.5	Risiken im Tunnelbau in Kombination mit Grundwasser	92
5.2.6	Risiken bei Spezialtiefbauarbeiten im Tunnelbau	96
5.2.7	Auswertung der Risiken aller Themenbereiche	100
5.2.8	Interpretation der Ergebnisse	101
5.2.9	Zusammenfassung	103
6	Fazit	105
6.1	Beantwortung der Forschungsfragen	105
6.2	Kernaussage	108
6.3	Ausblick	109

Kapitel 1

Einleitung

Die vorliegende Diplomarbeit befasst sich mit der Risikobewertung bei komplexen Infrastrukturprojekten aus Sicht des Auftraggebers. Nach der Erläuterung der Motivation und der Forschungsmethodik wird die Thematik des Tunnelbaus aufgearbeitet. Dieses spezielle Fachgebiet ist oft eine Besonderheit von großen Infrastrukturprojekten. Dieses Kapitel soll die Vielfältigkeit, die Komplexität und die Herausforderungen eines Bauingenieurs¹ aufzeigen. Im darauffolgenden Kapitel wird von der Österreichischen Gesellschaft für Geomechanik (ÖGG) herausgegebene Richtlinie erörtert und somit die Grundlage zur Kostenermittlung und ein Beitrag zur Kostenstabilität geliefert. Im Anschluss wird ein Artikel für modernes Projektmanagement aufgearbeitet. Zusätzlich wird in diesem Abschnitt eines der größten Infrastrukturprojekte Wiens beschrieben, um den innerstädtischen Aspekt und folglich den beeinflussten urbanen Raum Gewicht zu geben. Am Ende des Hauptteils werden beispielhafte Risiken des vorhin erwähnten Projektes bewertet und deterministisch und probabilistisch ausgewertet. Abschließend wird ein Fazit der Diplomarbeit gezogen und ein Ausblick auf zukünftige Forschungsschwerpunkte gegeben.

1.1 Motivation

Große innerstädtische Verkehrsinfrastrukturprojekte sind gekennzeichnet durch komplexe Aufgabenstellungen. Die Umsetzung solcher Projekte beeinflussen eine umfangreiche Menge an Personen und werden durch viele Interessensvertreter beeinflusst. Die Realisierung großer, aber auch kleiner, Verkehrsinfrastrukturprojekten ist ein Kompromiss zwischen den Fachgebieten Stadtentwicklung, Stadtplanung, Verkehrsforschung und der technischen Umsetzbarkeit. Das in dieser Arbeit beschriebene Projekt *Linienkreuz U2/U5* ist ein Beispiel dafür, welches Maß an urbanen Raum ein solches Projekt in Anspruch nimmt. Nach Angaben der United Nations (UN) überstieg im Jahre 2007 die Zahl der Stadtbewohner jene der Landbewohner. Zudem wurde eine Zahl der in Städte lebenden Bevölkerung für 2050 prognostiziert, die zwei Drittel der gesamten Erdbevölkerung überschreitet.² Das Wachstum der Städte in Hinblick auf die Einwohner und mit einhergehend die Ausweitung des urbanen Bereichs ist einer der Gründe warum der öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV) immer mehr an Bedeutung gewinnt. Die erhöhte Relevanz des ÖPNV bedingt eine intensivere mediale Präsenz. Diese wird einerseits von den direkten Einfluss wie Verkehrs-, Lärm-, und Staubbelastungen geprägt und andererseits werden die öffentlichen Großprojekte von dem Steuerzahler finanziert. Dementsprechend ist der öffentliche AG der Gesellschaft Transparenz und Verantwortung schuldig. Er verpflichtet sich Kosten und Termine sorgfältig zu planen und umzusetzen. Den Spagat zwischen Qualität – Kosten – Termine zu meistern, wird bei komplexen innerstädtischen Infrastrukturprojekte immer problematischer. Insbesondere werden urbane Verkehrskonzepte zwangsläufig untertage geplant. Diese spezielle

¹Genderhinweis: Der Autor legt großen Wert auf Diversität und Gleichbehandlung. Im Sinne der besseren Lesbarkeit wurde jedoch oftmals entweder die maskuline oder feminine Form gewählt. Dies impliziert keinesfalls eine Benachteiligung des jeweils anderen Geschlechts.

²Vgl. [25] Oltmer

Art von Bauvorhaben birgt gezwungener Maßen noch mehr Unsicherheiten, da eine vorläufige Baugrunduntersuchung nur bedingt möglich ist. Um dieser Thematik entgegenzuwirken wird seit jüngster Vergangenheit professionelles Risikomanagement betrieben. Bei dem, in dieser Arbeit beschriebenen Projekt, wird ein durchgängiges Kosten- und Risikomanagement nach ISO 31000 [29], angelehnt an der ÖGG – Richtlinie [24], durchgeführt. Vorhaben einer gewissen Größe bergen eine Fülle an Unsicherheiten und Risiken. Folglich sind sie zahlreichen, nicht planbaren Einflüssen und Auswirkungen ausgesetzt. Der hohe Grad an Verflechtung der heutigen Bauprojekte erschwert das Verständnis der Auswirkungen einzelner Ereignisse. Dies führt zwangsläufig zu einem veränderten Resultat wie im Vorfeld geplant. Der Verfasser dieser Arbeit setzt sich aus diesem Grund mit der, in seinen Augen sehr relevanten, Thematik auseinander.

1.2 Forschungsfragen

Die nachfolgenden Fragestellungen werden im Rahmen dieser Diplomarbeit ausgearbeitet. In Kapitel 6 dieser wissenschaftlichen Arbeit werden in einem eigenen Abschnitt die Antworten zusammengefasst. Der Autor evaluierte die folgenden vier Forschungsfragen in Zusammenarbeit mit Herrn Dipl.-Ing. Alexander Bender (Betreuer TU Wien):

1. Wie werden Kosten bei Projekten der Verkehrsinfrastruktur aus Sicht der Auftraggebers ermittelt? Welche Bestandteile müssen dabei berücksichtigt werden?
2. Welche Voraussetzungen und Fähigkeiten sind in einem modernen Projektmanagement notwendig? Welchen Einfluss hat das systemische Denken und welchen Stellenwert haben dabei die Unsicherheiten?
3. Wie können Risiken aus Sicht des Auftraggebers identifiziert und bewertet werden? Welche Verfahren und Methoden können zur Anwendung kommen?
4. Welche der beiden Methoden (deterministische oder probabilistische) führt zu stabileren Aussagen? Wie stehen die deterministischen Ergebnisse des besten Falls, des erwarteten Falls und des schlimmsten Falls der probabilistischen Auswertung gegenüber?

1.3 Forschungsmethodik

Zur ausführlichen Beantwortung der oben gestellten Forschungsfragen greift der Autor dieser Arbeit auf verschiedene Methoden zurück. Einleitend im Kapitel 2 wird eine umfassende Literaturrecherche herangezogen, um die Tunnelbauthematik in den Vordergrund der Infrastrukturprojekte zu stellen. Hauptsächlich soll das dem Leser demonstrieren, wie komplex und umfangreich das Spezialgebiet Tunnel- und Hohlraumbau im Ingenieurwesen ist. Für gewisse Nischenthemen wurden zur Vollständigkeit Internetrecherche betrieben. Im darauffolgendem Kapitel wird die ÖGG – *Richtlinie Kostenermittlung für Projekte der Verkehrsinfrastruktur unter Berücksichtigung relevanter Projektrisiken* ausgiebig analysiert. Diese wird deshalb so genau unter die Lupe genommen, da sie der Beitrag der ÖGG für die nachvollziehbare Darstellung der prognostizierten Projektkosten ist und somit, das unerlässliche Fundament der Risikobewertung verkörpert. Im nächsten Teil wird ein ganz spezieller Artikel durchleuchtet, um die modernen Methoden des Projektmanagements zu erörtern. Der zweite Abschnitt des Kapitels hält die Projektbeschreibung eines komplexen Verkehrsinfrastrukturprojektes und das dazugehörige geologische Modell der Trasse fest. Dieser Part wird anhand der generellen Planung der Magistratsabteilung 18 (MA 18) und des Planungsteam U5NEU2 erfasst. Bevor die Arbeit ein Fazit zieht, wird am Anfang des

Kapitels 5 ein generisches Richtwertverfahren erläutert. Dabei werden Datenblätter, welche von der ÖGG zur Verfügung gestellt werden, beispielhaft ausgefüllt. Bearbeitet werden hierbei die Anlagen der genannten Richtlinie für das Richtwertverfahren, sowie die Datenblätter für die Einzelrisikobewertung. Nachfolgend werden reale, modifizierte Risiken des beschriebenen Infrastrukturprojektes tabellarisch aufgelistet und im Anschluss beschrieben und bewertet. Die Auswertung wird einerseits vereinfacht deterministisch durchgeführt und andererseits wird jedes Einzelrisiko, mit der Risk Administration and Analysis Tool (RIAAT) – Software, probabilistisch berechnet.

1.4 Abkürzungsverzeichnis

AG Auftraggeber

bzw. beziehungsweise

MA 18 Magistratsabteilung 18

Mio. Millionen

RIAAT Risk Administration and Analysis Tool

RWV Richtwertverfahren

UN United Nations

ÖBB Österreichischen Bundesbahnen

ÖGG Österreichischen Gesellschaft für Geomechanik

ÖPNV öffentlicher Personennahverkehr

1.5 Begriffsbestimmungen

Auftraggeber: Jede natürliche oder juristische Person, die vertraglich an einen Auftragnehmer einen Auftrag zur Erbringung von Leistungen gegen Entgelt erteilt oder zu erteilen beabsichtigt.³

Auftragnehmer: Jeder Unternehmer, mit dem vertraglich vereinbart wird, dem AG eine Leistung gegen Entgelt zu erbringen.³

Basiskosten: Plankosten zu einer definierten Preisbasis unter definierter Annahme von bekanntem Projektinhalt, Projektterminen und Marktsituation, ohne Kostenansätze für Wertanpassung und Gleitung, Risiken und Vorausvalorisierung.⁴

Kybernetik: Die Kybernetik als Wissenschaft bemüht sich, Informationen über Komplexität und den Komplexitätsfortschritt in der Umwelt zu erlangen und zu ordnen, in der Absicht, diese Entwicklung und ihre Gegebenheiten und Auswirkungen zu verstehen und zu beschreiben.⁵

Leistungsverzeichnis: In Positionen gegliederte Beschreibung der Leistungen für ein bestimmtes Vorhaben, gegebenenfalls einschließlich sonstiger Bestimmungen.³

³Aus [26] ÖNORM A 2050:2006 11 01, S. 3 ff.

⁴Aus [34] Spiegl et al., S. 3

⁵Aus [9] Grote, S. 43

Maschinellem/Kontinuierlichem Vortrieb: Vortrieb mit Hilfe einer Tunnelvortriebsmaschine (Tunnelbohrmaschine, Schild udgl.), bei welchem die einzelnen Arbeitsvorgänge des Lösens, Ladens und des Stützmitteleinbaues im Wesentlichen gleichzeitig ausgeführt werden.⁶

Risiko: Die Möglichkeit, dass die durch eine Entscheidung ausgelösten Abläufe nicht notwendigerweise zum angestrebten Ziel führen und es zu negativen oder positiven Zielabweichungen kommt, insbesondere zu einer Abweichung der Kosten oder der Dauer der Projektrealisierung.⁷

Risiko-Checkliste: Risikogruppen sowie Teilrisiken werden hinsichtlich der Relevanz für das vorliegende Projekt analysiert. Es gibt breite Anwendungsmöglichkeiten bei jedem Projekt.⁸

Risikokosten: Risikokosten sind der Kostenbestandteil zur monetären Berücksichtigung von Risiken. Die Risikokosten teilen sich in identifizierte Risiken und Unbekanntes.⁴

Sphäre: Vertraglich oder gesetzlich bestimmter Risikobereich des jeweiligen Vertragspartners.⁶

Vorausvalorisierung: Methodischer Ansatz zur Berücksichtigung der angenommenen zukünftigen Marktentwicklung ab einem Bezugspunkt bis zum Projektende.⁴

Zyklischer Vortrieb: Vortriebsart, bei der die einzelnen Arbeitsvorgänge des Lösens, Ladens und des Stützmitteleinbaues im Wesentlichen zeitlich nacheinander und mit Hilfe von Einzelgeräten ausgeführt werden. Das Lösen erfolgt in der Regel durch Sprengen, Bagger oder Teilschnittmaschinen.⁹

⁶ Aus [28] ÖNORM B 2203-2: 2005-01-01, S. 4 ff.

⁷ Aus [22] Oberndorfer, S. 183

⁸ Aus [22] Oberndorfer, S. 199

⁹ Aus [27] ÖNORM B 2203-1:2001 12 01, S. 5 ff.

Kapitel 2

Grundlagen des Tunnelbaus

In diesem Kapitel wird die geschichtliche Entwicklung des heutigen Tunnelbaus erörtert. Weiters werden die Ausbruchsarten angeführt und die Vor- und Nachteile einzelner Bauweisen aufgezeigt. Der anschließende Part untersucht die unterschiedlichen Vortriebsmethoden und deren Abläufe genauer. Nachdem auf die umfänglichsten Tunnelvortriebsmaschinen eingegangen wurde, widmet sich der letzte Teil den Sicherungsmittel, ihrer Wirkungsweisen und deren Einbauart. Die Grundlagen des Tunnelbaus legen das Fundament für die Berechnung der Risiken am Ende dieser Arbeit.

2.1 Rückblick auf die Geschichte des Tunnelbaus

Erste dokumentierte Nachweise des Tunnelbaus gibt es strenggenommen schon in der Steinzeit. Das wichtigste Werkzeug des Steinzeitmenschen, der Feuerstein, wurde damals schon vielfach mit bergmännischen Methoden gewonnen. Bei diesen primitiven Abbaustellen kann man Kreisprofile und ein gewisses System im Grubenbau erkennen.¹⁰

Die alten Ägypter, 2100 v. Chr., nahmen sich die Eigenschaften des „Sprengens“ zum Gebrauch. Unter dem Begriff „Sprengen“ versteht man im allgemeinen Sprachgebrauch das gewaltsame Lockern bzw. Zerstören eines Gegenstandes, ob künstlich oder natürlich.¹¹

Sie bedienten sich an trockenem Holz oder Hülsenfrüchten. Diese Methodik gilt laut Maidl nicht als Vorläufer der seit einigen Jahrhunderten angewandten Methoden im heutigen Berg- und Tunnelbau, da sie von keiner explosiven Pulvermischung Gebrauch machten. Pulvermischungen, wie wir sie heute kennen, entwickelten sich noch vor dem Mittelalter. Fast zeitgleich entwickelt sich eine Art „Brandmasse“ in der alten Kultur Chinas und in Europa, genauer gesagt in England und Deutschland. Diese stellt eine der ersten Schwarzpulvermischungen dar. Sie dienten bis Ende des 16. Jahrhunderts alleinig der militärischen Nutzung. Abgelöst wurden sie durch die ersten Anwendungen dieser Rezepturen in der Gesteinssprengung.¹¹

Untertagebauwerke spielten im Mittelalter eine wichtige Rolle. Sie dienten als Verbindungsgänge zwischen Burgen, Festungen und Plätzen, des Weiteren bewährten sich unterirdische Gänge als Angriffsstollen zur Unterminierung und Sprengung von Befestigungsbauwerken.¹² Ende des Mittelalters wurden Stollen ausschließlich für kriegerische Zwecke erbaut. Hier sind zwei unterirdische Bauwerke zu erwähnen. Zum einen der Straßentunnel Col di Tenda (Baubeginn 1450) zwischen Nizza und Genova, dessen Bau nie fertiggestellt wurde und zum anderen der Biber-Grundstollen in der Slowakei. Der Bau des Letzteren wurde 1400 aufgenommen und mit seinen 5,6 km zählte er zu den mächtigsten Bauwerken der damaligen Zeit.¹⁰

Bis Mitte des 16. Jahrhunderts war *Feuersetzen* die meist verwendete Abbaumethode. Es gibt Berichte die behaupten, dass es Mitte des 16. Jahrhunderts einen Italiener gab, der wahrscheinlich die erste Sprengung durchgeführt hat, um leichter sein Blei-Silbererz-Haufwerk gewinnen zu

¹⁰Vgl. [36] Széchy, S. 18 ff.

¹¹Vgl. [20] Maidl, S. 1 ff.

¹²Vgl. [36] Széchy, S. 1

können. Am 8. Februar 1627 wurde die erste Sprengung dokumentiert und urkundlich nachgewiesen.¹¹ Der Tiroler Bergmann Kasper Weindl führte diese Sprengung mit Schwarzpulver durch. Diese Nachricht verbreitete sich in sämtliche Bergbauregionen rasant. Nur 50 Jahre später nutzte man diese positive Entwicklung, um den ersten mit Sprengarbeit aufgefahnen Verkehrstunnel herzustellen. Für bessere Verkehrsverhältnisse in Europa durchlöcherte man vorerst hauptsächlich die Alpen, da sie als größtes natürliches „Hindernis“ galten.¹¹ Beim Bau des Mont-Cenis-Tunnel kamen zwei revolutionäre Methoden des Sprengvortriebs zum erstmaligen Einsatz. Die pneumatische Bohrmaschine von Sommeiller und die Erfindung durch Nobel, das Dynamit. Durch diese zwei Weiterentwicklungen erlebte der Tunnelbau im Sprengvortrieb seinen endgültigen Durchbruch.¹¹

Bis in das Jahr 1806 war die Methode mit Sprengpulver die meist verwendete, um einen Tunnel aufzufahren. Der Ingenieur Sir Marc Isambard Brunel erfand und patentierte in diesen Jahren eine neue Methode. Anlass für sein Bemühen war der Ausbau einer Verkehrsverbindung in Russland. Seine Erfindung fand bei diesem Projekt zwar keine Anwendung, doch eine Grundlage war geschaffen, die es erleichterte, Tunnel unter dem Grundwasserspiegel aufzufahren. Sein Patent zeichnete sich durch eine Zelleneinteilung in der Schildkonstruktion aus. So konnte jeder Arbeiter unabhängig und völlig gesichert seine Arbeiten ausführen. Diese Zellen waren fest installiert und nach dem Aushub wurde das gesamte Schild bereits mit hydraulischen Pressen nach vorn geschoben. So entstand der Vorgänger der heutigen geschlossenen Vollschilde.¹³

Zwanzig Jahre nach seiner Erfindung bekam Brunel beim Projekt des Themsetunnel in London die Möglichkeit seine Idee zu verwirklichen. Nach anfänglichen Schwierigkeiten mit der Wasserhaltung konnte der Tunnel im Jahre 1843 fertiggestellt werden. Der Fortschritt des Tunnelbaus war nicht zu bremsen. Bei der zweiten Untertunnelung setzte der Ingenieur James Henry Greathead die ersten gusseisernen Tübbinge ein. Schlag auf Schlag ging es mit den Entwicklungen im Tunnelbau weiter. Greathead kombinierte als erster beim U-Bahnbau in London seinen Schildvortrieb mit gleichzeitiger Anwendung des Druckluftverfahrens. Das Druckluftschild füllte eine entscheidende Lücke. Der weltweite Einsatz der Schildvortriebe nahm nach der Möglichkeit in wasserführenden Bodenschichten mittels Druckluftschild erheblich zu. Die Engländer Dickinson Brunton und George Brunton erfüllten der Tunnelbauwelt einen Wunsch durch das Ersetzen des händischen Abbaus des Gebirges durch ein maschinelles Schneiderad. Die Weiterentwicklung dieses ersten Schneiderads wurde von Ingenieur Price patentiert und ähnelt sehr den heutigen Tunnelbohrmaschinen. Dieses angetriebene Schneiderad war so konzipiert, dass das gelöste Gebirge über eine Rutsche in die Loren fiel und so abtransportiert wurde. Noch vor dem ersten Weltkrieg meldete Haag in Deutschland das erste Schild mit flüssigkeitsgestützter Ortsbrust an.¹⁴

Diese Idee griff man erst wieder Mitte des nächsten Jahrhunderts auf, da die Entwicklung während der beiden Weltkriege auf Eis gelegt wurde. Der Tunnelbau erlebte nach dem zweiten Weltkrieg eine Renaissance, zu Einem durch die zunehmende Mechanisierung und zum Anderen durch die bahnbrechende Entwicklung aus Österreich, die „Neue Österreichische Tunnelbauweise (NÖT)“ oder in Englisch „New Austrian Tunneling Method (NATM)“. Beim Projekt Massenbergstunnels (1962) wurde die NÖT das erste Mal konstant angewandt. Das Fundament für die modernen hochautomatisierten Maschinen der Gegenwart war geschaffen. Der Weg war nicht einfach und manchmal sogar gefährlich.¹⁵

¹³Vgl. [20] Maidl, S. 11

¹⁴Vgl. [20] Maidl, S. 14 ff.

¹⁵Vgl. [1] Adam, S. 11

2.2 Ausbruchsarten

Es bedurfte eine Reihe an Erfindungen, eine Vielzahl an Pionierarbeiten und stetige Weiterentwicklung, um den heutigen Stand des Tunnelbaus zu erreichen. Durch die ganzen Neuerungen können Spannungsumlagerungen im Querschnitt des Tunnels in Grenzen gehalten werden. Die Bewegungen des Gebirges aufgrund des Vortriebs fallen durch die neuen Sicherungs-, Mess- und Abbautechniken im Gegensatz zu vorherigen Methoden klein aus. Die zu wählende Ausbruchsart wird durch mehrere Einflussfaktoren bestimmt. Das Gebirgsverhalten, die Hohlraumgröße oder -form, die Abbaumethode und die Sicherungsmaßnahmen zählen dabei zu den wichtigsten Faktoren. Die Ausbruchsarten können nach den jeweiligen Teilausbruchsarten und dem Vollausbuch unterschieden werden.^{16 17}

Die nachstehende Abb. 2.1 stellt ein Längsschnitt des Untertagebau zur Begriffsdefinition dar.

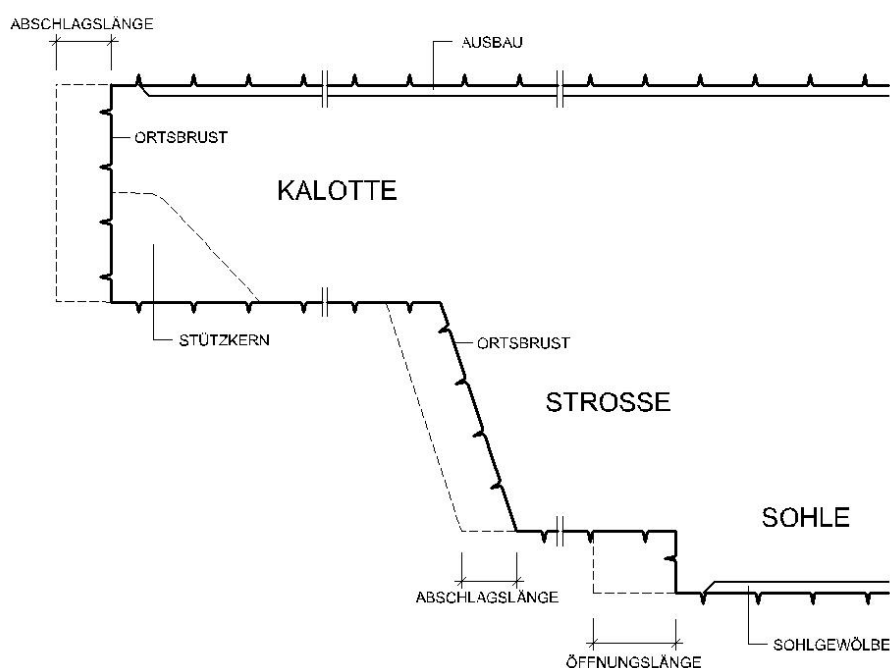


Abb. 2.1: Begriffsdefinitionen im Längsschnitt für den Untertagebau (Quelle: ÖNORM B 2203-1:2001 12 01 [27, S. 32])

2.2.1 Vollausbuch

Der Vollausbuch kann durch beide, im nächsten Abschnitt beschriebenen Vortriebsmethoden, aufgeföhren werden. Die Entscheidung hängt somit nicht von der Vortriebsmethode ab, sowie bei den Teilausbruchsarten, sondern viel mehr von der Standfestigkeit beziehungsweise (bzw.) Stehzeit des Gebirges, dem zeitbedarf bis zur Tragfähigkeit der Sicherungsmittel, der Hohlraumgröße und dem Raumbedarf der eingesetzten Baumaschinen, sowie der Einrichtung zum Schuttern und Föhren des Ausbruchmaterials.¹⁸

¹⁶Vgl. [20] Maidl, S. 10

¹⁷Vgl. [7] Girmscheid, S. 56

¹⁸Vgl. [7] Girmscheid, S. 57

Die Hohlräume die mittels TBM oder Schildmaschine aufgeföhren werden, werden gezwungener Maßen im kreisförmigen Vollausbuch hergestellt. Diese Ausbuchart hat den Vorteil gebirgsschonend aufgrund der nur einmaligen Spannungsumlagerung zu sein. Zudem eignet sich eine vollflächige Ortsbrust für einen hochmechanisierten Linienbaubetrieb. Zusammen ergibt das meist eine kürzere Bauzeit als bei einem Teilausbuch. Die gegenüberstehenden Nachteile ergeben sich zum größtem Teil aus dem Mechanisierungsgrad der Linienbaustelle, denn dies bedeutet meist eine hohe Inflexibilität. Weiters ergeben sich durch den vollflächigen Ausbuch und bei schlechter werdender Geologie oder plötzlichen Wasseranfall Gefahrenpotenziale für die Mineure.¹⁹

2.2.2 Ausbuch in Teilen

Der Ausbuch des Querschnitts eines Tunnels kann nicht nur in Vollausbuch stattfinden, sondern auch, je nach Gebirgsklasse, in Teilen aufgeteilt und ausgebrochen werden. Geschichtlich entwickelt sich der Ausbuch in Teilen aufgrund der Beherrschbarkeit des Gebirges. Die damaligen Sicherungsmittel zwangen die Konstrukteure zu kleineren Ausbuchflächen. Mittlerweile werden die einzelnen Ausbuchvorgänge so gewählt, dass keine unkontrollierbaren Bruchmechanismen entstehen. Teilausbucharten können nur bei zyklischem Vortrieb, Sprengvortrieb und maschinellen Vortrieb mittels Teilschnittmaschine, angewandt werden. Die Stehzeit des Gebirges und der wirtschaftlichste Einsatz der Maschinen bestimmen die Aufteilung der Teilausbüche. Die Sicherung der einzelnen Teilausbüche erhöht die Projektkosten und verlängert die Bauzeit, doch kann es sein, dass dies die wirtschaftlichste Lösung ist. Maßgebend dafür schreibt Bernhard Maidl gibt es drei Gründe:¹⁹

- Der Zeitaufwand den gesamten Querschnitt aufzuföhren ist größer als die Stehzeit des Gebirges.
- „Der Zeitbedarf für das Tragen einer vorübergehenden Sicherung reicht nicht aus, um den gesamten ausgebrochenen Hohlraum zu sichern.“
- Die Vortriebseinrichtungen, wie Bohrwagen oder Bühnen, sind in ihrer Höhe und Breite beschränkt und erfassen somit nicht den ganzen Querschnitt oder der Querschnitt wird in Teilquerschnitte unterteilt, da die Schuttereinrichtung nicht den gesamten Abschlag abtransportieren kann.

Der Ausbuch in Teilen hat sich in den unterschiedlichsten Ländern immer anders etabliert und somit ergibt sich eine Vielzahl von Ausbuchbauweisen. In weitere Folge werden drei Bauweisen mit den jeweiligen Vor- und Nachteilen erörtert.²⁰

Kernbauweise – Deutsche Bauweise

Diese Bauweise wurde entwickelt um im „druckhaften“ bis „stark druckhaften“ Gebirge Tunnels aufzuföhren. Sie entstand Anfang des 19 Jahrhunderts und wurde bis Mitte dieses Jahrhunderts vervollkommen. Am Rand des Querschnitts werden, in der Regel von unten nach oben, kleine beherrschbare Querschnitte vorangetrieben. Dort werden die endgültigen Sicherungsmittel nachgezogen, die am Ende des Ausbaus ein komplettes Gewölbe ergeben. Sobald dieses Gewölbe trägt kann der Kern ausgehoben werden. Vorher dient er als Ortsbrustsicherung, da die Größe der Ausbuchfläche durch den Kern erheblich verkleinert wird. Im Laufe der Jahre wurden mehrere Variationen dieser Bauweise bekannt. Eine davon ist mit vorgezogenem Erkundungsstollen in der Sohle oder Firste.²¹

¹⁹Vgl. [20] Maidl, S. 12 ff.

²⁰Vgl. [7] Girmscheid, S. 58

²¹Vgl. [17] Kolymbas, S. 45

Vorteile: Die Vorteile liegen auf der Hand. Der Sohlstollen dient nicht nur als Erkundungsstollen, sondern sorgt auch für Entlastung des Wasserandranges beim Vortrieb weiterer Teilausbrüche. Durch die Abstützung am Kern gilt diese Bauweise als setzungsarm und weniger seitendruckanfällig als andere Bauweisen. Die Ortsbruststützung entfällt, da diese vom Kern gestützt wird. Der Kernausbruch kann sehr schnell und wirtschaftlich erfolgen, da nach Auffahren der Kalotte das Gewölbe verhältnismäßig standfest ist.

Nachteile: Durch die Anordnung der Teilquerschnitte kommt es zu Spannungsüberlagerungen und Gebirgsauflockerungen im Gebirge. Durch das mehrmalige Umsteifen besteht ein erhöhtes Bruchrisiko. Der erschwerte Einbau der Sicherungen in den Teilquerschnitten führt zu einer teuren und zeitaufwändigen Herstellung.²²

Unterfangungsbauweise – Belgische Bauweise

Die Unterfangungsbauweise wurde 1828 das erste Mal in Belgien angewandt. Später fand sie häufig Einsatz bei bedeutenden Alpentunneln. Bei dieser Bauweise wird als erstes die Kalotte ausgebrochen. Gleich im Anschluss werden die Sicherungen von den Kämpfern aus hergestellt. Der nächste Schritt hängt von der Variation ab, die aufgefahren wird. Meist werden alternierend durch die Unterfangung die Ulmenstollen oder Schächte aufgefahren und das Kalottengewölbe bis zum Widerlager erweitert.²³

Vorteile: Vorteile dieser Bauweise sind die frühe Sicherung der Firste und somit eine Verhinderung von Auflockerungen. Es besteht die Möglichkeit sich an das wechselnde Gebirgsverhältnis anzupassen. Eine kontinuierliche Betriebsweise ermöglicht eine Fließfertigung und Taktplanung und somit einen wirtschaftlichen Einsatz der Baumaschinen (in zwei Ebenen).

Nachteile: Hohe Setzungsempfindlichkeit durch die hohen Auflagerpressungen im Kämpferbereich. Sie ist sehr empfindlich gegen Seitendruck. Der Sohlschluss erfolgt sehr spät und zudem besteht die Gefahr die Kalotte zu beschädigen, indem man die Strosse im Sprengverfahren auffährt.

Aufbruchbauweise – Österreichische Bauweise

Sie ist der Vorgänger der neuen österreichischen Tunnelbaumethode, die später in diesem Kapitel noch genauer beschrieben wird. Sie ist im Übergangsbereich vom Vollausbuch zum Teilausbuch angesiedelt. Hauptmerkmal dieser Bauweise ist der scheibenförmige Querschnitt, der in wenigen oder vielen aufgeteilten Teilquerschnitten, von der Firste zur Sohle ausgebrochen und vorübergehend gesichert wird. Diese vorübergehende Sicherung wird benötigt, bis der gesamte Querschnitt vom Sohlwiderlager bis nach oben zur Firste gesichert wurde. Auf ein Sohlgewölbe wurde früher meist verzichtet. Ausnahmen dazu waren Sohlen unter Auftrieb oder sehr plastisches Verhalten des Gebirges.^{23 21}

Vorteile: Ein Vorteil ist der Erkundungsstollen, der einen frühen Aufschluss des Gebirges und die Wasserableitung ermöglicht. Mehrere Angriffsorte bringen den Vorteil der Entzerrung der Arbeitsvorgänge. Ein kompletter Ringausbau ist bei dieser Ausbruchar möglich, auch wenn der Sohlschluss nicht so häufig genutzt wird.

Nachteile: Nachteilig wirken sich die beengten Arbeitsverhältnisse durch Aufteilung des Gesamtquerschnitts aus. Durch die häufige Umlagerung ist diese Bauweise setzungsempfindlich. Die ständig wechselnden Arbeitsvorgänge (Ausbruch und Sichern) bewirken eine geringere Vortriebsgeschwindigkeit.

²²Vgl. [20] Maidl, S. 20

²³Vgl. [20] Maidl, S. 13 ff.

In diesem Abschnitt wurde eine Auswahl an Ausbruchsarten erörtert. Diese stellen nur einen kleinen Ausschnitt der Möglichkeiten, einen Tunnel aufzufahren, dar. Im folgendem Segment der Grundlagen des Tunnelbaus wird auf einige Vortriebsmethoden eingegangen. Hier wird das Hauptaugenmerk vor allem auf die zyklische sowie auf die kontinuierliche Methode gelegt.

2.3 Vortriebsmethoden

Tunnelvortriebsmethoden werden grundsätzlich in zwei Gruppen eingeteilt, den zyklischen Vortrieb und den maschinellen Vortrieb. Der zyklische Vortrieb, auch konventioneller Vortrieb genannt, kann mittels Sprengvortrieb, Teilschnittmaschine, Bagger oder Messervortrieb ausgeführt werden. Zu dem maschinellen Vortrieb hingegen gehören Tunnelbauwerke die mittels Tunnelvortriebsmaschine, Rohrvortrieb und Vorpressverfahren aufgeföhren werden. Diese Unterteilung ist in der nachstehenden Abb. 2.2 ersichtlich. Laut Girmscheid [7] sind folgende Parameter ausschlaggebend für die Wahl des Vortriebsverfahren:²⁴

- Ausbruchsklassifizierung mit den zugehörigen Sicherungsmitteln
- Querschnitt, Länge und Gefälle des Tunnelbauwerks
- Abbaufähigkeit und Abrasivität des Gesteins in Anlehnung auf die Abbaugeräte
- Hydrologische Verhältnisse
- Projektbezogene Parameter (z.B.: Vortriebsgeschwindigkeit)

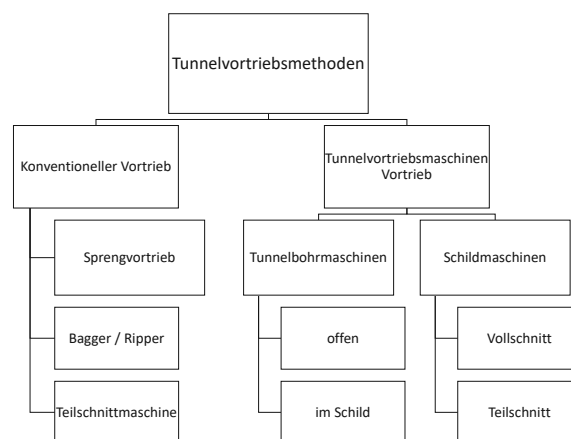


Abb. 2.2: Tunnelvortriebsmaschinen (Quelle: Eigene Darstellung)

2.3.1 Der zyklische, konventionelle oder bergmännische Vortrieb

Wie der Name schon verrät, ist diese Art von Vortrieb die ältere der beiden Tunnelvortriebsmethoden. Der zyklische Vortrieb stützt sich auf einzelne, zeitlich nacheinander und mithilfe von

²⁴Vgl. [20] Maidl, S. 118 ff.

Einzelgeräten ausgeführte Arbeitsvorgänge. Zu diesen Arbeitsschritten zählt das Lösen, Laden und der Einbau von Stützmittel. Das Lösen kann wie vorher beschrieben durch Sprengen, mit einem Bagger oder einer Teilschnittmaschine erfolgen. Das Laden beinhaltet die Übergabe des gelösten Gesteinsmaterial an Transportgeräte oder Übergabeeinrichtungen. Das Material wird in weiterer Folge mittels Gleisbetrieb, gleislosen Betrieb oder in Spezialfällen mit Förderbändern ober Tage gebracht. Direkt im Anschluss erfolgt das Sichern des entstandenen Hohlraums. Die ungesicherten Flächen werden vorläufig meist mit Spritzbeton versiegelt. Fast gleichzeitig werden geeignete Stützmittel wie Anker, Spieße oder/und Tunnelbögen eingebaut. Bevor der nächste Zyklus beginnen kann wird die vorläufige Sicherung mit Bewehrung verstärkt und die endgültige Sicherung hergestellt.²⁴

2.3.1.1 Bauablauf im Sprengvortrieb

Der Bauablauf des zyklischen Vortriebes wird anhand des Sprengvortriebs beschrieben. Das Einsatzgebiet des Sprengvortriebs erstreckt sich vor allem im Festgestein von mittlerer bis hoher Festigkeit. Dies gilt ausschließlich für Tunnel ohne rigorose Erschütterungsgrenzen. Ein Zyklus des Sprengvortriebs besteht aus Bohren, Laden, Sprengen, Bewettern, Absichern, Schuttern und Stützmitteleinbau. Dieser zyklus ist in der Abb. 2.3 bildlich dargestellt. Dies führt dazu, dass ingenieursgeologische Konzepte mit handwerklichen Arbeitsmethoden kombiniert werden. Der handwerkliche Aspekt bringt einen Vorteil mit sich. Form und Größe des Querschnitts können beliebig sein, vorausgesetzt die Größe der Baumaschinen erlauben es. Zudem erlaubt die Adaptionsfähigkeit einen Querschnittswechsel innerhalb der Vortriebsstrecke.²⁵ Bei hohen Anteilen von abrasiven Gesteinsarten kann das Sprengen die wirtschaftlichen Vorteile nutzen. Der Vorteil liegt darin, dass die Detonation keine Abnützung des Materials mit sich bringt, wie beim Einsatz von Teilschnitt- oder Tunnelbohrmaschinen. Zudem kann das Ausbruchsmaterial besser als Betonzuschlagsstoff aufbereitet werden, als beim maschinellen Vortrieb. Der entscheidende Faktor für einen wirtschaftlichen Einsatz des Sprengvortriebs ist, dass der Gesamtprozess, bestehen aus den aufeinanderfolgenden Teilprozessen, als ganzheitliches System, hinsichtlich aller möglichen variablen, genauestens aufeinander abgestimmt ist. Weiters hängt der Erfolg erheblich von der Genauigkeit und Ladung der Bohrlöcher ab.²⁵

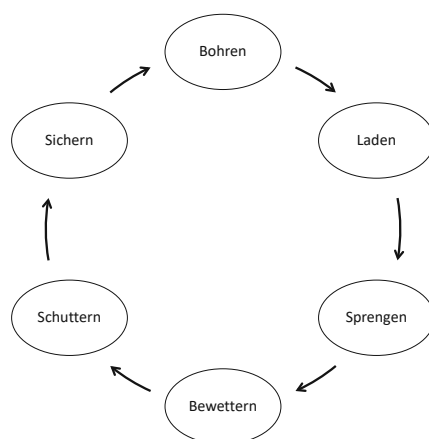


Abb. 2.3: Arbeitszyklus im Sprengvortrieb (Quelle: Eigene Darstellung)

²⁵Vgl. [7] Girmscheid, S. 71

Bohren

Im allgemeinen Sinn wird unter Bohren das Herstellen von Löchern unter Zuhilfenahme von Bohrwerkzeugen verstanden. Das Bohren findet aber in allen Bereichen des Bauwesens Anwendung. Deshalb ist es wichtig den Begriff genauer zu definieren und auf den Tunnelvortrieb zu beschränken. Die Herstellung von Bohrlöchern dient nicht nur zur Aufnahme der Sprengstoffladung, sondern kommt beim Tunnelbau in verschiedenen Arten zum Einsatz.²⁶ Die Aufnahme der Sprengstoffladung oder Leerbohrungen zur Begrenzung der Sprengwirkung nennt man Sprengbohrungen. Felsanker oder Montageanker werden mit Hilfe von Ankerbohrungen zur Gebirgsverbesserung und Sicherung gesetzt. Zur Entlastung und Entspannung von anstehenden Druckwasser werden eigens Entlastungsbohrungen gebohrt. Erkundungsbohrungen kommen zum Einsatz, um das vorauseilende Gebirge zu erforschen und Fehlstellen zu identifizieren. Die letzte Art der Bohrungen repräsentiert die geotechnische Bohrung zur Aufnahme von geotechnischen Messeinrichtungen.²⁶

Die Eigenschaften des zu durchbohrenden Gesteins wie, Härte, Zähigkeit und Festigkeit bestimmt maßgebend die Anforderungen an das Bohrwerkzeug. Die Vortriebsgesamtleistung hingegen wird vor allem durch die Bohrbarkeit des Gesteins bestimmt. Unter Bohrbarkeit ist die Summe der zusammenhängenden Auswirkungen des Bohrfortschritts und des Bohrstahlverbrauchs zu verstehen. Der Bohrfortschritt hängt von der Bohrgeschwindigkeit des an der Ortsbrust zu bohrenden Sprengloches, die wiederum von mehreren Parametern beeinflusst wird. Der Verbrauch ergibt sich vorrangig durch den Verschleiß der Bohrkronen und anderer angeschlossenen Bohrstahlelementen.²⁷

Zur profiligen Herstellung eines Bohrbildes werden heutzutage moderne, halbautomatische oder vollautomatische (computerunterstützte) Bohrhammer, Bohrrarme und Lafettensteuerungen eingesetzt. Diese computergestützten Bohrwagen zeigen den Mineur ein vorprogrammiertes Sprengbild mit allen relevanten Faktoren, wie Ansatzpunkt, Bohrlochneigung und -tiefe. Die Bohrzyklen müssen trotz aller technischen Hilfsmitteln immer noch von einem Mineur manuell steuerbar sein. Ziel ist das Erreichen eines profiligen Sprengergebnisses mit optimalen Haufwerkszerkleinerung.²⁷

Der Trend moderner Entwicklungen geht in Richtung Teil- und Vollautomatisierung, die die Mineurtätigkeit auf die Überwachung beschränken soll. Der Nachteil dieser Automatisierung zeigt sich bei den Ausfällen der Elektronik. Das bedeutet, dass ein manueller Betrieb stets möglich sein soll, um keine Unterbrechungen der Bohrzyklen zuzulassen.²⁸

Sprengen

Die Explosion ist eine ausgelöste, exotherme Reaktion von Explosivstoffen, bei der schlagartig riesig große Gasmengen freigesetzt werden. Durch Erwärmung, Schlag oder Initialzündung wird eine solche Detonation hervorgerufen. Laut Girmscheid werden Sprengstoffe durch einen Zündstoff zur Detonation gebracht. Die Detonation wird in einem Oxidationsvorgang explosionsartig unter Wärmeentwicklung in Sprenggase oder Schwaden umgesetzt.²⁹

Laut Girmscheid [7] sind nach dem Bohren eines Sprengloches folgende Arbeitsschritte notwendig:

1. Bohrloch mit Druckluft freiblasen und Richtung, Tiefe und Beschaffenheit prüfen
2. Einbringen des Sprengstoffes ins Bohrloch, durch:
 - Einschieben und Andrücken von Sprengpatronen mittels Ladestocks, oder einer pneumatischen Lademaschine

²⁶ Vgl. [20] Maidl, S. 27 ff.

²⁷ Vgl. [20] Maidl, S. 39

²⁸ Vgl. [7] Girmscheid, S. 71

²⁹ Vgl. [20] Maidl, S. 56 ff.

- Einblasen von pulverförmigem Sprengstoff
 - Einpumpen von zahnpasteartigen Emulsionssprengstoffen
3. Zündkreis installieren – Zündsystem anbringen
 4. Verdämmen
 - Sprengstoffladung mit Verdämmmaterial (Sand, patroniertem Lehm, o.Ä.) überdecken
 - Ob verdämmt wird oder nicht, hängt von einer Optimierungsrechnung ab
 5. Zündkreis prüfen
 - Dient der Arbeitssicherheit der Mineure
 - So werden verspätete Zündungen oder Blindgänger vermieden
 6. Zünden

Zur Optimierung der Sprengzyklen werden präzise arbeitende, computerunterstützte Bohrtechniken und elektronische Zünder eingesetzt. Sie bilden ein einheitliches System. Die Technik ist bereits soweit, dass sie das Überprofil reduziert und vermindert somit den Verbrauch von Ausgleichbeton oder Spritzbeton. Eine Innovation einer Systemkomponente allein reicht nicht aus, um das Ergebnis wesentlich zu beeinflussen.³⁰

Schuttern

Laut Boley [4] bezeichnet das Schuttern den Ladevorgang der gelösten Gesteinsmassen. Für andere Autoren wie z.B: Kolymbas im Buch Geotechnik: Tunnelbau und Tunnelmechanik [17], wird Schuttern als Laden und Abtransport der gelösten Gesteinsmassen verstanden. In dieser Arbeit wird der Begriff Schuttern auch wie bei Kolymbas, als Laden und Abtransport der Gesteinsmassen verstanden. Dieser Vorgang liegt im Sprengvortrieb am kritischen Weg. Somit muss dem Schritt mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden. In weiterer Folge werden die wesentlichen Einflüsse auf die Wahl des Schutterbetriebes und somit auf die Vortriebsleistung und Gesamtbauzeit, sowie die Einsatzbereiche und Aufgaben der Transportgeräte beschrieben.

Der Vorgang kann je nach Gebirgstyp und Abschlagtiefe bis zu 40 % der Dauer des Arbeitszyklus in Anspruch nehmen. Die Wahl der zusammenspielenden Lade- und Abtransportgeräte muss genauestens dem Projekt zugeschnitten sein, um eine hohe Effizienz zu erreichen. Folgende Kriterien beeinflussen die Wahl der Kombination. Der verfügbare Lichtraum im Quer- und Längsschnitt, sowie deren Einschränkungen durch Ver- und Entsorgerinstallationen, der zurückzulegende Transportweg und dessen Steigungsverhältnis, das Ausbruchsvolumen pro Abschlag und dessen Zusammensetzung wie Korngröße, Kornform und Kornverteilung.³⁰

Die Aufgabe eines Ladegeräts besteht darin, die gelösten Gesteinsmassen aufzunehmen und an die Transportgeräte zu übergeben. Sie werden hauptsächlich vom Ausbruchdurchmesser beeinflusst. Die Transportgeräte hingegen haben zur Aufgabe das geladene Material vom Vortriebsbereich zu einer geeigneten Lagerfläche zu transportieren. Sie befindet sich meist in der Nähe des Portals. Die Transportgeräte können in gleislosen oder Radbetrieb, Gleisbetrieb oder Materialtransport mittels Förderbänder unterschieden werden.³⁰

³⁰Vgl. [7] Girmscheid, S. 134

Sichern

Der letzte Arbeitsschritt eines Zyklus des konventionellen Tunnelbaus ist der Stützmitteleinbau. Er ist eng mit der Verbesserung und Neuentwicklung der Tunnelbautechnik verbunden. Schon im 19. Jahrhundert erwähnte Rhiza, dass es die Kunst des Ingenieurs ist, den Gebirgsdruck erst gar nicht entstehen zu lassen. Mit den früheren Sicherungsmitteln, Holz und Mauerung, war dies nur unvollkommen erfüllbar. Maidl unterteilt im Handbuch für Tunnel- und Stollenbau die Sicherungsarten in vorübergehenden Sicherungen und endgültigen Sicherungen.³¹

Als vorübergehende Sicherungen können die konventionellen Sicherungsmittel wie Anker, Spieße, Bewehrung, Spritzbeton, Dielen und Tunnelbögen angesehen werden. Sie dienen der zeitweiligen Hohlraumstützung bis zum Einbau der endgültigen Sicherungsmaßnahmen. Eingebaut werden diese Sicherungsmittel meist mit den dazugehörigen konventionellen Geräten. Anker werden beispielsweise mittels Anker- oder Sprenglochbohrgerät eingebaut. Spritzbeton wird mittels Spritzmaschinen im Trocken- oder Nassspritzverfahren aufgetragen und Tunnelbögen oder Bewehrungsmatten werden mit einem Radlader oder dafür spezielle Hebebühne fixiert.

Der Unterschied der vorübergehenden Sicherung zu den endgültig eingebauten verläuft mittlerweile mehr fließend als abgegrenzt. Die Maßnahmen zur endgültigen Sicherung haben die Aufgabe, die Standsicherheit, die Dauerhaftigkeit und die Gebrauchssicherheit für die gesamte Nutzungsdauer des Bauwerks sicherzustellen. Sie wird nach dem Abklingen der Spannungsumlagerung als biegesteife Sicherung, in der Regel aus Stahlbeton, eingebracht.³²

Zur Vollständigkeit der Sicherungen werden in diesem Absatz die speziellen Sicherungsmittel erläutert. Notwendigkeit dafür findet man im Gebirge mit einer Standzeit geringer als die notwendige Zeit zum Einbau der Sicherung. Das bedeutet, sie müssen weit vorseilend wirken und einen Schutz bieten, der einen konventionellen Vortrieb der Ortsbrust ermöglicht. Zu diesen wirkenden Schirmgewölbe zählen z.B.: Rohrschirme, DSV-Schirme, Injektionen oder Gefrierschirme. Sie finden häufig in Bereichen mit geringer Überdeckung Einsatz, da dieser Einsatzbereich meist einen setzungsarmen Vortrieb voraussetzt und somit bestehende Bauwerke schützt.³³

In urbanen Bereichen kann der konventionelle Vortrieb mittels Bagger, Ripper oder Teilschnittmaschinen erfolgen. Er gilt als setzungsarm und erschütterungsarm. Die Arbeitszyklen des konventionellen Vortriebs unterscheiden sich nur minimal von denen des mechanischen Vortriebs mittels Bagger, Rippergeräte und Teilschnittmaschinen. Diese Art von Vortrieb wird im nächsten Abschnitt aufgearbeitet.

2.3.1.2 Konventioneller Vortrieb mittels Bagger, Rippergeräten und Teilschnittmaschinen

Der mechanische Vortrieb mittels Bagger, Rippergeräten und Teilschnittmaschinen (TSM) gehört trotz des Einsatzes von maschineller Hilfe zu den konventionellen Vortrieben. Hierbei unterscheiden sich die Arbeitszyklen zum Sprengvortrieb nur sehr gering. Der Arbeitsschritt Lösen erfolgt in diesem Fall nicht durch das Sprengen, sondern durch die bereits erwähnten maschinellen Hilfsgeräten.

Ausbruch durch Bagger

Als Einsatzgebiet für den Vortrieb mittels Baggers eignet sich Gebirge mit geringer Festigkeit und Lockergesteine, sowie leicht verbackenes Lockergestein. In der Abb. 2.4 ist ein Tunnelbagger mit kombiniertem Hammer- und Löffelaufsatz. Die Baggerlöffel bzw. die Reisszähne sollten

³¹Vgl. [20] Maidl, S. 117

³²Vgl. [20] Maidl, S. 123

³³Vgl. [7] Girmscheid, S. 243

nach beiden Seiten hydraulisch drehbar sein um ein profilgenaues Herstellen des Querschnittes zu ermöglichen. Zum Lösen von unerwarteten, eingelagerten Felsen können am Baggerarm Hydraulikmeiseln oder -hämmer angebaut werden. Sie lassen sich schnell wechseln und an- und abmontieren. Die höchsten Vortriebsleistungen mittels Bagger können im Lockerstein erreicht werden. Diese Ausbruchsleistung ist jedoch nicht vergleichbar mit einer Teilschnittmaschine. Schon nur deshalb, weil das Schuttern als separater Arbeitsschritt durchgeführt werden muss.³⁴

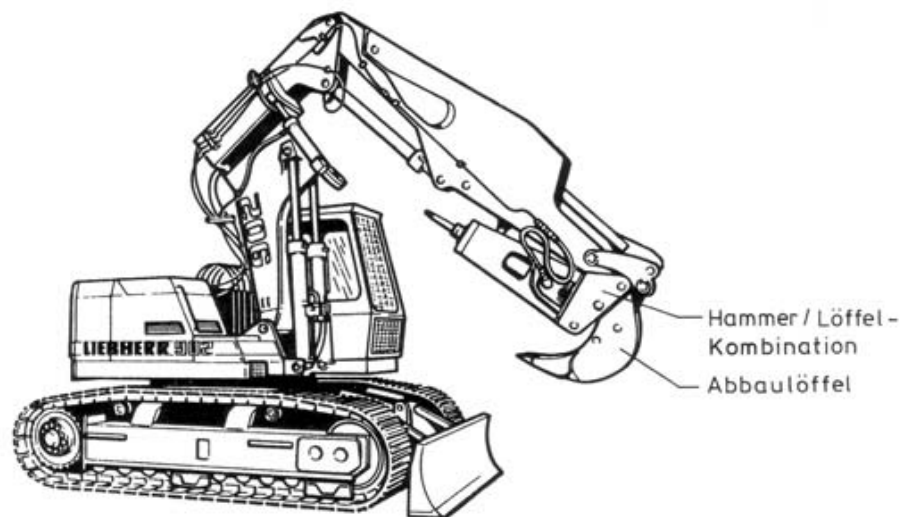


Abb. 2.4: Tunnelbagger (Quelle: Goger [8, S. 93])

Ausbruch durch Rippern

Laut Girmscheid [7] sind folgenden Gesteinsarten zum Rippern geeignet. Gesteine die stark vorfraktioniert sind wie Schiefer verschiedenster Arten, bankige Kalke, kalkige Mergel oder Sandsteine. Lassen die geologischen Verhältnisse und Größenverhältnis des Querschnitts einen Einsatz der Ripper zu, wird diese einfache Ausbruchsmethode gewählt. Der Einsatz von Ripper ist erst ab sehr großen Querschnitten sinnvoll, denn nur da lassen sich Raupen mit Rippereinrichtungen sehr effizient einsetzen. Besonders wichtig ist hier zu erwähnen, dass die eingesetzte Maschinerie ausgesprochen schwer sein muss, um die erforderliche Zugkraft auf die Reisszähne zu übertragen. Um die Effizienz zu steigern gibt es eigene Rippereinrichtungen mit integrierten Vibrationseinrichtungen. Die Tatsache, dass die Ripperzähne oft nicht bis zur Tunnellaibung reichen, schmälert die Effizienz und somit den Einsatz dieser Ripper. Der übriggebliebene Randstreifen muss zwingendermaßen mit einem extra Bagger, mit montierten Ausbruchhydraulikhammer, abgearbeitet werden. Zudem müssen wie beim Lösen mittels Bagger, eigene Schuttergeräte vorgehalten werden. Dies ist bei einer Teilschnittmaschine nicht der Fall.³⁵

Ausbruch durch Teilschnittmaschinen (TSM)

Hier ist anfangs zu erwähnen, dass eine TSM ein multifunktionales Gerät ist, die mehrere Arbeitsgänge vereinigt. Das bedeutet auch, dass sie sich auf der Grenze zum kontinuierlichen Vortrieb befindet. Dieses Spezialgerät kann einerseits das Gestein an der Ortsbrust lösen und andererseits aufnehmen und mittels Stetigförderer die Transportgeräte beladen. Das bedeutet es ist von einem Abbau- und Schutterssystem die Rede, das in beengtesten Platzverhältnissen ohne Wendemanöver,

³⁴Vgl. [7] Girmscheid, S. 147

³⁵Vgl. [7] Girmscheid, S. 149 ff.

kontinuierlich arbeiten kann. Ein weiterer Vorteil ist, dass es nur einen Maschinist benötigt um eine TSM zu manövrieren. Zudem kann dies mit einer sogenannten Remote-Control-Steuerung erfolgen, welche den Vorteil bringt, dass der Maschinist die Arbeitsvorgänge von gesicherter Entfernung und optimaler Sichtposition steuern kann. TSM werden meist in mittelfesten Gebirgen (50 – 80 N/mm²) eingesetzt. Weitere, für die TSM sprechende, Randbedingungen sind kurze Tunnellängen, veränderliche Querschnitte und wechselnde Gebirgsverhältnisse. Nachteilig ist die enorme Staubentwicklung die kaum in Grenzen gehalten werden kann.³⁵

2.3.2 Der kontinuierliche oder maschinelle Vortrieb

Die Vorreiterrolle des kontinuierlichen Vortriebes übernimmt derzeit Japan. Aufgrund des besonders stark eingeschränkten Raumangebotes liegen weitreichende Konzepte und Erfahrungen vor. Der europäische Entwicklungsstand dieser Vortriebsmethode ist international auf einem hohen Niveau einzureihen. Die bergmännische oder konventionelle Vortriebsart wird auf keinen Fall durch den maschinellen Vortrieb obsolet. Der kontinuierliche Vortrieb ergänzt den konventionellen Vortrieb bei langen Baulosen, homogenen Gebirgsverhältnissen, sowie bei strengen Anforderungen an die Oberflächensetzungen.³⁶

Eine allgemeine zylinderförmige Stahlkonstruktion bildet das Grundgerüst einer Tunnelvortriebsmaschine. Zum Ausbruch des Gebirges wird ein Schild mit integriertem Schneiderad oder eine Tunnelbohrmaschine mit Bohrkopf verwendet. Die Art der Schilder und Bohrköpfe variieren, um so den verschiedensten Rahmenbedingungen entgegenzuwirken. Während Schild oder Bohrkopf und Stahlkonstruktion in der Tunnelachse vorangetrieben werden, erfolgt gleichzeitig der Abbau des Gebirges. Der Vortrieb wird mittels Hydraulikpressen gewährleistet und der Ausbruch erfolgt durch die verschiedenen Aufsätze auf den Schilden oder Bohrköpfen. Die vorhin erwähnten Rahmenbedingungen beinhalten die Ortsbruststützung, die durch den Schild oder Bohrkopf gewährleistet wird. Der Schildschwanz überlappt sich mit der Tübbingauskleidung, die als endgültige Sicherung dient. Das abgebaute Material wird durch den Schild oder durch den Bohrkopf auf in das innere der Maschine bewegt und von dort aus mit diversen Fördermitteln ober Tage gebracht. Auf Tübbingringe, den Aufbau der Tunnelvortriebsmaschine und auf die Sicherung der verschiedenen Bereiche wird in diesem Kapitel eingegangen und das Hauptaugenmerk liegt auf die verschiedenen Schilder oder Bohrköpfe.³⁶

2.3.3 Übersicht der Tunnelvortriebsmaschinen

Tunnelvortriebsmaschinen zeichnen sich als sehr weit entwickeltes Bauverfahren hinsichtlich der Automatisierung aus. Bestätigt wird dies durch die Teilautomatisierung beim Erfassen von Betriebs- und Vermessungsdaten, sowie der teilautomatisierte Einbau von Tübbingringen. Weiters ist der Entwicklungsstand laut Girmscheid [7] soweit, dass eine automatische, prozessorientierte Steuerung von mehreren Einheiten der Maschine möglich ist.³⁷ Tunnelvortriebsmaschinen wurden, bedingt durch ihre Entwicklung, in Tunnelbohrmaschinen zum Abbau von Felsgestein und Schildmaschinen zum Abbau von Lockergestein unterteilt. Weitere wichtige Unterteilungen der Tunnelvortriebsmaschinen sind nach der statischen Schutzeinrichtung hinter dem Bohrkopf, Art und Anordnung der Verspanneinheit und die Art und Zeitpunkt des Ausbaus.³⁸

Auf eine detaillierte Beschreibung der verschiedenen Tunnelbohrmaschinen wird an dieser Stelle verzichtet. Eine ausführliche Untersuchung wird nur für eine offene TBM, Doppelschild-TBM und eine der geschlossenen Systeme (Druckluft, Hydro und EPB) durchgeführt. Sie decken die

³⁶Vgl. [21] Maidl et al., S. 1 ff.

³⁷Vgl. [7] Girmscheid, S. 419

³⁸Vgl. [15] Jürgen Anton, S. 5

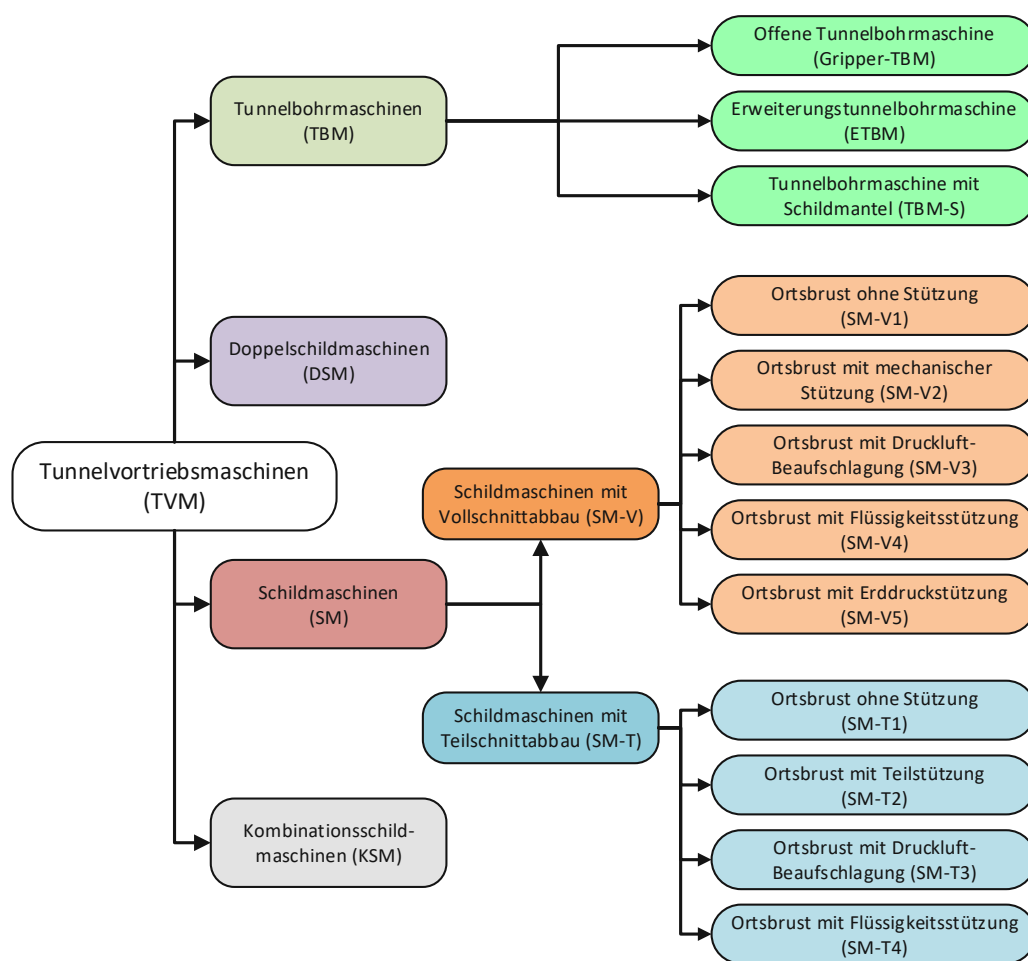


Abb. 2.5: Einteilung der Tunnelvortriebsmaschinen (Quelle: DAUB [5, S. 11])

relevanten Eigenschaften, die für diese Arbeit benötigt werden, ab. In der Abb. 2.5 ist eine genaue Übersicht der verschiedenen Tunnelvortriebsmaschinen abgebildet.

Offene Tunnelbohrmaschine

Die offene Tunnelbohrmaschine gehört zu der Kategorie Gripper-TBM. Als wesentliches Merkmal gehört, dass sie kein geschlossenes System zum Druckausgleich an der Ortsbrust zur Boden- und Grundwasserstützung besitzt. Das bedeutet, dass sie für standfestem und störzonenfreiem Gebirge geeignet ist. Das Gebirge muss eine Mindeststehzeit aufweisen können, die sich aus der zeitlichen Differenz vom Abbau des Gebirges bis zum Einbau der Ausbaubögen hinter dem Bohrkopf ergibt. Als groben Richtwert für den wirtschaftlichen Einsatz einer offenen TBM gilt laut Girmscheid [7] ein weitgehendes standfestes Gebirge über 80 – 90 % der Tunnellänge.³⁹

Das Funktionsprinzip einer offenen TBM stützt sich auf drei wesentliche Systeme, und zwar auf das Bohrsystem, dem Verspann- und Abstützsystem und dem Sicherungssystem. Der Bohrkopf der als Bohrsystem bezeichnet wird rotiert und presst dabei Rollmeißeln, sogenannte Disken, gegen die Ortsbrust. Ein Querschnitt solch einer Maschine ist in Abb. 2.6 ersichtlich. Durch die Rotation des Bohrkopfes in Kombination mit der Rotation der Disken wird das Gebirge an der Ortsbrust gelöst. Dieses Abbaumaterial, auch Bohrklein genannt, rutscht durch die

³⁹Vgl. [21] Maidl et al., S. 197

Öffnungen des Bohrkopfes auf ein Förderband. Das Material muss im nächsten Zug durch ein abgestimmtes Fördersystem ober Tage gebracht werden. Dies erfolgt direkt über Bänder oder zu einer Beladestelle eines Tunnelzuges.

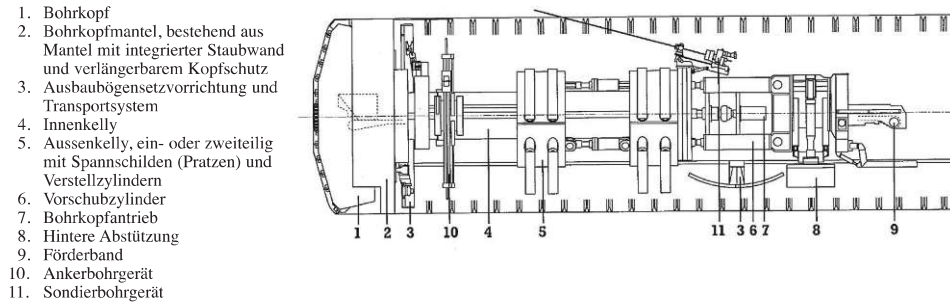


Abb. 2.6: Aufbau einer offenen TBM (Quelle: Goger [8, S. 122])

Das Verspannsystem funktioniert bei einer offenen TBM durch ein radiales Verspannen der Gripper an der Tunnelwand. Ein Auffahren der TBM wird durch Hydraulikzylinder, die sich beim bestehenden Ausbau abstützen, gewährleistet. Somit ist der maximale Bohrhub auf die Länge des Kolbens beschränkt. Unter dem Bohrkopf lagert die TBM auf dem sogenannten Sohlschuh. Er schiebt sich direkt über den Fels und dient als Drehpunkt für die Richtungsteuerung. Nach dem Abbohren eines Bohrhubes wird der Vortrieb unterbrochen, die Maschinenabstützeinheit ausgefahren und die Verspanneinheit in Richtung der Tunnelachse umgesetzt. Die Gripper-Verspanneinheit liefert nicht nur Kräfte für den Vorschub, sie dient auch der Steuerung der TBM. Über Hydraulikzylinder wird Hauptträger, sowohl vertikal als auch horizontal verschoben. Der Aktuelle Standpunkt wird permanent überwacht und laufend an die vorgegebene Trassenführung angepasst.⁴⁰

Bei leicht gebräuchtem Gebirge muss die Tunnelwand zusätzlich stabilisiert werden. Die frühzeitigen temporären Maßnahmen, wie Ankerbohrungen mit Bewehrungsmatten, werden direkt hinter dem Firstschild platziert und schützen so Mensch und Maschine vor Niederbrüchen. Für eine permanente Sicherung können im hinteren Bereich weitere Anker gesetzt und die Tunnelwand mit Spritzbeton ausgekleidet werden. Für die Vortriebsleistung einer Gripper-TBM ist der Zeitbedarf für die Felsicherungsmaßnahmen mitentscheidend. Als Sicherungsmittel können Felsanker, Bögen, Bewehrungsmatten mit Spritzbeton, sowie Sohlübbing oder Stahlbögen zum Einsatz kommen.

Doppelschild-TBM

Die Doppelschild-TBM ist eine Vollschnitt-Tunnelvortriebsmaschine mit einem Vortriebsschild, das bis zur Tunnelauskleidung reicht. Es dient dabei als gleitende Gebirgssicherung für Mensch und Maschine. Durch diesen Schutz ist die Doppelschild-TBM für standfesten, wie für nicht standfesten Gebirge geeignet. Im hinteren Teil des Schildes wird direkt der einschalige Innenausbau mit Hilfe des Errektors eingebaut. Die Tübbingringe bleiben als permanenter Schutz für Mensch und Maschine.

Das Funktionsprinzip einer Doppelschild-TBM beruht auf einer Kombination der Gripper-TBM und der Funktionsweise der Einzelschild-TBM. Diese Kombination ermöglicht parallel zum Vortrieb einen Einbau von Bogensegmenten (Tübbingringe). Der rotierende, mit Schneidrollen bestückte Bohrkopf, wird im standfesten Gebirge, analog wie bei einer offenen TBM, gegen die Ortsbrust gedrückt. Die Disken brechen kleine, vereinzelte Felsstücke aus dem Gebirge. Sogenannte Räumler nehmen diese Felsstücke auf und dank der Rotation und der Schwerkraft

⁴⁰Vgl. [7] Girmscheid, S. 426

rutschen Sie über integrierte Kanäle in das Zentrum der Maschine. Von dort aus werden sie mit Hilfe von Förderbändern oder Transportfahrzeuge ober Tage gebracht.⁴¹

Eine Doppel-TBM besitzt eine ganz besondere konstruktive Ausbildung. Die zwei Hauptkomponenten dieser TBM besteht einerseits aus einen Frontschild mit Bohrkopf, Hauptlager und Antrieb und andererseits aus einem Gripperschild mit Verspanneinheit, Hilfsvortriebszylinder und Schildschwanz. Das Verbindungsglied zwischen Frontschild und Teleskopschild bilden die Hauptvortriebszylinder. Diese erlauben das Ausfahren des Bohrkopfes. Der hintere Teil bewegt sich in diesem Arbeitsschritt nicht. Die beim Bohren auftretenden Kräfte, wie Drehmoment und Längskräfte werden durch die ausgefahrenen Gripperschuhe in das Gebirge abgeleitet. Durch diese Trennung des Kraftflussverlaufes kann ein gleichzeitiger Einbau der Tübbingringe hinter den Grippenschuhen gewährleistet werden. Die Hilfsvortriebspresen dienen bei diesem Prinzip nur zur Fixierung der Tübbinge und zur Umsetzung des Mittelteils. Dieses Umsetzen dauert nur wenige Minuten, danach kann der nächste Bohrhub ausgeführt werden. Diese kontinuierliche Arbeitsweise funktioniert aus verspanntechnischen Gründen nur im standfesten Gebirge.

Bei gebräuchlichen Gebirge bleiben die Gripperschuhe eingezogen. Die TBM setzt, dann auf das konventionellere Prinzip und wird nur mehr mittels Hilfsvortriebspresen vorgetrieben. Durch das Abstützen an der schon bestehenden Tunnelauskleidung kann kein durchgängiger kontinuierlicher Arbeitsvorgang gewährleistet werden. Dafür gewinnt man in gestörten Gebirgsformationen an Sicherheit. Der hinter dem Vortriebschild angeordneten Nachläufer, sorgt für eine just in time Beschickung der Tübbingringe, Strom, Wasser und Frischluft. Zudem wird der Steuerstand der Tunnelbohrmaschine dort untergebracht. Ein ausgefeiltes reibungsloses Logistikkonzept ist die Voraussetzung für einen wirtschaftlichen Einsatz dieser Doppelschild-Tunnelbohrmaschine.⁴²

Earth Pressure Balance Shield – EPB–Schild (geschlossenes Erddruckschild)

Diese Variation einer TBM gehört zu den TBM's mit Vollschnittabbau und noch genauer zählt sie zu der Gruppe TBM mit geschlossenem Schild. TBM's mit geschlossenem Schild gibt es auch in anderen Ausführungsvarianten, wie z.B.: mit Druckluftstützung oder Flüssigkeitsstützung. Auf eine genauere Beschreibung dieser zwei Varianten wird auf Grund der Ähnlichkeit zu der EPB-Schild TBM verzichtet.

Geschlossene Erddruckschilde werden in der Regel für feinkörnige, nicht standfesten und weiche Böden mit geringer Wasserdurchlässigkeit eingesetzt. Sie werden bewusst in dieser Art von Böden eingesetzt, denn nur so kann man die Synergien des abgebauten Bodens optimal nutzen. Das besondere Merkmal eines EPB-Schildes ist die direkte Nutzung des abgebauten Bodens als Stützmedium. Die Wirkungsweise eines EPM-Schild kann aus der Abb. 2.7 entnommen werden. Ihr liegt derselbe Abbaumechanismus wie der Doppelschild-TBM, in nicht standfesten Böden, zu Grunde. Das bedeutet, die in diesem Fall eingesetzte Längskraft zum Abbau des anstehenden Gebirges wird durch den Hauptzylindern gewährleistet. Dies geschieht analog zur Doppelschild-TBM über der permanent gesetzten Tunnelauskleidung.⁴³

Das abgebaute Material gelangt über Öffnungen in eine sogenannte Abbaukammer, wo sich dieses mit dem bereits vorhandenen Erdbrei vermischt. Durch Mischflügeln an Schneidrad und Druckwand wird der Brei in die gewünschte Konsistenz gebracht. Es wird so viel Brei aufgenommen, dass sich ein Gleichgewichtszustand einstellt. Der äußere Erd- und Wasserdruck entspricht dann dem stützenden Erdbrei. Dies ist schematisch in der nächsten Abbildung dargestellt.⁴⁴

⁴¹ Vgl. [7] Girmscheid, S. 449

⁴² Vgl. [10] Herrenknecht AG

⁴³ Vgl. [11] Herrenknecht AG

⁴⁴ Vgl. [7] Girmscheid, S. 512

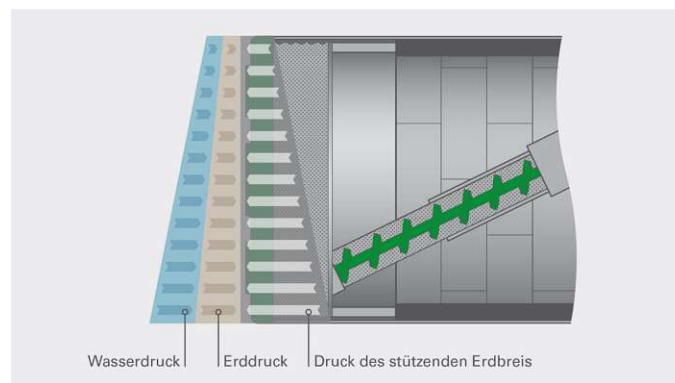


Abb. 2.7: EPM-Schild Wirkungsweise (Quelle: Herrenknecht AG [11])

Weiteres anfallendes abgebautes Material wird über eine Förderschnecke von der Abbaukammer auf ein Förderband transportiert. Durch diese Zusammenwirkung von Förderschnecke und Vortriebsleistung kann der Stützdruck gesteuert werden. Mit Hilfe von Erddrucksensoren in der Abbaukammer kann auf wechselnde geologische Bedingungen schnell reagiert werden. Nicht nur deshalb zählt diese Art von TBM zu den flexibelsten, sondern sie zeichnet sich auch dadurch aus, dass sie unter den richtigen Umständen als offene TBM aufgeföhren werden kann.

2.4 Sicherungsmittel

Sicherungsarbeiten umfassen alle Vorkehrungen, die während oder nach dem Ausbruch, das ausgebrochene Profil schützen. Sie sind nicht nur gegen Steinschlag, Niederbruch oder Tagbruch effizient, sondern werden auch dazu benutzt, um unzulässige Deformationen in Grenzen zu halten. Sie wirken als Randverstärkung des Gebirges oder als Bewehrung der aufgebrochenen Tunneloberfläche. Außerdem sind sie im nicht standfesten Gebirge für die Mineure überlebenswichtig, wobei sie im Gebirge mit ausreichender Stehzeit als Kopfschutz vorgeschrieben sind. Ergibt sich bei der Gebirgsklassifizierung eine Stehzeit die kürzer ist als die Dauer des Einbaues der Sicherungsmaßnahmen, müssen vorausseilende Sicherungen eingeplant werden.⁴⁵

Ein notwendiger Sicherungseinbau sollte laut Girmscheid [7] möglichst früh erfolgen, da er ein erhöhtes Tragvermögen des Gebirges mit sich bringt. Diese gewöhnlichen Sicherungsmittel können:⁴⁶

- Spritzbeton,
- Anker,
- Stahlbögen und
- Gitterträger

sein. Für eine vorausseilende Gewölbesicherung kommen meist,

- Verzugsbleche und Spunddielen,
- Spiesse,

⁴⁵Vgl. [16] Kolymbas, S. 67

⁴⁶Vgl. [27] ÖNORM B 2203-1:2001 12 01, S. 7

- Rohrschirme,
- Ortsbrustinjektionen oder
- Gefrierschirme

zum Einsatz. Die Beurteilung der Wahl der Sicherungen beruht auf die Gefährdungsbilder des Gebirges. Es werden die Stehzeit, die Ringschlusszeit und die Ringdistanz erhoben und auf die Sicherungsmittel und deren Einbauzeitpunkt mit den notwendigen Bauverfahren abgestimmt.

2.4.1 Spritzbeton

Laut Maidl [19] ist Spritzbeton das wichtigste Sicherungsmittel im modernen Tunnelbau. Es kann mittels Trocken- und Nassspritzverfahren unter Druckluft aufgebracht und verdichtet werden. Nach dem Abbinden auf der Auftragsfläche erhärtet der Spritzbeton und versiegelt die Tunneloberfläche, somit bleibt das wesentliche Tragelement das Gebirge. Dem Spritzbeton können unterschiedliche Zusatzmittel beigegeben werden, um seine Eigenschaften zu modifizieren. Maidl [19] ist der Meinung, dass am meisten Erstarrungsbeschleuniger im Tunnelbau verwendet werden. Dies führt dazu, dass die Frühfestigkeit erhöht wird und das Gebirgsgewölbe schneller aktiviert wird. Ein enormer Vorteil dieser Sicherungsmethode ist die Flexibilität. Spritzbeton kann sich leicht wechselnden Anforderungen, auch für Teilausbrüche jeder Größe, anpassen. Ein weiteres Vorteil, den die Spritzbetonschale bietet, ist laut Girmscheid [7] die elastoplastische Verformbarkeit. So beschränkt der junge Beton größere Verformungen, ohne Risse und ohne Abplatzungen auftreten zu lassen. Eine eventuelle Rissbildung kann frühzeitige Bewegung des Tunnels und somit mögliche Standsicherheitsprobleme identifizieren.⁴⁷

Spritzbeton kann als vorübergehende Sicherung, sowie als endgültige Sicherung dienen. Dabei unterscheiden sich die Dicke der Aufbringung. Mit einer Stärke von 3 – 10 cm (vorübergehende Sicherung) erreicht der Spritzbeton nicht nur eine teilweise oder vollflächige Versiegelung, sondern ist laut Maidl [19] die tragende Wirkung des Gebirges größer, da die Randverstärkung Klüfte schließt und gleichzeitig kleine Nachbrüche verhindert. Mit einer Auftragsstärke von 15 – 40 cm wird eine bestimmte Ausbausteifigkeit erreicht und kann so als endgültige Sicherungsmaßnahme angesehen werden.

Wie anfangs erwähnt kann der Spritzbeton in zwei verschiedenen Verfahrenstechniken aufgebracht werden. Einmal im Trockenspritzverfahren und zum Zweiten im Nassspritzverfahren. Das Trockenspritzverfahren gilt als traditionelleres Verfahren im Tunnelbau, da es einfacher in der Handhabung und in der Zugabe von Erstarrungsbeschleuniger ist. Bei diesem Verfahren wird ein Trockengemisch aus Zement, Zuschlag und gegebenenfalls Erstarrungsbeschleuniger vom Mischer mit Druckluft zur Spritzdüse gefördert. In der Spritzdüse trifft das Trockengemisch auf das Anmachwasser und wird von dort aus mit einer Geschwindigkeit von 20 m/s bis 30 m/s auf dem Untergrund aufgebracht und verdichtet.

Beim Nassspritzverfahren wird ein Transportbeton, ein Gemisch aus Zement, Zuschlägen und Anmachwasser und ggfs. Zusätzen, pneumatisch oder hydraulisch zur Spritzdüse transportiert und aufgespritzt. Die Vorteile des Nassspritzverfahren sind eine gleichmäßige Beton- und Spritzqualität, geringerer Rückprall, sowie geringere Staubbelastung, was im urbanen Infrastrukturbau von großer Bedeutung ist. Zudem kann eine höhere Spritzleistung erreicht werden als im Trockenspritzverfahren. Dafür hat das Trockenspritzverfahren die Vorteile, dass höhere Frühfestigkeiten durch optimale Mischverhältnisse erzielt werden können. Weiters sind die einfachere Handhabung, sowie geringere Reinigungsaufwand von Vorteil.⁴⁸

⁴⁷Vgl. [19] Maidl, S. 60

⁴⁸Vgl. [7] Girmscheid, S. 171 ff.

2.4.2 Anker

Anker sind Zuelemente, die durch die Wirkung der Vorspannung eine Verstärkung der Tragwirkung des Gebirges hervorrufen. Sie werden meist radial zur Tunnelachse eingebaut. Durch die Vorspannung erzeugen sie eine Druckspannung um Gebirge. Anker werden insbesondere für die vorübergehende Sicherung angewendet. Bis zur endgültigen Sicherungsmaßnahme verhindern sie Aus- und Nachbrüche, eine Gebirgsentfestigung und damit größere Verformungen. Laut Adam [1] und Maidl [19] sind zwei verschiedene Wirkungsweisen zu unterscheiden. Die Systemankerung dient der Bildung eines Gebirgstragringes, dies wird mit verschiedenen Ankertypen mit unterschiedlichen Längen, Abständen und Vorspannungen geschaffen. Die Einzelankerung sichert einzelne Gesteinsblöcke, -keile oder -platten. Vor allem in stark geklüfteten Gebirge werden sie als individuelle Sicherungen eingesetzt.

Maidl beschreibt im Handbuch des Tunnel- und Stollenbaus [19], durch dem Aufmachen des Hohlraums verändern sich die Spannungen im Gebirge. Der dreiaxiale Spannungszustand wird auf einen zweiaxialen Zustand umgelagert, da die Radialspannung verloren geht. Bei schnellem Einbau einer Systemankerung in Kombination mit Spritzbeton wirkt diese als Ausbauwiderstand und so stellt sich ein quasidreiaxialer Spannungszustand am Hohlraumrand ein.

Die Anordnung der Anker sollte möglichst senkrecht zu den Schichtflächen erfolgen. Die Winkel von 45° - 90° können als Richtwert angenommen werden. Auf keinen Fall darf ein Anker unter 30° zur Schichtung gesetzt werden. Eine Verdübelung von geringer tragfähigen Schichten an höher tragfähigen Schichten ist sowohl mit einer Systemankerung, als auch mit Einzelankerungen möglich. In der nachstehenden Abb. 2.8 sehen sie die mögliche senkrechte Anordnung von Ankern zu Schichten und Klüften.⁴⁹

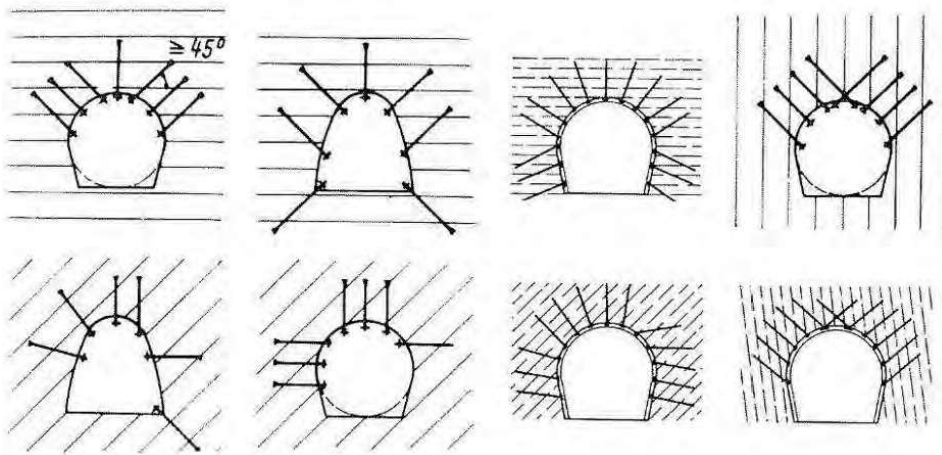


Abb. 2.8: Arten der Systemankerung (Quelle: Goger [8, S. 209])

Aufgrund der Vielzahl an verschiedenen Unterscheidungsmerkmalen lassen sich die Verankerungen nicht strikt kategorisieren. Die nachstehende Unterteilung stammt von Maidl im Handbuch des Tunnel- und Stollenbaus [19]. Er unterteilt die Ankertypen in folgende Gruppen:

- a) Spreizanker
- b) Beton- Mörtelanker
- c) Kunstharzanker

⁴⁹Vgl. [19] Maidl, S. 44

- d) Swellex Anker
- e) GfK Anker
- f) Sonderformen

Spreizanker auch S-Anker genannt werden definitiv nur zur vorübergehenden Sicherung eingebaut. Sie werden immer als Vorspannanker eingebaut und sind nach jedem Abschlag auf ihren Sitz zu überprüfen. Ihre Wirkungsweise ist auf den Namen zurückzuführen, denn der Ankerfuß wird mithilfe keilförmiger Spreizelemente gegen die Bohrlochwand verspannt.

Zu den Beton- oder Mörtelanker zählen Füllanker und Einschubanker. Sie charakterisieren sich dadurch, dass der Raum zwischen Zugglied des Ankers und dem umliegenden Gebirge mit Mörtel (oder Kunstharz c) Kunstharzanker) ausgefüllt wird. Durch die Verfüllung des Ringraumes entsteht ein Hafverbund zwischen Gebirge und Anker. Als letzte Kategorie werden die Swellex Anker beschrieben. Die Vorgehensweise bei Swellex Anker lautet wie folgt. Zuerst wird ein Bohrloch hergestellt. In das wird ein hohles zusammengefaltetes Rohr eingeschoben und anschließend mit bis zu 300 bar mit Wasser hydraulisch aufgefaltet und im Bohrloch verankert. Als letzten Schritt wird der Anker gesichert. Die Kraftübertragung erfolgt durch Reibung zwischen dem expandierten Anker und dem Gebirge. Auf GfK – Anker und Sonderformen werden im Zuge dieser Arbeit nicht eingegangen.⁵⁰

2.4.3 Stahlbögen und Gitterträger

Unter Stahlbögen werden Ausbau- oder Einbaubögen aus Stahlwurzprofile oder Gitterträger bezeichnet. Laut Adam [1] und Girmscheid [7] dienen sie der sofortigen Abstützung des Gebirges nach dem Ausbruch. Vor allem in nachbrüchigen, nicht standfestem, druckhaftem Gebirge zum Einsatz. Wichtig ist beim Einbau darauf zu achten, dass die Fußlager so ausgebildet und hergestellt werden, dass die Lasten direkt und in geeigneter Weise in den Baugrund eingeleitet werden. Ein Ausknicken von Querschnittsteilen wird mittels gutem Gebirgskontakt verhindert. Dies wird in der Regel durch sofortiges Einbetten des Stahlbogens in Spritzbeton gewährleistet. Die Stahlsegmente können starr oder nachgiebig miteinander verbunden werden. Letzteres wird bei Gebirge eingesetzt, bei denen viel Bewegung erwartet wird. Die Hauptfunktionen der Tunnelbögen sind laut Girmscheid [7] die Aufnahme von Normalkraft und Biegemomente. Wesentliche Querschnitte von Tunnelbögen sind in der Abb. 2.9 dargestellt. Einen guten Verbund zwischen Ausbaubogen und Spritzbeton- oder Betonschale zu schaffen, sowie eine gute Einspritzbarkeit mit möglichst wenig Spritzschatten und Rückprall zu gewährleisten.⁵¹

⁵⁰Vgl. [1] Adam, S. 84 ff.

⁵¹Vgl. [20] Maidl, S. 33

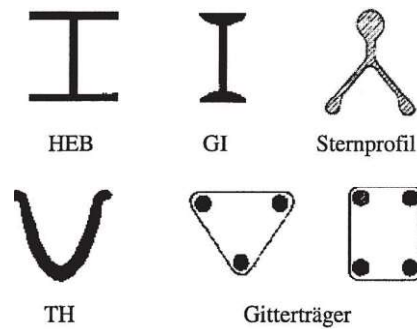


Abb. 2.9: Querschnitte von Tunnelbögen (Quelle: Goger [8, S. 221])

Sollte ungewollter Spritzschatten entstehen, kann dies zu bemerkenswerten Fehlstellen in der Betonmatrix führen. Dies wiederum führt zu Korrosionsschutzproblemen, Rissbildung in den geschwächten Bereichen oder erhöhte Eintritts- und Einwirkungsmöglichkeiten des Bergwassers.⁵²

2.4.4 Verzugsbleche und Spunddielen

Eine plötzliche Verschlechterung der Gebirgseigenschaften, insbesondere eine Abnahme der Standzeit des Gebirges nach dem Ausbruch, verlangt meist nach einer vorausseilenden Sicherungsmaßnahme. Setzungsempfindliche Gebiete im bebauten Raum oder die Unterfahrung von sensiblen Einrichtungen fordern meist einen Einsatz von vorausseilenden Sicherungsmaßnahmen. Die ersten vorausseilenden Sicherungsmaßnahmen, die im Zuge dieser Arbeit erläutert werden, gelten den Bleche und Dielen. In Abb. 2.10 sind Verzugsbleche mit Spritzbetonversiegelung erkennbar. Diese eignen sich besonders gut in nichtbindigen Lockergestein. Sie werden mittels Pressluft – oder Hydraulikhammer eingebaut. Diese erzeugte, flächenhafte Sicherung verhindert das Auflockern des Gebirges vor dem Einbau der Spritzbetonsicherung. Mit einer Dicke von fünf bis sieben Millimeter und einer Länge, abhängig von der Abschlagslänge, werden sie nebeneinander, überlappend und nach oben geneigt vorgetrieben. Der Querschnitt der Dielen oder Blechen sollte möglichst flach, jedoch mit einem großen Trägheitsmoment sein.⁵³

2.4.5 Spiesse

Der Vortrieb der Spiesse ähnelt dem der Dielen oder Verzugsblechen. Sie können eingerammt werden oder auch als selbstbohrende Injektionsanker ausgeführt werden. Die Wirkungsweise der Spiesse hingegen ähnelt der einer Systemankerung. Analog zu der Systemankerung, bildet sich bei dem Einbau der Spiesse ebenso ein Gebirgstragring. Spiesse werden nicht mit besonders hohen Kräften belastet. Durch den Einsatz in fast ausschließlich geklüfteten Gebirge, müssen Spiesse den größten Widerstand gegen Abscheren aufbringen. Die Länge der Spiesse als vorausseilende Sicherungsmaßnahme korreliert stark mit der Abschlagslänge, jedoch bewegt sie sich meist zwischen drei bis fünf Metern. Der Abstand ist ebenso variabel, liegt jedoch zwischen 30 und 50 cm.⁵⁴

Hauptsächlich werden Spiesse wie in Abb. 2.11 als Injektionsbohranker ausgeführt. Sie garantieren einen kraftschlüssigen Verbund zwischen Ankerloch und umliegenden Gestein. Bei sehr stark gebrächtigem bis druckhaftem Gebirge, sowie im Lockergestein kommen Injektionsspiesse als

⁵²Vgl. [7] Girmscheid, S. 240

⁵³Vgl. [1] Adam, S. 96

⁵⁴Vgl. [7] Girmscheid, S. 245

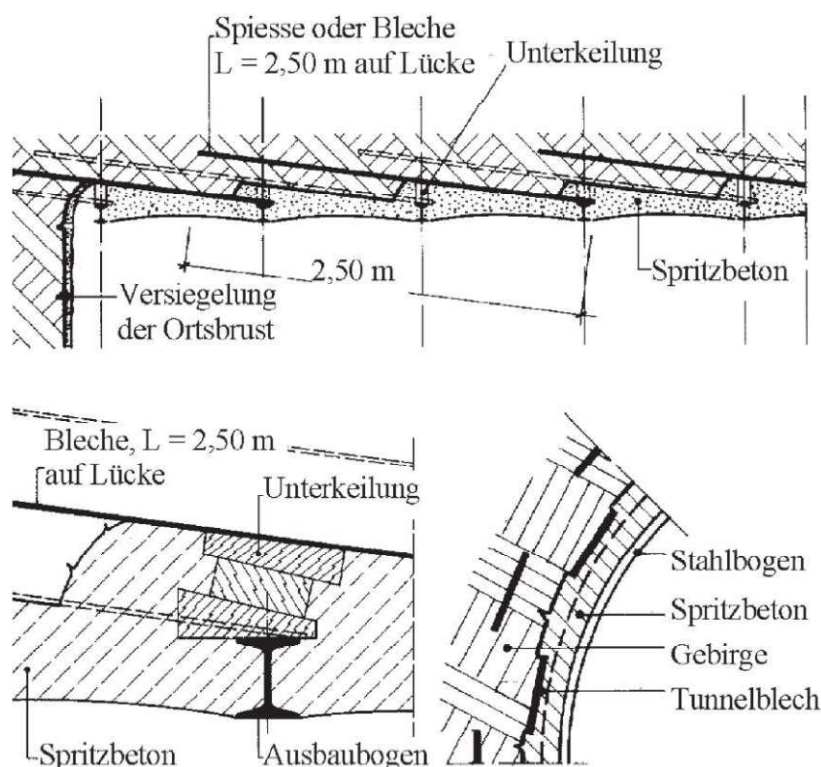


Abb. 2.10: Verzugsbleche mit Spritzbeton (Quelle: Goger [8, S. 219])

vorausseilende Sicherung zur Anwendung. So wird die Standfestigkeit des Gebirge durch Einpressen zusätzlicher und geeigneter Injektionsmittel verbessert und gleichzeitig die Wasserdurchlässigkeit verringert.

In Abb. 2.11 ist der Ablauf zur Herstellung eines Schirmgewölbes mittels vorausseilenden Spiesen abgebildet. Je nach Randbedingungen und Gerbigklassifikation kann der Vortrieb des Schirmgewölbes in Vollausbuch oder Teilausbuch erfolgen. Er wird aus baubetrieblichen und wirtschaftlichen Gründen gern in Verbindung einer Systemankerung verwendet, da die gleichen Geräte vorgehalten werden können.⁵⁵

2.4.6 Rohrschirme

In nicht ausreichend standfestem Gebirge werden Sicherungselemente eingebaut, die dem Ausbruch vorausseilen. Für Sicherungen gegen kurze Standzeiten oder Vortriebe die direkt unterhalb von Verkehrswegen vorangetrieben werden, können Rohrschirme eingesetzt werden. Sie werden nicht tangierend eingebaut, sondern mit einem Abstand der im Dezimeterbereich liegt. Unter Verwendung von einem zentrisch arbeitenden Überlagerungsbohrsystem, wobei Bohren und Verrohren in einen Arbeitsschritt erfolgt, wird ein Rohrschirm geschaffen. Mit entsprechenden Injektionen kann ein ganzes Schirmgewölbe hergestellt werden. Durch die hohe Biegetragfähigkeit und der großen Querschnitte sind Einbaulängen bis zu 30 m beherrschbar.⁵⁶

Girmscheid [7] erläutert die Vorzüge eines Rohrschirm wie folgt:

⁵⁵Vgl. [20] Maidl, S. 39

⁵⁶Vgl. [20] Maidl, S. 41

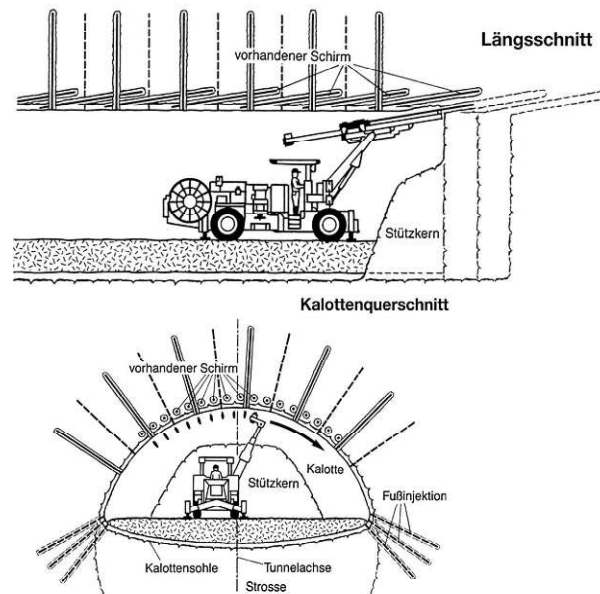


Abb. 2.11: Schirmgewölbe Herstellung (Quelle: Girmscheid [7, S. 248])

- Haupttragwirkung in Gewölberingrichtung durch Ausbildung der Membrantragwirkung (Normalkräfte).
- Sekundärtragwirkung als elastisch eingespanntes „Pfählgewölbe“ in Tunnellängsrichtung (Biegemomente, Schubkräfte).
- Effiziente und lagegenaue Durchörterung von zerklüftetem Festgestein, Findlingen und Lockergestein durch ein im Rohr von 15 – 20 cm Durchmesser geführtes Großbohrgestänge.
- Verpressmöglichkeiten des während des Bohrvorgangs eingeführten Rohrs sowie der umliegenden Klüfte.
- Relativ lange ineinander geschachtelte Rohrschirme von 15 – 19 m Rohrlänge.
- Vortrieb direkt unterhalb von Gebäudefundamente ist ohne Hebungen möglich.

2.4.7 Ortsbrustinjektionen

Ortsbrustinjektionen finden dann Anwendung, wenn die Standfestigkeit der Ortsbrust erhöht werden muss. Sie verkleben Klüfte im zerklüfteten, nicht standfesten Gebirge mittels eingepresstem Injektionsmaterial. Laut Girmscheid [7] eignen sich folgende Injektionsgüter:

- Zementsuspension und Feinmörtel
- Chemische Injektionen auf der Basis von Wasserglas
- Kunstharzinjektionen auf der Basis von Reaktionsharzen oder Kondensatoinsharzen

Diese Materialien verschließen die Hohlräume des Gebirges. Dadurch wird nicht nur die Standfestigkeit des Gebirges erhöht, sondern gleichzeitig wird die Wasserdurchlässigkeit verringert.⁵⁷

⁵⁷Vgl. [20] Maidl, S. 169 ff.

Die Wahl des Injektionsgut bzw. die Injizierbarkeit eines Bodens hängt lt. Maidl [20] von den geologischen, hydrologischen und chemischen Einflussfaktoren ab. Laut Girmscheid [7] ist die Zementsuspension am einfachsten zu handhaben und am günstigsten. Der große Nachteil der Zementsuspension ist, trotz Verwendung von Abbindebeschleuniger, die lange Erhärtungszeit im Vergleich zum Abschlagszyklus des Sprengvortriebs. Daher wird häufig ein Polyurethanschaum benutzt. Dieser ist zwar relativ teuer, reagiert aber nach dem Austritt sofort und verrinnt nicht in den Klüften wie die Suspension. Injektionskörper können in der Form eines geschlossenen Ringes hergestellt werden und dem Vortrieb vorausseilen. Weitere Möglichkeiten zur Ortsbruststabilisierung sind laut Girmscheid [7] temporäre Anker, einzelne DSV-Säulen, Spritzbeton, usw. Dies sind alles Beispiele zur Ortsbruststabilisierung von der Tunnelachse aus, Girmscheid führt noch weiter aus und erläutert eine Ortsbruststabilisierung von der Geländeoberkante aus. Dies wird im Zuge dieser Arbeit vernachlässigt.

2.4.8 Gefrierschirme

Gefrierschirme ist eine vorausseilende Sicherungsmaßnahme, die im Grundwasser angewendet werden kann und soll. Sie findet im Lockergesteinstunnelbau ihre Anwendung. Durch den gebildeten, temporären Frostkörper erhöht sich nicht nur die Tragfähigkeit des Bodens, sondern wie bei den Injektionen wird die Durchlässigkeit des umliegenden Bodens temporär reduziert. Die Herstellung kann von drei verschiedenen Standorten ausgeführt werden. Laut Adam [1] können die Bohrungen zur Herstellung des Vereisungsschirms von der Geländeoberfläche, der Ortsbrust oder von einem Pilotstollen aus erfolgen. Eine schematische Darstellung des Prinzips eines Gefrierschirms stellt die Abb. 2.12 dar.⁵⁸

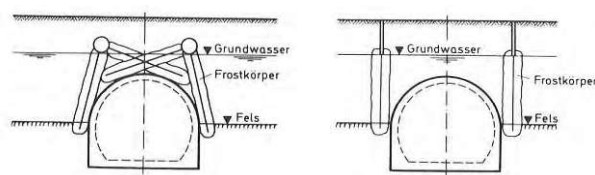


Abb. 2.12: Schematische Darstellung eines Gefrierschirms (Quelle: Girmscheid [7, S. 248])

Zur Herstellung eines Frostkörpers muss dem Boden die zur Vereisung notwendige Wärme entzogen werden. In gleichen Abständen werden im Bereich des geplanten Gewölbeschirmes Gefrierrohre eingebracht. In diesen Rohren kann entweder eine Sole (-45°C) oder flüssiger Stickstoff (-195°C) zirkulieren.⁵⁹

Wichtig dabei ist auf die Lagegenauigkeit und die Bohrergenauigkeit zu achten. Zudem müssen zwei weitere Parameter gegeben sein. Zum einen muss der Wassergehalt des Bodens mehr als 5 – 7 % betragen und die Grundwassergeschwindigkeit darf 3 m/d nicht überschreiten. Im innerstädtischen, setzungsgeregelten Bereich ist drauf zu achten, dass keine Eislinsen gebildet werden und Hebungen hervorrufen. Ein Vorteil dieser Sicherungsmethode ist die umweltschonende Art und Weise, da die hydrologischen Verhältnisse im Boden nicht nachhaltig beeinflusst werden. Der Nachteil dabei ist, dass diese Methode mit einem signifikanten Aufwand und erheblichen Kosten verbunden ist und laut Girmscheid [7] nur dann eingesetzt werden soll, „wenn alle Stricke reißen“.⁵⁷

⁵⁸Vgl. [1] Adam, S. 100

⁵⁹Vgl. [17] Kolymbas, S. 75

2.4.9 Setzungskompensationen

Setzungskompensationen dienen als Setzungssicherungsmaßnahme. Sie werden auch als Soil-*Fracturing*-Verfahren bezeichnet. Diese Setzungssicherungsmaßnahme wird hauptsächlich beim innerstädtischen Tunnelbau in weichen und mit geringer Dichte gelagerten Lockergesteinsböden eingesetzt. Laut Girmscheid [7] ist es in allen Böden einsetzbar, die sich bis 60 bar Druck aufreißen und verpressen lassen. Zu diesen gehören Sande, Kiese, schluffige Sande und Schluffe.

Dieses Verfahren wird zur Setzungskompensation von setzungsempfindlichen Gebäude oder zur Rückstellung von Bauwerksschiefstellungen eingesetzt. Durch die Injektion von Zementsuspensionen wird eine Erhöhung der Bodenstabilität, sowie eine Steifigkeitserhöhung erreicht. In der Abb. 2.13 ist links die Erstinjektion skizziert und rechts die Folgeinjektion. Besonders bei innerstädtischen Tunnelbaustellen müssen Bestandsgebäude vor Hebungen bzw. Setzungen gesichert werden. Ein wesentlicher Erfolgsfaktor ist die genaue Kenntnis des Baugrunds und der sich im injizierten Boden ablaufenden Verformungsänderung in Verbindung mit den Gebäudebewegungen. Das führt dazu, dass die Bestandgebäude ständig unter genauester Bauwerksüberwachung stehen müssen.

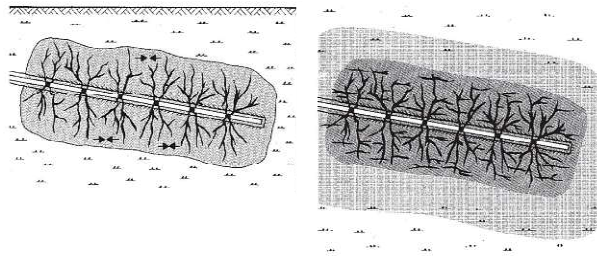


Abb. 2.13: Verlauf der Injektionsstabilisierung mit Erstinjektion (links) und Folgeinjektionen (rechts) (Quelle: Girmscheid [7, S. 279])

Die Vorgehensweise zur Sicherung dieser oberirdischen Bebauung findet in Phasen statt. Wie vorhin erwähnt werden Hebungen und deren räumliche Verteilung sorgfältig aufgenommen und registriert. Aufgrund dessen werden die Injektionsdrücke, -menge, und -verteilung berechnet. Dann kann die Erstinjektion erfolgen. Diese dient dazu, Klüfte und Hohlräume zu verfüllen, den Boden zu verdichten und zu homogenisieren. Diese Phase wird bis zu den ersten gemessenen Hebungen durchgeführt. Somit führt jede Folgeinjektion zu einer Hebung. Anschließend werden die zu beobachtenden Objekte mittels begleitende Setzungsmessungen überwacht. Erreichen die Setzungen einen vorgegebenen Toleranzwert kommen Folgeinjektionen zum Einsatz. Durch diesen Injektionsschritt wird im Boden die Horizontalspannung soweit erhöht, dass gezielte Hebungen an der Oberfläche eingeleitet werden können. Das Verfahren ist so konzipiert, dass die Injektionen und die dazugehörigen Bohrungen von außen (Geländeoberfläche, Gebäudeinneren, Schächten oder Hilfsstollen) durchgeführt werden können.⁶⁰

Nachdem in diesem Kapitel die Ausbruchsarten, die Vortriebsmethoden und die Sicherungsmitteln aufgearbeitet wurden, wird im nächsten Abschnitt die ÖGG – Richtlinie für Projekte der Verkehrsinfrastruktur unter Berücksichtigung relevanter Projektrisiken erörtert. Diese ist deshalb so wichtig, da Verkehrsinfrastrukturprojekte meist über eine längere Projektphase andauern und die Kostenermittlung über die verschiedenen Projektphasen hinweg komplex erscheint.

⁶⁰Vgl. [7] Girmscheid, S. 278 ff.

Kapitel 3

ÖGG - Richtlinie Kostenermittlung für Projekte der Verkehrsinfrastruktur

Große innerstädtische Verkehrsinfrastrukturprojekte zeichnen sich durch lange Projektphasen, schwierige Randbedingungen, eine hohe Anzahl an Projektbeteiligten, beengte Platzverhältnisse und logistische Herausforderungen aus. In Österreich wird von der ÖGG die *Richtlinie Kostenermittlung für Projekte der Verkehrsinfrastruktur unter Berücksichtigung relevanter Projektrisiken* [24] herausgegeben, welche in diesem Kapitel aufgearbeitet werden soll. Diese Richtlinie konzentriert sich auf die Kostenermittlung in der Planungsphasen und behandelt lediglich die Kosten und Risiken der Auftraggeberseite. Anfangs werden die Grundlagen für die Kostenermittlung charakterisiert. Das Hauptaugenmerk wird auf die Kostenbestandteile gelegt, vor allem auf den Bestandteil *Risiko*. Abschließend wird auf die Zusammenführung der Bestandteile, sowie Kostenverfolgung und Kostenfeststellung eingegangen.⁶¹

3.1 Grundlagen der Kostenermittlung

Die Grundlagen der Kostenermittlung beschäftigen sich, wie in der Einleitung festgehalten, ausschließlich mit der Kostenermittlung der Planungsphase. Ungeachtet dessen werden die verschiedenen Projektphasen erörtert. Vor allem wird die Planungsphase in mehrere verschiedene Phasen unterteilt. Über die hinaus müssen der Projektinhalt und die Grenzen des Projekts definiert werden. Der Inhalt des Projektes beschreibt die Maßnahmen zur Erreichung der Ziele in Hinsicht auf die Dreiecksbeziehung Qualität – Kosten – Termine. Abzugrenzen gilt es vorrangig den örtlichen und zeitlichen Aspekt. Je fortgeschrittener das Projekt, desto konkreter wird der Inhalt des Projektes. In weiterer Folge werden im nächsten Kapitel auf Basis der *Richtlinie Kostenermittlung für Projekte der Verkehrsinfrastruktur unter Berücksichtigung relevanter Projektrisiken* [24] die wichtigsten Punkte näher erläutert.⁶¹

3.1.1 Projektphasen

Die einzelnen Projektphasen sind zeitlich zu gliedern. Die nachstehende Abb. 3.1 zeigt die Projektphasen und deren Meilensteine, sowie die dazugehörigen Methoden der Kostenermittlung und Risikoermittlung. Betrachtet wird der Zeitraum eines Projektes von der Projektstartphase bis zum Ende der Ausschreibungsphase. Die Kostenermittlung der Ausführungsphase und der Projektabschlussphase sind nicht Teil dieser Richtlinie.

Jedes Projekt beginnt mit der **Projektstartphase**. Mit der Projektidee einhergehend erfolgt eine Konzeptplanung und die Definition der Projektziele.

In der **Projektentwicklungsphase** werden detaillierte Leistungs-, Kosten- und Terminziele ausgearbeitet. Die ÖGG nennt als Basis hierfür beispielsweise Bedarfs- und Standortanalysen,

⁶¹Vgl. [24] ÖGG, S. 1 ff.

Kosten-Nutzenrechnungen, Machbarkeitsstudien und Projektkonzeptionen. Für die Bestimmung des Kostenrahmens kann die Kennwertmethode herangezogen werden.

In der **Vorprojektphase** werden unterschiedliche Trassenverläufe geprüft, um das Fundament einer Variantenentscheidung zu schaffen. In dieser Phase wird die Kostenermittlung als Kostenschätzung definiert und kann durch die Kennwert- und/oder Elementmethode ermittelt werden.

	Projektstartphase	Projektentwicklungsphase	Vorprojektsphase	Genehmigungsphase	Ausschreibungsphase	Ausführungsphase	Projektabschlussphase
Planung	Konzeptplanung	Grundlagenplanung	Vorplanung	Entwurfs- und Genehmigungsplanung	Ausschreibungsplanung	Ausführungsplanung	Bestandsplanung
Meilensteine des Projekts	Projektziele/Projektstart	Lastenheft	Varianteentscheidung	Einreichung - Genehmigung	Veröffentlichung	Vergabe	Übernahme/Übergabe Projektende
Meilensteine der Kostenermittlung		Kostenrahmen	Kostenschätzung	Kostenberechnung	Kostenanschlag	nicht Thema dieser Richtlinie	
Methoden der Kostenermittlung		Kennwertmethode	Kennwert- und Elementmethode	Methode entsprechend dem Planungsstand: Elementmethode	Positionsmethode		

Abb. 3.1: Projektphasen (Quelle: ÖGG - Austrian Society for Geomechanics [24, S. 6])

Die **Genehmigungsphase** unterteilt sich in zwei Stufen. Die erste Stufe behandelt die Entwurfs- und Genehmigungsplanung für die Behörden. Es können beispielsweise umweltrechtliche, straßenrechtliche, eisenbahnrechtliche und wasserrechtliche Planungen zur Erlangung behördlicher Genehmigungen eingereicht werden. Die zweite Stufe besteht aus der behördlichen Prüfung der eingereichten Unterlagen. Nach dem Erlangen der Genehmigungen ist diese Phase abgeschlossen. Die Kostenermittlung der vorherigen Phase wird fortgeschrieben und als Kostenberechnung benannt. Durch den ausgeprägten Informationszuwachs in dieser Projektphase vermindern sich die pauschalen Risikoaufschläge in der Kostenermittlung. In dieser Phase wird die Elementmethode für die Kostenermittlung empfohlen.

Die **Ausschreibungsphase** kann parallel zur Genehmigungsphase beginnen und endet mit dem Zustandekommen des Vertrages. Die Detaillierung der Ausschreibungsunterlagen ist wesentlich von der Art des Vertrages abhängig. Zu der Erstellung der Ausschreibungsunterlagen erfolgt in dieser Phase auch die Durchführung der Angebotsprüfung, sowie die Berechnung des Kostenanschlages.

Direkt im Anschluss folgt die **Ausführungsphase**. Auf Basis des abgeschlossenen Vertrages werden die Ausführungsunterlagen erstellt und das Bauwerk vor Ort errichtet. Während dieser Phase ist eine konsistente Kostenverfolgung durchzuführen, die die Änderungen und Anpassungen vor Ort berücksichtigen. Mit der Übernahme des Projektes durch den Auftraggeber wird diese Phase beendet.

Abschließend erfolgt die Schlussrechnung, die Kostenfeststellung und die Analyse dieser Feststellung, die Kennwertbildung, sowie eine Projektdokumentation. Diese letzte Phase wird **Projektabschlussphase** genannt.⁶¹

Die Leistungs- und Vergütungsmodelle für Planerleistungen (LM.VM.2014) [18] gliedern die Gesamtabwicklung eines Projektes in andere fünf Projektphasen:⁶²

⁶²Vgl. [18] Lechner, S. 2 ff.

1. Projektphase 1: Projektvorbereitung
2. Projektphase 2: Planung
3. Projektphase 3: Ausführungsvorbereitung
4. Projektphase 4: Ausführung
5. Projektphase 5: Projektabschluss

Diese gewähren einen reibungslosen Übergang zwischen den Projektphasen der ÖGG – Richtlinie und sämtlichen auf den Projekt- und Leistungsphasen der LM.VM.2014 basierenden Dienstleistungsverträgen. Ein weiterer Vorteil ist die einfachere Handhabung der Kommunikation zwischen den Planern und deren Leistungen.

3.1.2 Kostenstruktur

Das Fundament der Kostenstruktur ist die Projektstruktur, sie ist entsprechend der Projektphasen zu beschließen. Die Zerlegung eines Projektes in planbare und für das Controlling verwendbare Einheiten bzw. Arbeitspakete ist unumgänglich. Sie wird als Projektstrukturplan bezeichnet und dient als Basis für weitere Projektplanungs- und Projektsteuerungsaufgaben. Diese Gliederung kann nach verschiedenen Gesichtspunkten erfolgen. Wichtig dabei ist, dass der Projektstrukturplan die Gesamtheit der Beziehungen zwischen den Elementen darstellt. Die *Richtlinie Kostenermittlung für Projekte der Verkehrsinfrastruktur unter Berücksichtigung relevanter Projektrisiken* [24] empfiehlt folgende drei Ansichten zur Gliederung der Elemente:

- nach Realisierungsstufen
- nach Objekten
- nach organisatorischer Funktion

Die Kostenstrukturierung kann weiters in Kostengruppen unterteilt werden. Diese Unterteilung wird beispielhaft aufgezählt und weitere Untergliederungen sind in der Anlage 11.1 der ÖGG – Richtlinie [24] zu finden. Die Kostenermittlung ist obligatorisch so zu erstellen, dass eine Weiterführung möglich ist.⁶¹

3.1.3 Berücksichtigung der Unsicherheiten

Werden keine Unsicherheiten in die Kostenermittlung miteinberechnet, ist nahezu gewiss, dass sich in der Kostenfeststellung nicht genau die prognostizierte Zahl realisieren wird. Abweichungen zur deterministischen Prognose können aus verschiedensten Gründen erfolgen. Folgende Gründe beeinflussen generell die Kosten- sowie die Terminprognose:

1. Marktwirtschaft
2. Politik
3. Bestandsobjekte
4. Baugrund
5. Projektorganisation etc.

Um dem gerecht zu werden, kann die prognostizierte Zahl um Bandbreiten erweitert werden. Die Bandbreiten variieren in Abhängigkeit der zum Zeitpunkt vorliegenden Projektkenntnisse. Die Dreiecksverteilung in Abb. 3.2 berücksichtigt das unwahrscheinlicherer Eintreten der Randwerte gegenüber dem Modalwert.

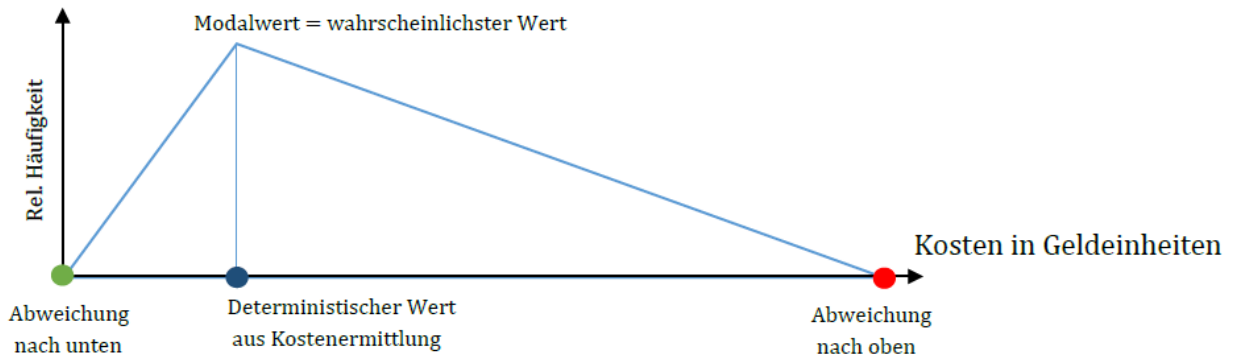


Abb. 3.2: Erweiterung des deterministischen Wertes (Quelle: ÖGG - Austrian Society for Geomechanics [24, S. 9])

Kostenelemente wie Basiskosten, Risiken oder Vorausvalorisierungen, werden für die probabilistische Prognose von Grund auf mit Unschärfen behaftet. Als Ergebnis erscheint eine Wahrscheinlichkeitsverteilung der Kosten, die prognosebedingte Abweichungen berücksichtigt. Die erwähnten Kostenelemente werden auch Kostenbestandteile genannt und sind im nächsten Abschnitt 3.2 behandelt.⁶¹

3.2 Kostenbestandteile

Die vom Auftraggeber prognostizierten Projektkosten sind laut ÖGG wie folgt zu gliedern:

- Basiskosten (B)
- Gleitung und Wertanpassung (G)
- Risikokosten (R)
- Vorausvalorisierung (V)

Die Größe der Kostenbestandteile hängt wesentlich vom Projektablauf sowie einer bestimmten Marktpreisentwicklung während der Projektentwicklung ab. Die möglichen Abweichungen zum geplanten Projektablauf werden durch einen Risiko-Aufschlag abgedeckt. In Abb. 3.3 kann man die Zusammensetzung der einzelnen Kostenbestandteile *BGRV* erkennen, wobei zu verschiedenen Zeitpunkten gewisse Kostenbestandteile null sind.⁶¹

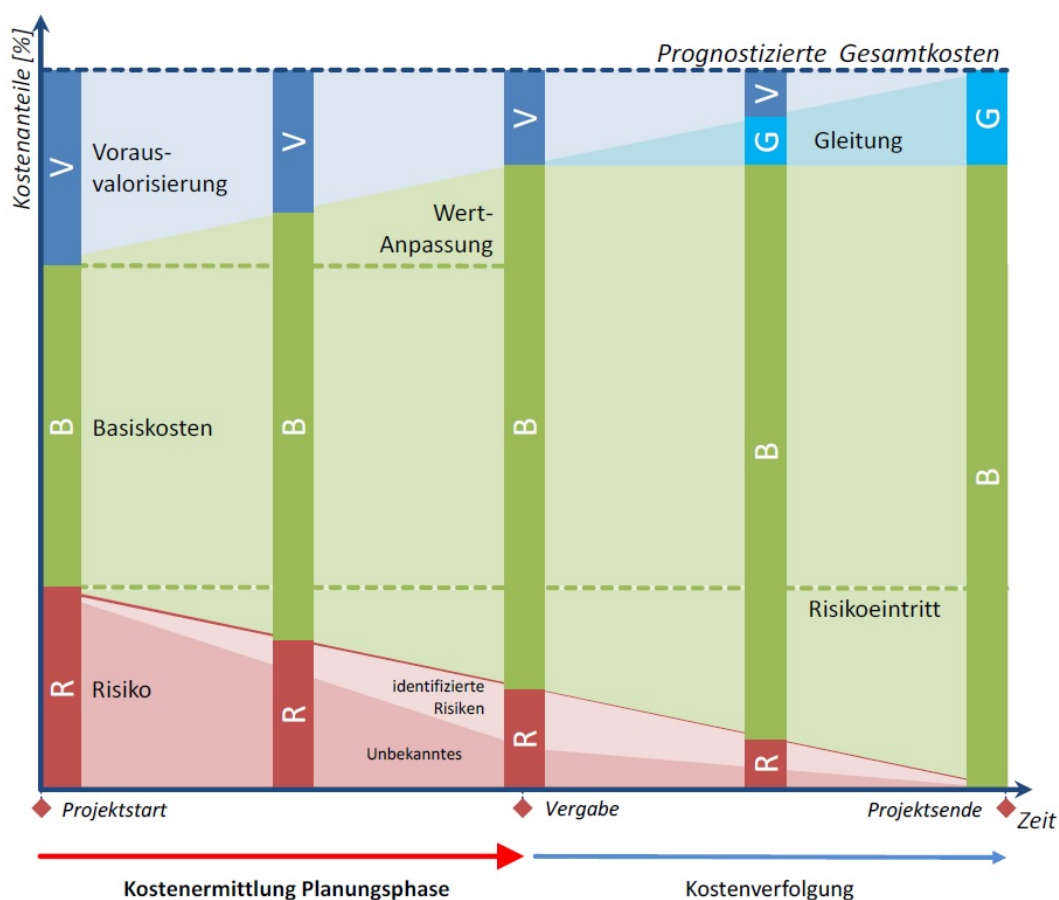


Abb. 3.3: Schematische Darstellung der Kostenbestandteile zur Ermittlung der prognostizierten Gesamtkosten (Quelle: ÖGG - Austrian Society for Geomechanics [24, S. 10])

3.2.1 Basiskosten

Die Basiskosten bilden den zum Zeitpunkt bekannten Projektinhalt unter Berücksichtigung der bekannten Projekttermine ab. Sie beziehen sich auf eine einheitliche Preisbasis und sind demnach von der Gleitungsanpassung, Vorausvalorisierung und den Risiken abzugrenzen. Sie enthalten alle Kosten beginnend mit den Grunderwerb bis hin zur Inbetriebnahme des Bauwerks. Die Ermittlung der Basiskosten erfolgt nach den nachstehenden Methoden und ist von der Projektphase abhängig. Je nach Projektphase und Detaillierungsgrad können folgende Methoden angewandt werden:

- die Kennwertmethode,
- die Elementmethode und
- die Positionsmethode.

Der Fortschritt eines Teilprojektes muss nicht zwingenderweise in der gleichen Phase eines anderen Teilbereiches sein. Abhängig von der Projektstruktur können Teilbereiche in verschiedenen Stadien sein. Ein Teilbereich kann bereits in der Ausführung sein, während sich der Kenntnisstand eines anderen noch in der Genehmigungsphase befindet. Daraus resultiert, dass die Methoden zur Ermittlung der Basiskosten von unterschiedlichen Teilprojekten an einem gewissen Stichtag

variieren. Bei allen drei Methoden können Kosten für *Unberücksichtigtes* einkalkuliert werden. Dies kann dann der Fall sein, wenn Teile eines Projektes nicht vollumfänglich aufgrund ihres Projektkenntnisstandes berücksichtigt werden können.

3.2.1.1 Ermittlung der Basiskosten

Mengen und Kostenkennzahlen bilden die Grundlage zur Ermittlung der Basiskosten. Jede der drei vorhin erwähnten Methoden kann in zwei verschiedenen Verfahren durchgeführt werden:

- als deterministische Verfahren oder
- als probabilistische Verfahren.

Dem Auftraggeber steht diese Entscheidung frei. Unbedeutend von der Wahl des Verfahrens ergeben sich die Basiskosten aus dem Produkt von Menge und Kostenkennzahlen. Das Ergebnis der deterministischen Variante ist eine feste Größe, wobei beim probabilistischen Verfahren zur Berücksichtigung von Unsicherheiten Verteilungen angesetzt werden können. Kostenkennwerte ergeben sich aus den Berechnungen der Projektabschlussphase oder können aus einer Preisdatenbank entnommen werden. Existieren keine Referenzwerte, müssen Kalkulationen zur Kostenberechnung vorgenommen werden. Die drei wesentlichen Methoden werden im Folgenden kurz erläutert.^{63 64}

Kennwertmethode: Diese Methode kann am Anfang eines Projektes zur Berechnung des Kostenrahmens oder zur Erstellung einer Kostenschätzung verwendet werden. Sie erfasst übergeordnete Teile eines Projektes, denen Bezugsgrößen zugeordnet werden. Bezugsgrößen sind z.B. lfm Tunnel, m² Brücke oder ein pauschaler Objektabbruch. Für untergeordnete Kostengruppen können Pauschalen oder relative Prozentsätze angesetzt werden.

Elementmethode: Bei dieser Methode werden typische Bestandteile eines Bauwerkes betrachtet. Diese Bestandteile des Objektes werden als Elemente bezeichnet, denen wiederum eine Bezugsgröße zugeordnet wird. In diesem Fall sind die Bezugsgrößen kleineren Bestandteilen zuzuordnen (z.B. m² Innenschale, lfm Ausbruchklasse). Sie basieren ebenso wie bei der Kennwertmethode auf Kostenkennzahlen. Der Unterschied liegt im Detaillierungsgrad.

Positionsmethode: Die Positionsmethode preist einzelne Positionen eines Leistungsverzeichnisses aus. Sie basiert auf Einheitspreisen der Positionen von vergleichbaren Projekten oder Erfahrungswerten und wird für Kostenanschläge in der Ausschreibungsphase verwendet. Werden in Leistungsverzeichnissen LV-Positionen mit z.B. Regiearbeiten, Stilliegetage oder Vortriebsunterbrechungen versehen, so sind diese bei der Kostenermittlung unter den Risikokosten einzuordnen.

Unberücksichtigtes: Unter Unberücksichtigtes versteht man den Zuschlag zur Abdeckung jener Bestandteile eines Projektes, die bekannt sind und erwartet werden, aber der Detaillierungsgrad nicht ausreicht, um eigenständig berechnet zu werden. So werden auch jene Basiskosten ermittelt, die mit den obenstehenden Methoden nicht errechnet werden können. Der Zuschlag hängt maßgebend vom Projektkenntnisstand ab und vermindert sich bei steigendem Detaillierungsgrad der Planung. Folglich wird kein Zuschlag bei Kostananschlägen angesetzt.

⁶³Vgl. [24] ÖGG, S. 12 ff.

⁶⁴Vgl. [23] Oberndorfer, S. 281 ff.

3.2.2 Wertanpassung und Gleitung

Die Wertanpassung, Gleitung und Vorausvalorisierung sind für die Berücksichtigung der Marktpreisentwicklung zwingend anzusetzen. Die Kostenansätze für Wertanpassung und Gleitung berücksichtigen die Marktpreisentwicklung bis zu einem gewissen Stichtag, wobei die Vorausvalorisierung die Marktpreisentwicklung ab einem Stichtag berücksichtigt. Die Wertanpassung wird bei Kostenermittlungen vor Vertragsabschluss angesetzt. Dadurch werden Preisänderungen, die aufgrund der Inflation oder der Marktwirtschaft entstehen, berücksichtigt. Die Gleitung hingegen berücksichtigt auf Basis von vertraglich festgelegten Kostenindizes oder vereinbarten objektbezogenen Warenkörben die Preismrechnung bei abgeschlossenen Verträgen. Im Umkehrschluss bedeutet das, dass bei Festpreisverträgen die Kostenansätze für die Gleitung Null betragen.⁶³

Ermittlung der Wertanpassung

Die Wertanpassung valorisiert die Basiskosten anhand von Preisindizes. Dies ist nur für noch nicht beauftragte Leistungen durchzuführen. Die Anpassung erfolgt, um die Preisentwicklung zwischen dem Bezugszeitpunkt der Basiskosten und den aktuellen Stichtag zu gewährleisten.

Ermittlung der Gleitung

Die Gleitung wird für den Zeitraum zwischen vertraglicher Preisbasis und dem aktuellen Stichtag ermittelt. Sie errechnet sich aus der Summe von der Gleitung die bis zu dem Stichtag angefallen sind und der Gleitung die für die noch zu erbringenden Leistungen anfallen werden. Die Kosten verändern sich proportional zu der Veränderung der Selbstkosten von Auftragnehmer.

3.2.3 Risiken

Risiko im Sinne der Kostenermittlung, also als Kostenbestandteil der prognostizierten Gesamtkosten, ist als Chance wie Gefahr zu sehen. Es wird mit fortschreitendem Projektkenntnisstand besser und leichter einschätzbar. Abhängig vom Projektfortschritt ist in den prognostizierten Projektkosten entsprechende Vorsorge zu treffen. Wird ein Risiko im Vorfeld erkannt kann es planerisch gestaltet werden. Das bedeutet, es wird im Leistungsverzeichnis aufgenommen und ist somit den zugehörigen Kostenanteil der Basiskosten zuzuschreiben. Dafür wird der Kostenbestandteil des Risikos verkleinert. Für eine saubere Prognose muss die Risikobetrachtung strukturiert vorgenommen werden. Laut ÖGG – Richtlinie [24] sind die Risikokosten in zwei Teile zu unterteilen:⁶³

1. Identifizierte Risiken
2. Unbekanntes

Werden beide Teile addiert, ergeben sich die Risikokosten. Der erste Punkt enthält jene Risiken, die im Zuge einer Risikoanalyse identifiziert werden. Sie sind abhängig von der Qualität und vom Umfang der Risikoanalyse, sowie vom Projektkenntnisstand. Der zweite Punkt, das Unbekannte, gliedert sich nochmals in zwei unterschiedliche Bestandteile:⁶³

- nicht identifizierte Risiken
- nicht identifizierbare Risiken

Die nicht identifizierten Risiken sind jener Teil des Risikos, die im Zuge der Risikoanalyse nicht aufgenommen worden sind. Sie hängen ebenfalls von dem Projektkenntnisstand, sowie vom Umfang und der Qualität der Analyse ab. Die nicht identifizierbaren Risiken werden erst bei Eintritt des Risikos bekannt. Sie können durch keine Risikoanalyse detektiert werden.

Zur Ermittlung des Kostenbestandteils Risiko stehen zwei verschiedene Verfahren zur Verfügung. Die Auswahl des Verfahrens liegt beim Auftraggeber und kann von folgenden Aspekten abhängen:

- Höhe der prognostizierten Gesamtkosten
- Komplexität des Projektes
- Öffentliche Wahrnehmung
- Vorhandene Datengrundlage

Eines der vorhin erwähnten Verfahren ist das **Richtwertverfahren**. Diese Vorgehensweise ermittelt die gesamten Risikokosten, ohne jeglicher Unterscheidung zwischen identifizierten Risiken und unbekanntem Risiko. Die zweite Methode wird **Einzelrisikobetrachtung** genannt. Hierbei werden die Risikokosten der identifizierten Risiken ermittelt. Das Unbekannte wird als Zuschlag auf den Bestandteil der identifizierten Risiken aufgeschlagen. Im Kapitel 5 wird exemplarisch das Richtwertverfahren, sowie eine Einzelrisikobewertung durchgeführt. Die folgende Abb. 3.4 zeigt die möglichen Prozesse eines Auftraggebers zur Ermittlung des Risikozuschlages laut ÖGG [24]. Der Prozess zur Ermittlung der Projekt-Risikokosten beginnt mit der Durchführung des Richtwertverfahrens. Dabei müssen die Prozessschritte *Projekteigenschaften*, *Projektprofil*, *Einzelrisiken* durchlaufen werden, um zur Bestimmung des Richtwertes und somit zur Einschätzung des Risikopotenzials zu gelangen. Nach der Einschätzung des Risikopotenzials entscheidet der Auftraggeber, ob der *pauschale Risiko-Zuschlag* hinreichend genau ermittelt worden ist. Sollte das nicht der Fall sein wird das Verfahren mit Einzelrisikobewertung herangezogen, ansonsten kann die Pauschale als Risikozuschlag angesehen werden. Dieser Prozess wird im Abschnitt 5.1 einmal durchlaufen. Bei der Risikoidentifikation der Einzelrisiken ist es hilfreich eine Struktur im Vorfeld festzulegen. Die Art und Weise wie der Auftraggeber die Risiken gruppiert bleibt ihm überlassen.⁶³

Strukturierung der Risiken

Die Strukturierung der Risiken ist deshalb sinnvoll, damit man jedes identifizierte Risiko einer Gruppe eindeutig zuordnen kann. Somit wird eine Redundanzfreiheit geschaffen. Im Abschnitt 4.3.3 „Strukturierung von Risiken“ der ÖGG – Richtlinie [24] ist ein beispielhafter Risikokatalog abgebildet, der nach einem Ursachenbezug aufgebaut ist. Die Strukturierung ist bei dem Richtwertverfahren, sowie im Verfahren mit Einzelrisikobewertung essentiell. Die beiden Verfahren werden in den folgenden Abschnitten erörtert.

Prozessablauf

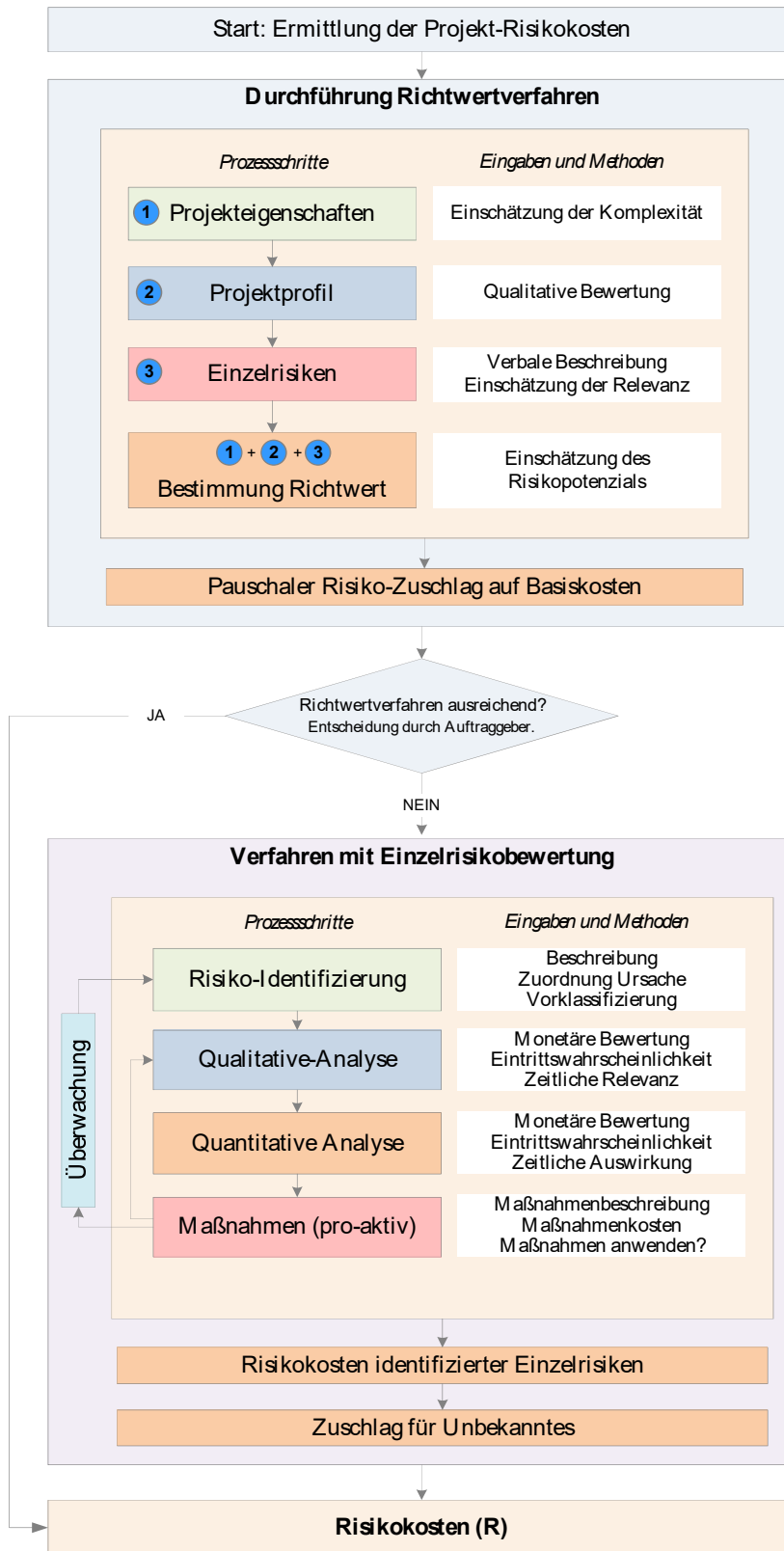


Abb. 3.4: Ablauf der Ermittlung der Risikokosten für das Projekt (Quelle: ÖGG - Austrian Society for Geomechanics [24, S. 15])

Das Richtwertverfahren

Mit dem Richtwertverfahren hat ein Auftraggeber die Chance auf einen schnellen Zugang zur Ermittlung des Kostenbestandteiles *Risiko*. Auf die Bewertung von Einzelrisiken wird in diesem Verfahren verzichtet. Es wird vereinfacht ein pauschaler Zuschlag auf die Basiskosten ermittelt und als Risikokosten aufgenommen. Für das Richtwertverfahren wird empfohlen ein Datenblatt zu entwickeln. Ein Beispiel dazu gibt die ÖGG – Richtlinie [24] in ihrem Anhang 11.2.

Für die Ausarbeitung einer qualitativen Einschätzung des Risikopotenzials für das Gesamtprojekt- oder Teilprojektebenen ist es von großer Bedeutung die folgenden Aspekte zu berücksichtigen.⁶⁵

1. Komplexität des Projekts

- Anzahl der mitwirkenden Gewerke
- Anzahl der Projektbeteiligten
- Erfahrung der Projektbeteiligten
- Projektumfeld
- Terminalschiene

2. Projektprofil

- Projektgrundlagen
- Projektumfeld
- Planungstiefe
- Genehmigung
- Baugrund
- Vertragspartner

3. Erfassung von identifizierten Einzelrisiken ohne quantitativer Bewertung

Bei gewissen Einschätzungen, wie der Einstufung der Komplexität des Projekts, ist es sinnvoll den Planer mit ins Boot zu holen und diese Einschätzungen zusammen festzulegen.

Das Verfahren mit Einzelrisikobewertung

Der Fokus richtet sich bei der Einzelrisikobewertung auf die Identifikation einzelner Risiken und auf die Bewertung und Behandlung dieser. Im Kapitel 5 wird ein beispielhaftes Risiko mit dem Verfahren der Einzelrisikobewertung identifiziert, bewertet und behandelt. Es folgt dem Ablauf der ÖNORM ISO 31000 [29] und wird hier nachstehend festgehalten.

Dieser Ablauf wird auch in der ÖGG – Richtlinie [24] für die Durchführung empfohlen.⁶⁶

1. Die Identifikation von Einzelrisiken.
2. Die Zuordnung der identifizierten Einzelrisiken in Untergruppen.
3. Die Vorklassifizierung von Risikoszenarien. An diesem Punkt wird entschieden, ob das Risiko weiter analysiert wird oder nicht.
4. Qualitative Bewertung der Risiken ohne Berücksichtigung von Maßnahmen.
5. Maßnahmen setzen und die Risiken neuerlich qualitativ bewerten. Die Kosten der Maßnahme sind in den Basiskosten zu berücksichtigen.

⁶⁵Vgl. [24] ÖGG, S. 18

⁶⁶Vgl. [24] ÖGG, S. 19 ff.

6. Nach Abschluss der qualitativen Bewertung kann eine quantitative Risikobewertung erforderlich sein. Es können durch die Bewertung der Risiken in Bandbreiten, die Grundlagen für einen probabilistischen Ansatz getroffen werden. Es obliegt immer dem Auftraggeber, ob das Verfahren deterministisch oder probabilistisch gestaltet wird.
7. Den Anteil für Unbekanntes berücksichtigen.
8. Die Ergebnisse der Einzelrisikobewertung sind zu aggregieren.

Generell wird bei den quantitativen Verfahren zwischen der deterministischen Methode und der probabilistischen Methode unterschieden. Bei der ersteren wird die Eintrittswahrscheinlichkeit, sowie die finanzielle Auswirkung mit einem spezifischen Wert abgeschätzt. Somit ergibt sich der Erwartungswert als Produkt dieser Komponenten. Werden mehrere Risiken bewertet und zusammengefasst, so errechnet sich das Gesamtrisiko aus der Summe der Einzelrisiken.

Bei der Anwendung von probabilistischen Methoden sind computergestützte Simulationsverfahren notwendig. Bei der Bewertung der Risiken wird die finanzielle Auswirkung in Bandbreiten abgeschätzt.

3.2.4 Vorausvalorisierung

Die Vorausvalorisierung ist einer der wesentlichen Bestandteile der Projektkosten. Große Verkehrsinfrastrukturprojekte zeichnen sich durch meist lange Projektphasen aus. Durch den Kostenansatz für Vorausvalorisierung bedient man sich eines methodischen Ansatzes zur Berücksichtigung von zukünftigen Marktpreisentwicklungen. Dieser Kostenbestandteil ist für die Stabilisierung der Gesamtkosten von großer Bedeutung. Es geht darum, die künftigen Entwicklungen von Preisen am Baumarkt für nicht vergebene Leistungen, sowie die Entwicklung der Selbstkosten für Auftragnehmer, ab einem Stichtag, bestmöglich abzuschätzen. Eine zeitliche Veränderung von Projekten oder auch nur Teilprojekten bewirkt zwingender Maßen eine Änderung der Vorausvalorisierung und somit eine Änderung in den prognostizierten Projektgesamtkosten.⁶⁷

Ermittlung der Vorausvalorisierung

Für die Ermittlung der Vorausvalorisierung ist ein zeitlicher Plan der nicht vergebenen Leistungen notwendig. Bei solchen langfristigen Projekten kann es hinreichend genau sein, einen konstanten Prozentsatz über mehrere Perioden anzusetzen. Dieser kann als Mischsatz über alle Kostengruppen gelegt werden und gilt für die Wertanpassung, sowie für die Gleitung. Die Prozentsätze sind im Sinne der Zinses-Zins-Rechnung auf die prognostizierten Projektkosten aufzuschlagen. Die Höhe des Prozentsatzes entscheidet der Auftraggeber, als Basis kann er die Inflation der letzten Jahre heranziehen.⁶⁷

3.3 Zusammenführung der Kostenbestandteile

Die im Kapitel 3.2 erläuterten Kostenbestandteile sind für die prognostizierten Gesamtprojektkosten zu aggregieren. Je nach Art der Ermittlung der Kostenbestandteile, ist auch die Aggregation durchzuführen. Wurden die Kostenbestandteile deterministisch bestimmt, können die Projektkosten durch eine Addition zusammengeführt werden. Der Kostenbestandteil Risiko wird in der Deterministik als Produkt der Eintrittswahrscheinlichkeit [p] und Auswirkung [A] gesehen. Das deterministische Ergebnis besitzt keine Information bezüglich Kostensicherheit oder Wahrscheinlichkeit des Eintritts. Somit kann für den Erwartungswert der Risikokosten laut ÖGG – Richtlinie [24] folgende Formel angewendet werden:⁶⁸

⁶⁷Vgl. [24] ÖGG, S. 21 ff.

⁶⁸Vgl. [24] ÖGG, S. 20

$$R_{Ges} = \sum p_i * A_i \quad (3.1)$$

Wurde mindestens ein Bestandteil der Projektkosten probabilistisch berechnet, muss die Aggregation nach den Regeln der Probabilistik erfolgen. Daraus resultiert eine Wahrscheinlichkeitsverteilung und es kann die Kostensicherheit für jenen Kostenbestandteil ermittelt werden, der probabilistisch ermittelt wurde.

Ein Vorteil der probabilistischen Methode ist, dass der Auftraggeber bei der Budgetierung einen Prozentsatz wählen kann. Dieser Prozentsatz gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit seine Kostenermittlung über- bzw. unterschritten werden soll.⁶⁷

Exkurs Deterministik – Probabilistik: In diesem Exkurs werden die Deterministik und die Probabilistik kurz erläutert, um ein besseres Verständnis dafür zu schaffen.

1. Begriffsdefinition **Deterministik:** Die Wortabstammung des Determinismus kommt vom lateinischen „determino“, das soviel bedeutet wie: abgrenzen, bestimmen, festlegen. In der Philosophie handelt es sich laut Hofstadler und Krummer [12]:... um „die Lehre von der eindeutigen Bestimmtheit allen Geschehens durch Ursachen, aller späteren Ereignisse durch frühere.“ Als Beispiel können hier die Newtonschen Gesetze genannt werden. Wenn für ein beliebiges System zum Zeitpunkt t_1 alle Zustandsgrößen bekannt sind, dann lassen sich mittels Naturgesetzen alle Zustandsgrößen zum Zeitpunkt t_2 berechnen. Das bedeutet, dass sich bei der deterministischen Berechnung die Ereignisse in der Zukunft exakt berechnen lassen. Weiters könnte man sagen: Alle Ereignisse auf der Welt sind durch Kausalketten bestimmt.⁶⁹
2. Begriffsdefinition **Probabilistik:** Probabilistik stammt vom lateinischen Wort „probabilis“ ab. Annehmbar, wahrscheinlich, glaubhaft sind deutsche Adjektive dafür. Probabilistische Methoden bedienen sich an wahrscheinlichkeitstheoretischen Konzepten oder statistischer Methoden. Die Probabilistik ist eng mit der Stochastik und Statistik verknüpft. Die Stochastik beschäftigt sich hauptsächlich mit der Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeit. Bei probabilistischen Systemen ist es demnach nicht möglich, ein zukünftiges Ereignis exakt vorherzusagen. Die Aussage dieser Systeme bezieht sich auf die Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines Ereignisses.⁷⁰

3.4 Kostenverfolgung und Kostenfeststellung

Die letzten zwei Kapitel der ÖGG *Richtlinie Kostenermittlung für Projekte der Verkehrsinfrastruktur unter Berücksichtigung relevanter Projektrisiken* [24] befassen sich mit der Kostenverfolgung während eines Projektes und der Kostenfeststellung nach Projektende. Diese werden in diesem Punkt zusammengefasst, da die Kostenverfolgung während der Ausführungsphase und die angefallenen IST-Kosten als Teil der Projektkosten nicht Gegenstand der Richtlinie sind. Während der Bauphase ist eine periodische Kontrolle empfehlenswert. Dafür müssen die prognostizierten Projektkosten fortgeschrieben werden. Die Fortschreibung erfolgt unter Berücksichtigung der Ausschreibungsergebnisse und der Leistungsabweichung während der Ausführung. Die Kosten setzen sich aus den angefallenen Kosten der bereits erbrachten Leistung und den prognostizierten Kosten für die noch zu erbringende Leistung zusammen. Hinzu kommt noch ein angemessener Risikopuffer sowie die Kosten für die Vorausvalorisierung bis zu Bauende.

⁶⁹Vgl. [12] Hofstadler und Kummer, S. 49

⁷⁰Vgl. [12] Hofstadler und Kummer, S. 50

Nach dem Bauende und nachdem alle Schlussrechnungen gelegt und anerkannt worden sind, können die Projektkosten endgültig festgestellt werden. Das Ergebnis der festgestellten IST-Kosten dient als Grundlage für die Verwaltung der Anlagen und der Abschreibung. Zudem wird sie zur Gewinnung von Kostenkennwerten herangezogen.⁶⁷

3.5 Zusammenfassung

Die ÖGG – Richtlinie [24] ergänzt die ÖNORM B 1801-1 [2] vor allem in den Bereichen der Kostenermittlung und Bestimmungen zur Ermittlung von Kostenansätzen für Risiken. Die im Dokument erläuterten Methoden zur Kostenermittlung dienen ausschließlich dem AG und können auch bei Projekten wie Kraftwerken, Flughäfen und Bahnhöfen Anwendung finden. Beginnend mit Grundlagen der Kostenermittlung, die wesentlich vom Projektfortschritt abhängen, werden die einzelnen Projektphasen erläutert und Möglichkeiten zur Kostenstrukturierung aufgezeigt. Im Anschluss werden Unsicherheiten veranschaulicht und eine Vorgehensweise zur Berücksichtigung dieser aufgezeigt. Daraufhin werden die einzelnen Kostenbestandteile der prognostizierten Projektkosten ausführlich erklärt und Methoden zur Ermittlung der Kostenelemente, in Anbetracht der verschiedenen Projektphasen, beschrieben. Anschließend wird der Prozessablauf der Risikobewertung bildlich und verbal dargestellt. Abschließend behandelt das Kapitel die Zusammenführung der Kostenbestandteile, sowie die Kostenverfolgung und Kostenfeststellung. Zudem wird am Ende ein kurzer Exkurs zur Deterministik und Probabilistik eingeschoben. Die ÖGG – Richtlinie hat zum Ziel, Vorgangsweisen und Berechnungsmethoden zu vereinheitlichen und eine Vergleichbarkeit der Kosten herzustellen. Zu den verschiedenen Methoden der Kostenermittlung und der Gliederung der Kostenbestandteile liefert die ÖGG – Richtlinie im Anhang Checklisten, sowie Anlagen zur Risikoidentifikation, qualitativen und quantitativen Risiko-Analyse und Berechnung eines pauschalen Risiko-Zuschlags.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Kapitel 4

Ganzheitliches Denken bei komplexen Infrastrukturprojekten

In diesem Kapitel werden die Problematiken eines großen Infrastrukturprojekts anhand eines Artikels der Zeitschrift *Bauaktuell* und der Beschreibung eines aktuellen innerstädtischen Infrastrukturprojektes beleuchtet. Anfangs wird der Artikel „Zur Bedeutung des ganzheitlichen Denkens bei der Realisierung von komplexen Infrastrukturprojekten“ [37] aufgearbeitet. Er beschreibt die komplexen Zusammenhänge zwischen den Projektpartnern und Mitarbeitern, Teile des Artikels widmen sich der Projektorganisation sowie dem Projektmanagement. Ein wesentlicher Bestandteil sind dabei die Voraussetzungen und die Fähigkeiten des systemischen Denkens. Im zweiten Abschnitt dieses Kapitels wird das momentan größte Infrastrukturprojekt Wiens kurz erläutert. Das Projekt trägt den Namen: Linienkreuz U2/U5. Anfangs wird dabei die Notwendigkeit einer solchen Infrastruktur dargelegt. Weiters wird ein grober Überblick der Trasse, sowie der Baumethoden beschrieben. Der zweite Teil der Projektbeschreibung widmet sich der Geologie der Trasse. Wie bei allen größeren Infrastrukturprojekten sind die Zusammenhänge aller Beteiligten komplex und höchst verflochten. Die Projektbeschreibung und die Aufarbeitung der Geologie fallen für das Verständnis der weiteren Arbeit hinreichend genug aus.

4.1 Ganzheitliches Denken bei der Realisierung komplexer Infrastrukturprojekte

Der vollständige Titel des hier beleuchteten Artikels lautet: „Zur Bedeutung des ganzheitlichen Denkens bei der Realisierung von komplexen Infrastrukturprojekten“ [37]. Er wurde vom mittlerweile über einem Jahr verstorbenen Baurat h.c Dipl.-Ing. Dr.mont. Georg-Michael Vavrovsky verfasst. Veröffentlicht wurde dieser zu seinem beruflichen Abschied im ÖGEBAU-Journal 2015. Der Inhalt hat mit der Zeit nichts an Aktualität eingebüßt und zeigt in einer sehr tiefgehenden Weise auf, welche Kompetenzen zur Realisierung von Großprojekten notwendig sind. Der Beitrag versucht, wie auch diese Arbeit, aus dem praxisorientierten Blickwinkel eines Projektmanagers die Bedeutung von systemischem Denken und kontextorientiertes Steuern aufzuzeigen. Ganzheitliches Denken und Handeln beschreibt das Bemühen, die zahllosen Wechselbeziehungen und Wirkungsmechanismen im Bezugsraum *Gesellschaft, Wirtschaft, Natur, Technik und Zeit* zu erkennen und zu bedenken. Zum ganzheitlichen Agieren gehört nicht nur das Verständnis der Zusammenhänge, sondern vor allem auch, die Folgen des eigenen Handelns zu verstehen. Dies wird bereits in der Planungsphase relevant, da die Beeinflussbarkeit der Gesamtkosten in der Anfangsphase am Höchsten ist. Im Allgemeinen befasst sich der Artikel mit sechs Themengebieten, wobei in dieser Arbeit nicht auf jeden Unterpunkt genauer eingegangen werden kann. Der erste Abschnitt beschäftigt sich mit dem systemischen Denken als Erfolgsfaktor bei Großprojekten, im Anschluss nimmt er die Projektorganisation unter die Lupe. Später zeigt er neben den Organisationsformen auch die Wichtigkeit der *systemischen Energie* im Projektmanagement und die Voraussetzungen

und Fähigkeiten zu *systemischen Denken* auf. Abschließend behandelt er den *ganzheitlichen* Weg zum sicheren Ziel und das Streben nach Anerkennung und Erfolg.⁷¹

4.1.1 Systemisches Denken – ein Erfolgsfaktor bei Großprojekten

Großprojekte der Eisenbahninfrastruktur sind heutzutage durch eine Vielzahl an Projektbeteiligten höchst verflochten. Durch unüberschaubare Randbedingungen werden sie schnell zu komplexen Vorhaben. Sie bergen eine Fülle von Unsicherheiten und Risiken und sind folglich zahlreichen nicht planbaren Einflüssen und Auswirkungen ausgesetzt. Durch die konstanten Ungewissheiten sind sie mit den üblichen, meist deterministischen, Managementmethoden nicht mehr zu bewältigen. Herr Dr. Vavrovsky zählt Codewörter auf, die es mit Inhalt zu füllen gilt. Dazu gehören *systemisches Denken*, *kontextorientiertes Steuern*, *eigenverantwortliches* und *kybernetisches Handeln* bzw. *Entscheiden*. Das von außen vorgegebene Ziel ist auch in komplexen Situationen nicht das richtige Instrument, um die gestellten Anforderungen zu meistern. Vielmehr ist es der Weg der die Aufgabe erfolgreich abschließen lässt. Diesen Weg gilt es stets aufs Neue zu evaluieren und neu zu kreieren. Beeinflusst wird die Gestaltung von konkreten Rahmenbedingungen und Umständen. Angesichts erfolgreich abgewickelter Projekte stellt sich die Frage nach den Erfolgsfaktoren. Sind es die Grundlagen und Konzepte derartiger Projektabwicklungen? Um darauf eine Antwort zu geben, wird im nächsten Abschnitt das Führungs- und Organisationsverständnis aufgearbeitet und der Blick auf die Strategie der ganzheitlichen Vorgehensweise gerichtet.⁷¹

4.1.2 Systemisch-kybernetische Projektorganisation

Der Autor des Beitrag stützt sich auf eine Aussage von *Pinnow* in Unternehmensorganisationen der Zukunft [30] und behauptet, dass der erfolgreiche Umgang mit der Komplexität der Infratrurprojekte ein Umfeld benötigt, in welchem sich systemisches Denken entwickeln und entfalten kann. In erster Linie ist das ganzheitliche Projektinteresse über das Einzelinteresse zu stellen und das in allen Phasen und Belangen. Dauerhafter Projekterfolg für das Projektmanagement ist direkt mit Selbstorganisation und partnerschaftlichen Vertrauen verbunden. Im modernen Projektmanagement finden Fremdbestimmungen und hierarchische Strukturen keinen Platz mehr. In zukünftigen Führungs- und Managementsystemen wird es immer wichtiger auf individuelle Erfahrung jedes Einzelnen zu bauen, denn nur so können die sich ständig wandelnden Einflüsse erfolgreich bewältigt werden. Als einen Schlüsselfaktor für erfolgreiches Projektmanagement nennt der Autor des Beitrages, die individuellen Entscheidungen innerhalb schützender Ufer nicht nur zuzulassen, sondern aktiv zu fördern. Voraussetzung dafür schafft die Freiheit von eigenständigen Denken und verantwortlichen, kybernetischen Handeln. Ganz nach dem Motto des Bergsteigers *Paul Preuß*:

„Das Maß des Könnens bestimmt die Grenzen des Dürfens!“

Individuelle Erfahrung jedes Einzelnen hilft unvorhersehbare Situationen zu meistern. Ein Erfolgsrezept für eine solche systemische-kybernetische Führung ist das Vertrauen. Das Vertrauen in Können und Erfahrung seines selbst, sowie der anvertrauten Projektpartner. Somit werden Wertschätzung, Motivation und Selbstbewusstsein gestärkt. Entscheidend dafür ist ein regelmäßiges Feedback und ständige kritische Reflexion aller Beteiligten. Dies birgt eine Vielzahl an Chancen, aber auch Risiken. Laut dem Autor überwiegen hierbei die Chancen und es lohnt sich die Risiken in Kauf zu nehmen. Die systemische Führung stützt sich auf Kompetenzen abgeben und Aufgaben delegieren. Dies erfordert Mut, aber es hat weniger mit Mut zu tun als

⁷¹Vgl. [37] Vavrovsky, S. 191 ff.

mit Erfahrung und begründeter Erwartung. Loslassen und nicht immer eingreifen wollen, das erfordert den tatsächlichen Mut.⁷¹

Das Ergebnis sollte sein, andere zielstrebig zu fördern und dabei selbst im Hintergrund zu bleiben. Der Erfolg über komplexe Aufgaben ist die Belohnung jedes einzelnen.

4.1.3 Systemische Energie im Projektmanagement

Neben den geeigneten Projektorganisationen und dem Vertrauen in jene, die einem zur Führung anvertraut sind, gilt es noch eine Energie zu fördern, die sich nicht an schnelllebigen Erfolg orientiert, sondern an nachhaltigen Zielen. Diese Energie lässt sich mit der Fähigkeit und dem Willen zu ganzheitlichem Denken und Handeln vergleichen. Es benötigt dafür eine Kompetenz die vom ständigen Bemühen, die Wechselbeziehungen und Wirkungsmechanismen im mehrdimensionalen Bezugsraum zu ergründen und zu bedenken, lebt. Die Dimensionen des erwähnten Bezugsraumes bestehen laut Baurat h.c Dipl.-Ing. Dr. mont. Georg-Michael Vavrovsky [37] aus ..., *Gesellschaft, Wirtschaft, Natur, Technik, Zeit und Mensch...*. Systemische Qualifikation als Kernkompetenz im modernen Projektmanagement, ist die Fähigkeit in komplexen Systemen die Übersicht zu bewahren, sowie die Folgen des eigenen Handelns zu erkennen. Die eingangs erwähnte Energie ist oftmals erforderlich, um im *Nebel der Zukunft* verschleierte Ziele zu erkennen und zu erreichen. Kurzsichtige Interessen und eng gesteckte Ziele, wie vorgegebene unrealistische Termin- und Kostenziele, verzerren häufig die Realität und somit die Gesamtübersicht. Der Erfolg eines Projektes liegt nicht in der Summe der Einzelleistungen, sondern lebt von der Begeisterung am Projekt, die über einen längeren Zeitraum von den Projektbeteiligten eingebracht wird. Am Ende eines fertiggestellten Projektes wird man nie feststellen können, welche einzelnen Handlungen zu Erfolg oder Misserfolg führten. Somit ist der Projekterfolg untrennbar und das Eigentum aller Mitwirkenden.⁷¹

Die Frage die sich der Autor an dem Punkt stellt ist, wo liegen die Motivationsquellen aller Projektbeteiligten verborgen. Zum Einen ist es mit Sicherheit die Begeisterung eines Ingenieurs, gedachtes in Realität umzusetzen. Weiters ist es der menschliche Wunsch, dem Leben wertstiftenden Inhalt zu geben und mit den geborgenen Ressourcen nachhaltig umzugehen. Aber reicht dieser emotionale Antrieb aus oder bedarf es an weiterer Energie?

4.1.4 Voraussetzungen und Fähigkeiten zu systemischem Denken

Der Wille und die Energie allein sind nicht ausreichend für das ganzheitliche Denken und Handeln. Es bedarf hierzu eine Fülle an emotional-kognitiven Voraussetzungen. Die Grundlage dafür ist in jedem Persönlichkeitsprofil verankert. Sich neue Fähigkeiten anzueignen ist nur mit sehr viel Geduld und Mühe verbunden. Die fünf Wichtigsten hat der Autor von *Barbara Guwak* und deren Arbeit *„Die neuen Aufgaben dieser Welt“* übernommen und diese lauten wie folgt:⁷¹

- **Identitätsbewusstsein:** Bedeutet sich im klaren um die eigene Besonderheit zu sein. Sich ändern und anpassen zu können und trotzdem mit sich selbst identisch zu bleiben. Sie gilt als Voraussetzung für Flexibilität und Veränderungsfähigkeit.
- **Beziehungsfähigkeit:** Ein Merkmal dafür ist, Emotionen wie Vertrauen ausdrücken zu können, aber auch befähigt sein zu Kommunizieren – sich zu öffnen. Empfinden für Empathie und Authentizität sind immanent.
- **Signalresonanz:** Signalresonanz ist die sensible Aufmerksamkeit unbedeutende Signale wahrzunehmen, bewerten, vermitteln und darauf taktvoll reagieren zu können. Die Besonderheit Chancen zu erkennen und für verschiedenste Sichtweisen offen zu sein.

- **Ambiguitätstoleranz:** Aushalten von Ungewissheit, in anderen Worten, ist es die Fähigkeit mit widersprüchlichen Informationen umgehen zu können. Folglich die Kompetenz die Handlungs- und Entscheidungsfähigkeit in unsicheren Situationen beizubehalten.
- **Resilienz:** Beschreibt die Widerstandskraft gegen Fehlschläge und Aussichtslosigkeit. Im Gegenzug bedeutet das in schwierigen Situationen, in Krisen und bei Veränderungen handlungsaktiv zu bleiben.

Das persönliche und soziale Umfeld beeinflussen die Ausprägung dieser Kompetenzen. Sie entfalten sich mit den Erfahrungen des Lebens. Personen, die mit der ambitionierten Fürsorge ihrer Eltern aufgewachsen sind, besitzen eher das Vermögen sich diese Fähigkeiten anzueignen als andere.

Ganzheitliches Agieren stützt sich darüber hinaus auch noch auf kognitive Fähigkeiten. Kognitive Fähigkeiten sind gezielt erlernbar und sollten deshalb aktiv gefördert werden. Für die Erläuterung der Verhaltenszüge für vernetztes Denken bezieht sich der Autor auf das von *Jürgen Honegger* geschriebene Buch: *Vernetztes Denken und Handeln in der Praxis* [13]. Für diese Beschreibung bedient er sich an weiteren fünf Fähigkeiten die das ganzheitliche Denken und Handeln fördern.⁷¹

- **Öffnung des Blickwinkels:** Tritt ein Problem auf, gibt es meistens mehrere unterschiedliche Sichtweisen. Nur ein offener Blickwinkel ermöglicht eine Zerschneidung, derartiger Sichtweisen und Perspektiven.
- **Verständnis für Zusammenhänge:** Ein Problem nachzuvollziehen bedingt ein hohes Verständnis an Komplexität. Mehrere Ursachen können vielfältige Auswirkungen auslösen und die gilt es im Vorfeld zu Erkennen und deren Wirkungsgefüge zu verstehen.
- **Verständnis für Eigendynamik:** Wechselbeziehungen sind stets von einer eigenen Dynamik geprägt. Möglichkeiten abzuwägen und flexibel zu agieren hilft sich in bewegenden Systemen zurechtzufinden.
- **Geduld und langfristiges Denken:** Nachhaltiges Denken spielt bei langfristigen Entscheidungen eine wesentliche Rolle. Häufig treten Wechselwirkungen erst nach langer Zeit auf und deshalb sind Rückkopplungen im Vorfeld zu analysieren und ins aktuelle Handeln mit einzubeziehen.
- **Verständnis für begrenzte Plan- und Machbarkeit:** Berechnungen bedienen sich an Angaben. Voraussetzung dafür sind genügend Informationen. Bei komplexen, sich dynamisch verändernden Systemen existieren nicht genügend Angaben um eine Bilanz zu ziehen. Es bleibt daher stets eine Unsicherheit bestehen, mit der es gilt umzugehen.

Unentbehrlich bleibt es also seine Mitarbeiter, ihre Begeisterung zum Projekt, aber auch die in diesen Abschnitt erläuterten emotionalen-kognitiven Fähigkeiten zu fördern. Die Qualität der Führung wird nicht in Zahlen gemessen, sondern wird am sozialen Wohlstand der Mitarbeiter erkenntlich sein.

4.1.5 Auf ganzheitlichen Wegen sicher ins Ziel

Große Infrastrukturprojekte sind geprägt von Jahre langen Projektphasen und es ist nicht ungewöhnlich, dass von der Projektidee bis zur Inbetriebnahme Jahrzehnte vergehen. Zu dem Zeitpunkt der Projektstartphase ist noch kein Ziel bekannt und es wird erst im Zuge derer definiert.

Eines kann man Allgemein über die Ziele sagen. Als uneingeschränktes Ziel gilt, die erfolgreiche Inbetriebnahme einer Anlage in Anbetracht relevanter Anforderungen mit einem möglichst effizienten Ressourcenmanagement. Werden Infrastrukturprojekte in öffentlichem Auftrag errichtet, ist es essentiell die Bedürfnisse über Generationen hinweg zu beachten. Am Start des Projektes kann man zwar das Ziel definieren, doch man kennt eine ganze Menge an Anforderungen und Ansprüchen noch nicht. Im Laufe des Projektes werden immer mehr Projektbeteiligte eingebunden. Die Interessen und Einwendungen, sowie die Auswirkung dieser, sind zu diesem Zeitpunkt unbekannt. Somit ist es von Beginn an ein Auftrag zum ganzheitlichen Agieren. Das systemische Denken und Handeln hilft dem Projektmanagement den Weg zum Ziel zu finden. Der gesuchte Pfad ist jener mit den geringsten materiellen und immateriellen Ressourcenverbrauch. Abhängig von der gegebenen Situation, kann man auf die individuelle Erfahrung oder auf die Erfahrung des Teams bauen. Dabei ist es wichtig das fernliegende Ziel nicht aus den Augen zu verlieren und die kurzfristigen Handlungen nachhaltig abzuwägen, sonst können Zeit, Kosten und Ziele mitunter schnell aus dem Ruder laufen. Denn der unmittelbare Erfolg am Beginn entpuppt sich oft als Fehlschlag am Ende.⁷¹

4.1.6 Streben nach Anerkennung und Erfolg

Der Erfolg ist immer eine Frage des Bezugssystems. Ein Unternehmensmanager zum Beispiel misst sich an den Erwartungen des Eigentümers. Ein Projektmanager hingegen muss den Vorstellungen des Auftraggebers, sowie die Bedürfnisse der Gesellschaft erfüllen. Weiters gehören zum Erfolg eine termin-, kosten- und qualitätstreue Übergabe des Werkes, sowie die Abhandlung der Bautätigkeiten in einem ressourcenschonenden und sicheren Umfeld durchzuführen. Wie im vorherigen Abschnitt betont, sind nicht die kurzfristigen Betrachtungen von Bedeutung, sondern gilt es eine nachhaltige und bleibende Akzeptanz zu schaffen. Der wesentliche Schlüssel für einen erfolgreichen Projektabschluss sind Sachlichkeit und Ausgewogenheit sowie ein wertschätzender und ehrlicher Umgang mit den Projektmitarbeitern. In der Regel ist systemisches Handeln und Denken mühevoll, zeitaufwendig und unspektakulär und im Streben nach rascher Anerkennung und Erfolg ist das ganzheitliche Agieren hindernd und störend. Ganzheitliches Denken wird daher ohne ehrliches Bemühen um das Verständnis und der Interessen aller Beteiligter nicht funktionieren.⁷¹

Abschließend kann festgehalten werden, dass systemisches Handeln auf allen Ebenen eine radikale Umkehr des Denken mit sich bringt. Für das ganzheitliche Agieren muss sich der Blickwinkel von Einzel- bzw Gruppeninteresse, den nachhaltigen Gemeinschaftsverhalten und der unterstützenden Kooperation fügen. Das fordert neben der fachlichen Kompetenz eine Fülle an emotionalen und sozialen Fähigkeiten. Es lässt sich nur vermuten, aber die ureigene Prägung des Menschen könnte diesen Ansprüchen vielfach im Wege stehen.

4.2 Das größte Infrastrukturprojekt Wiens

Dieser Abschnitt teilt sich in zwei Teile. Der erste behandelt die Einführung in das momentan größte Infrastrukturprojekt in Wien und der zweite Teil widmet sich der zu durchörternden Geologie der Trasse. Dieser Abschnitt soll einerseits die prinzipiellen Schwierigkeiten und Randbedingungen eines komplexen Infrastrukturprojektes aufweisen. Andererseits soll er ein Einblick in ein großen österreichischen Infrastrukturprojekt geben. Wichtig ist hierbei zu erwähnen, dass es im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich ist, eine detaillierte Beschreibung des Projektes sowie der geologischen Bedingungen darzulegen.

4.2.1 Projektbeschreibung

Für Wien ist es seit den 1990er Jahren das erste Mal, dass U-Bahn-Bauarbeiten in der Innenstadt stattfinden. Die Bevölkerung der Stadt Wien wächst und die öffentlichen Verkehrsmittel, um den Wachstum der Stadt gerecht zu werden, wachsen mit. Zum jetzigen Zeitpunkt nutzen jährlich knapp eine Milliarde Fahrgäste das Netz der Wiener Linien. Das Linienkreuz U2xU5 wird in zwei Baustufen realisiert und verlangt nach einer akribischen Planung. Laut Prognosen sollen bis 2030 über zwei Millionen Menschen in Wien leben. Damit die Stadt so lebenswert bleibt, haben sich die öffentlichen Verkehrsbetriebe in Zusammenarbeit mit der Stadt Wien entschieden ein Jahrhundertprojekt auf Schiene zu bringen. Die Abb. 4.1 zeigt einen Übersichtsplan der neuen Stationen der ersten Baustufe, sowie deren Herstellungweise.⁷²

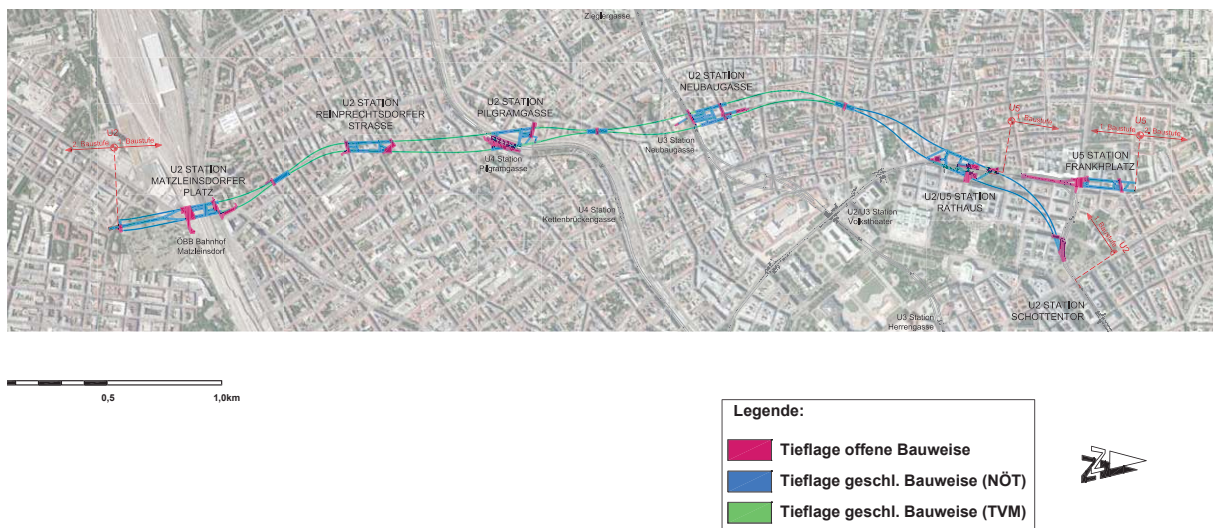


Abb. 4.1: Übersichtsplan (Quelle: Planungsteam U5NEU2 [31])

Die erste Baustufe des Linienkreuzes umfasst 5 km Tunnel und sechs neue U-Bahn-Stationen. Davon wurden drei Stationen als U-Bahn-Kreuzungsstationen konzipiert, die den Fahrgaststrom gleichmäßig in der Stadt verteilen sollen. Zwei der sechs Stationen werden als ganzheitlicher Neubau errichtet und die Station Matzleinsdorfer Platz ist der dritte S-Bahn-Knoten neben dem Hauptbahnhof und dem Bahnhof Meidling.⁷²

2018 mussten die zwei ausgeschriebenen Vergabepakete für die umfangreichen Rohbau und Tunnelbauarbeiten aufgehoben werden. Nach einer Neukonzeptionierung und Optimierung des Verfahrens wurde das technisch und wirtschaftlich beste Angebot gefunden. Die Bauarbeiten dieses voluminösen Projektes sind Anfang 2021 gestartet.⁷³

Ein grober Umriss der Bauarbeiten im Zuge des Projektes kann wie folgt beschrieben werden. Die Stationsschächte werden konventionell in offener Bauweise errichtet. Die Streckenröhren, Querschläge und Fahrtreppentunnel werden im zyklischen Vortrieb aufgeföhren. Hierbei kommt die NÖT zum Einsatz. Die Streckentunnel zwischen den Stationen werden mit einer Tunnelvortriebsmaschine aufgeföhren. Dabei wird die TVM durch die bereits hergestellten Stationsschächte gezogen. Dies entspricht einer Länge von ungefähr 2 mal 2,75 km inklusive der Stationsdurchfahrten. Nach einer umfassenden Analyse ist dies das Ergebnis der wirtschaftlichsten und sichersten Vorgehensweise für die gegebenen Randbedingungen.⁷³

⁷²Vgl. [38] Wiener Linien, S. 3 ff.

⁷³Vgl. [14] Hrunek und Spiegl, S. 179 ff.

4.2.2 Die Geologie der Trasse

Für die Wahl der richtigen Baumethode, ein Projekt wie das Linienkreuz U2/U5 in Wien abzuwickeln, sind viele Vorarbeiten und Voruntersuchungen notwendig. Das Konzept basiert auf den Ergebnissen der Baugrunduntersuchungen des Jahres 2014. Diese umfassen 38 Rammkernbohrungen entlang der Trasse mit Tiefen von über 50 m. Zu den Bohrungen gehören unter anderem auch bodenphysikalische und bodenchemische Untersuchungen, Pumpversuche und Kampfmittelerkundungen. Mit Hilfe dieser Daten und weiteren 380 Bohrungen aus dem Baugrundkataster wurde ein 3 dimensionales geologisches Modell erstellt. Auf die Wahl der Trassierung hat unter dem geologischen Aspekt, auch die *"Vorschrift über Abstände und Abmessungen für Gleisanlagen mit Stromschienenbetrieb bei der Wiener U-Bahn"*, also die Lichtraumvorschrift des Eisenbahngesetzes 1957 [3], Einfluss. Die Luftraumvorschrift, sowie die statisch-konstruktiven Erfordernisse bestimmen hauptsächlich die Querschnitte der Tunnelbauwerke. Die Ausbaugeswindigkeit hingegen beeinflusst weitgehendst die Trassierung im Grundriss und im Aufriss. Ein weiteres spezifisches Kriterium der Wiener U-Bahn erschwert die Auswahl der Tunnelbautechnik. Für Aufweitungsbereiche in den Streckentunnels sind die Verbindungsbauwerke für die Gleisverbindung verantwortlich. Diese müssen mit Weichen und Gleisbögen mit einem Mindestradius von 190 m ausgestattet sein, um bei einer Störung einen regelmäßigen Betrieb aufrecht zu erhalten.

Die zu realisierende U-Bahn-Trasse durchquert diverse geografische Bereiche Wiens. Von Süden kommend unterquert die U2-Trasse den Matzleinsdorfer Platz und fällt durch den 5. Bezirk bis zum Wiental ab. Von dort aus steigt das Gelände steil an und gleichzeitig die Trasse. Im 7. Bezirk verbleibt Sie auf etwa gleicher Höhenlage bis sie hinter dem kanalisierten Ottakringer Baches wieder Richtung Rathaus abfällt. Folgende Schichten werden im Zuge der Trassenrealisierungen durchörtert.⁷⁴

- Miozän: Ablagerungen des Wiener Beckens
- Quartär: Ablagerungen der pleistozänen Terrassen (Arsenal- und Stadtterrasse)
- Quartär: Rezente Bachschotter oder Donauschotter

Die Abb. 4.2 zeigt den geologischen Längsschnitt des Gleis 1 der Linie U2. Es ist deutlich erkennbar, dass der Großteil der Trassenführung in den miozänen Ablagerungen des Wiener Beckens verläuft. Diese Ablagerungen bestehen generell aus feinkörnigen Sedimenten, mit nur vereinzelten Einschaltungen von Sanden und Kiesen. Pauschal kann man sagen, dass aufgrund konstanter geologischer Bedingungen und der feinkörnigen Zusammensetzung des Bodens eine geschlossene Erddruckschild-Vortriebsmaschine gewählt wird. Im Bereich Neustiftgasse tritt die Strecke in pleistozäne Terrassen, die von Schwemmfächerbildungen, Lössen oder Lösslehmen bedeckt sind, ein. Die Terrassen lagern meist auf Quarzkiesen oder direkt auf dem Miozän auf. Ein wesentlicher Entscheidungsfaktor für den Wechsel der Vortriebsmethode in diesem Bereich war nicht nur der Wechsel der geologischen Schichten, sondern die wasserführenden Schotterschichten.

⁷⁴Vgl. [31] Planungsteam U5NEU2, S. 41 ff.

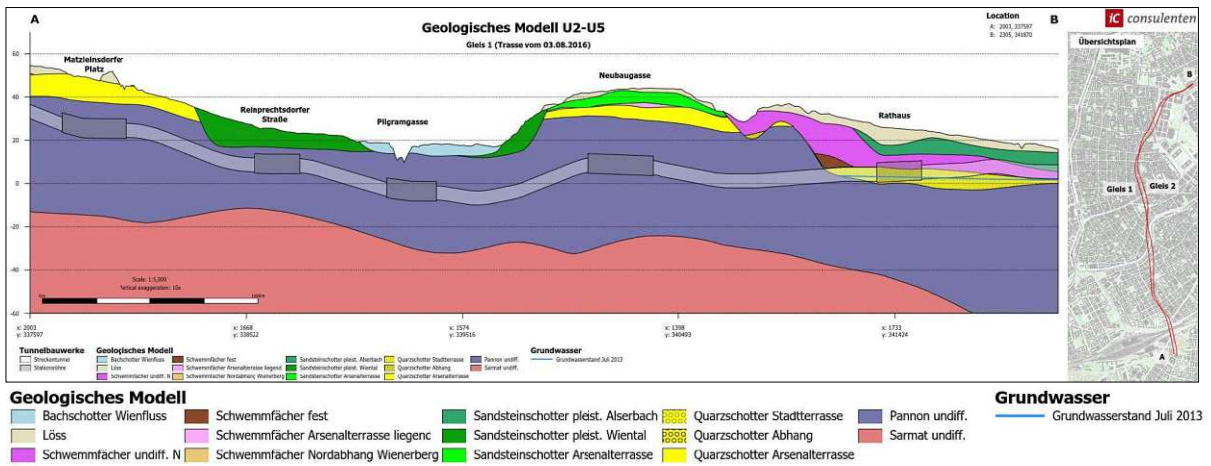


Abb. 4.2: Geologischer Längsschnitt (Quelle: Planungsteam U5NEU2 [31])

Kapitel 5

Risiken im Tunnelbau

Dieses Kapitel widmet sich als erstes der Risikoerfassung laut Anhang der ÖGG – Richtlinie [24]. Hier wird beispielhaft das Richtwertverfahren mit Inhalt befüllt und im Anschluss eine Einzelrisikobewertung durchgeführt. Um bei den Risiken im Tunnelbau einen Überblick zu behalten, wird in tabellarischer Form die Zusammenstellung dargestellt. Die Risiken werden dabei in ihren Untergruppen unterteilt. Die Untergruppen bestehen jeweils aus drei verschiedenen Risiken. Jede Ursache und Auswirkung eines aufgenommenen Risiko wird verbal beschrieben. Um im Anschluss eine quantitative Bewertung durchführen zu können, muss vorher der Beste Fall, der erwartete Fall und der schlimmste Fall wiederum verbal beschrieben werden. Auf Basis dieser Beschreibung wird das Risiko deterministisch bewertet und mit einer computerunterstützten Software probabilistisch ausgewertet. Nach jeder Untergruppe und am Ende der Risikobewertung werden die deterministischen Zahlen mit den probabilistischen Berechnungen gegenübergestellt.

5.1 Die generische Risikoidentifikation – Quantitative Risiko-Analyse

Die ÖGG – Richtlinie [24] stellt im Anhang Vorlagen zur Verfügung, die zur Berechnung des Risikozuschlag in Abhängigkeit des Projektfortschrittes dienen. Anfangs wird der Prozess zur Berechnung des pauschalen Zuschlag mittels Richtwertverfahren aufgearbeitet. Nach der Befüllung des Datenblattes "Richtwertverfahren", steht dem Auftraggeber die Entscheidung frei, ob dieses Verfahren ausreichend war oder ob es notwendig ist ein Verfahren mit Einzelrisikobewertung durchzuführen. In diesem Abschnitt werden zur Erläuterung des Prozesses beide Verfahren aufgezeigt.

Die Abb 5.1 stellt das Datenblatt „Richtwertverfahren“ dar. Dieses dient zur Bestimmung des pauschalen Risiko-Zuschlags. Es besteht im groben aus drei Teilen, wie in der Abb. 3.4 im oberen Abschnitt ersichtlich ist.

1. Komplexität des Projektes
2. Bewertung des aktuellen Projektprofils
3. Erfassung identifizierter Einzelrisiken

5.1.1 Das Richtwertverfahren

Datenblatt zum Richtwertverfahren

Moderator		Datum		Bemerkungen		Blatt		
Simon Werner		29.06.2021				1		
Projekt		a Infrastrukturprojekt						
Teilnehmer		b Teilnehmer z.B.: Projektleiter, externe Planer, externe Riskmanager						
Projektphase		c <input type="checkbox"/> Start <input type="checkbox"/> Entwicklung <input checked="" type="checkbox"/> Vorprojekt <input type="checkbox"/> Genehmigung <input type="checkbox"/> Ausschreibung						
Projekteigenschaften	Projekttyp / Baugrundeinfluss						Baugrundeinfluss	
	<input type="checkbox"/>	Projekt mit geringem Baugrundeinfluss auf Projekt-Ziele (wie z.B. Bauwerksinstandsetzung, Umbau von Straßen, Kreuzungen, Kreisverkehr, Abbiegespuren, etc.)				d		0% bis 20%
	<input type="checkbox"/>	Projekt mit moderatem Baugrundeinfluss auf Projekt-Ziele (wie z.B. Straßenaus/neubau, Ersatz von Brücken und Mauern, Schutzbauten, Böschungssicherungen etc.)						> 20% bis 50%
<input checked="" type="checkbox"/>	Projekt mit hohem Baugrundeinfluss auf Projekt-Ziele (wie z.B. Tunnel und Galerien, etc.)						> 50%	
Komplexität des Projekts		1		<input type="checkbox"/> gering	<input type="checkbox"/> moderat	<input checked="" type="checkbox"/> hoch	<input type="checkbox"/> sehr hoch	
						e		

Abb. 5.1: Datenblatt Richtwertverfahren (Quelle: ÖGG - Austrian Society for Geomechanics [24, Anlage])

Diese Datenblatt wird systematischen nach der Buchstabierung ausgefüllt. Als aller erst wird die Kopfzeile mit Moderator, Datum, Bemerkungen und Blatt Nummer versehen. Im Anschluss wird der Projektnamen und die Teilnehmer, die bei der Befüllung mitwirken, festgehalten. Als drittes wird gemäß Abb. 3.1 die Phase des Projektes gewählt. Darauffolgend wird der Baugrundeinfluss des Projektes bewertet. Da in unserem Beispiel ein innerstädtisches Infrastrukturprojekt simuliert wird, besteht der Baugrundanteil mehr als 50 % des Projektes. Als letztes wird in diesem Abschnitt die Komplexität des Projektes eingeschätzt. Hier gilt pauschal die Höhe der prognostizierten Projektkosten, die öffentliche Wahrnehmung, die Anzahl zusammenwirkender Komponenten und die Terminalschiene zu berücksichtigen.

Der dargestellte Farbcode zieht sich durch die ganze Risikobewertung und ist in Abb. 5.1 verbal beschrieben. Diese Beschreibung wird auch im nächstem Abschnitt benötigt.

5.1.2 Bewertung des Projektprofils

Die Bewertung des aktuellen Projektprofils erfolgt in zwei Schritten. Als erstes werden die Unterkategorien nach dem Risikopotenzial bewertet und anschließend wird die Bewertung der Hauptkategorien auf Basis der zusammenfassenden Bewertung der Unterkategorien durchgeführt. Die Aussage über das Projektprofil wird in der Anlage der ÖGG durch sieben übergeordnete Parameter beeinflusst. Jede Unterkategorie wird nochmals in drei bis acht Eigenschaften aufgeteilt.

1. Bewertung der Unterkategorien nach Risikopotential 2. Bewertung der farbigen Hauptkategorien (gemeinsam durch das Team)

2 Bewertung des aktuellen Projektprofils	Projekt-Grundlagen	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	Projektabgrenzung eindeutig definiert	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	Projektziel unmissverständlich definiert	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	Realistische Terminplanung	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	Plan für Grundstück/Liegenschaften-Erwerb	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	Kostenermittlung	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	Preisbasis einheitlich und durchgängig	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein <input checked="" type="checkbox"/>
	Ermittlungstiefe entsprechend Planungsstatus	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	Strukturierung nach NORM vorhanden	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>
	Strukturierung nach Objekten vorhanden	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein <input checked="" type="checkbox"/>
	Beteiligungen Dritte enthalten und ausgewiesen	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	Herleitung der Kostenansätze ausreichend dokumentiert	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Abgrenzung von Prognosekosten und IST-Kosten vorhanden	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>	
Einzelrisikobetrachtung vorliegend	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein <input checked="" type="checkbox"/>	
Projektumfeld	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Risiken aus bestehenden Objekten (Altlasten)	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Akzeptanz durch Öffentlichkeit	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Infrastrukturelle Grundversorgung des Projekts	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Änderungen von Regelwerken	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Planungstiefe	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Qualität der vorhandenen Bestandsunterlagen	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	
Qualität der vorliegenden Vermessung	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Qualität der vorliegenden Verkehrsuntersuchungen	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Qualität des vorliegenden Bauzeitenplans	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Genehmigung	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Behördliche Bewilligungen adäquat zum Projektstatus	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Zeitgerechte Erfüllung der UVP Auflagen	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Einflüsse durch Einsprüche zu erwarten	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Baugrund	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Status Baugrunderkundungen	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Vorausschaubare Schwierigkeiten durch Baugrund (inkl. Grund- und Bergwasser)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	
viele Störzonen	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	
Intern und Vertragspartner	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Interne Ressourcen	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Projektorganisation	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Qualität/Qualifikation der Dienstleister (Planung, ÖBA, etc.)	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Qualität/Qualifikation der ausführenden Unternehmen	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Kommunikation im Projektteam	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	

Abb. 5.2: Datenblatt zur Bewertung des aktuellen Projektprofils (Quelle: ÖGG - Austrian Society for Geomechanics [24, Anlage])

Die ÖGG sieht in diesem Abschnitt des Datenblattes eine Besonderheit bei der Unterkategorie „Baugrund“ vor. Hier ist eine extra Zeile für projektspezifische Bodeneigenschaften freigehalten, damit das Team der Eingangs festgehaltenen Teilnehmer die spezifische Bodenbesonderheit festhalten und bewerten kann. In diesem Beispielprojekt wurden exemplarisch die viele Störzonen genannt und bewertet. Wichtig ist bei der Befüllung die vorgegebenen Schritte einzuhalten und erster die weißen Felder zu bewerten und im Nachgang die farbigen Felder auszufüllen. Des öfteren kann die Bewertung der weißen Felder nicht eindeutig einer Farbe zugeordnet werden. Es obliegt dem Projektteam, ob ein neues Datenblatt aufbereitet werden muss oder ob die erste Beurteilung abgeschätzt und einer Farbe zugeordnet wird. Im nächsten Abschnitt werden die Einzelrisiken mit dem gleichen Prinzip des Risikopotenzials beschrieben und bewertet.

5.1.3 Erfassung identifizierter Einzelrisiken

Im dritten Teil des Richtwertverfahren werden Einzelrisiken mit einem aussagekräftigen Stichwort versehen und eine kurze Beschreibung festgehalten. Weiters wird jedes Risiko nummeriert, um die Nachverfolgung besser gewährleisten zu können. Abschließend wird jedes Einzelrisiko nach dem Farbschema beurteilt.

3 Erfassung identifizierter Einzelrisiken	
<i>Einzelrisiko (Stichwort und Beschreibung)</i> lokales Ortsbrustversagen - Während dem Vortrieb werden nicht erkannte Brunnen oder technische Einbauten angetroffen.	Nr. 01Z Einschätzung Relevanz
<i>Einzelrisiko (Stichwort und Beschreibung)</i> Vortriebsklassenverschiebung - Sandlinsen und inhomogene Stellen könnten die Situation verschlechtern.	Nr. 02Z Einschätzung Relevanz
<i>Einzelrisiko (Stichwort und Beschreibung)</i> bergmännische Unterquerung - Unterquerung eines Entlastungskanal mit geringer Überdeckung.	Nr. 03Z Einschätzung Relevanz
<i>Einzelrisiko (Stichwort und Beschreibung)</i> Verklebung TVM - Schild Anhaftungen bei Abbau-, Förder-, Transportwerkzeuge	Nr. 01K Einschätzung Relevanz
<i>Einzelrisiko (Stichwort und Beschreibung)</i> Ausfall Ortsbruststützung TVM-Vortrieb Durch unkontrollierten Bodeneintrag kann es zu Nachbrüchen oder Niederbrüchen kommen	Nr. 02K Einschätzung Relevanz
<i>Einzelrisiko (Stichwort und Beschreibung)</i> Hebungsinjektionen (Herstellung und Betrieb) Hindernisse und Altlasten können Sprüschatten verursachen	Nr. 01S Einschätzung Relevanz
<i>Einzelrisiko (Stichwort und Beschreibung)</i> Kampfmittelräumung Auffinden von Explosionsgefährdeten Körper in Baubereich	Nr. 02F Einschätzung Relevanz
<i>Einzelrisiko (Stichwort und Beschreibung)</i> Unzureichende Absenkwirkung Die Grundwasserentspannung erfolgt nicht wie geplant	Nr. 01G Einschätzung Relevanz

Abb. 5.3: Datenblatt zur Erfassung identifizierter Einzelrisiken (Quelle: ÖGG - Austrian Society for Geomechanics [24, Anlage])

Reicht dem Auftraggeber die Detaillierung der Einzelrisiken und deren Bewertung nicht aus, so wird anschließend das Verfahren mit Einzelrisikobewertung durchgeführt. Doch bevor diese Entscheidung getroffen werden kann gibt es noch den zusammenfassenden Teil des Richtwertverfahrens.

5.1.4 Zusammenfassung und Konsequenzen

Am Ende des Datenblatt werden alle drei bewerteten Kriterien zusammengefasst und unter Punkt *a* die übergeordnete Bewertung eingetragen. Diese Entscheidung resultiert aus den vorhin

bewerteten Kriterien. Im Anschluss muss mit der Abb. 5.4 verglichen und ein Prozentsatz gewählt werden. Dieser Prozentsatz gibt den pauschalen Risiko-Zuschlag auf die Basiskosten an. Unter Punkt c kann der Auftraggeber entscheiden, ob der pauschale Zuschlag ausreichend ist oder ob das Verfahren zur Einzelrisikobewertung herangezogen werden soll. Die Anmerkungen und Begründungen zu dieser Entscheidung müssen festgehalten werden.

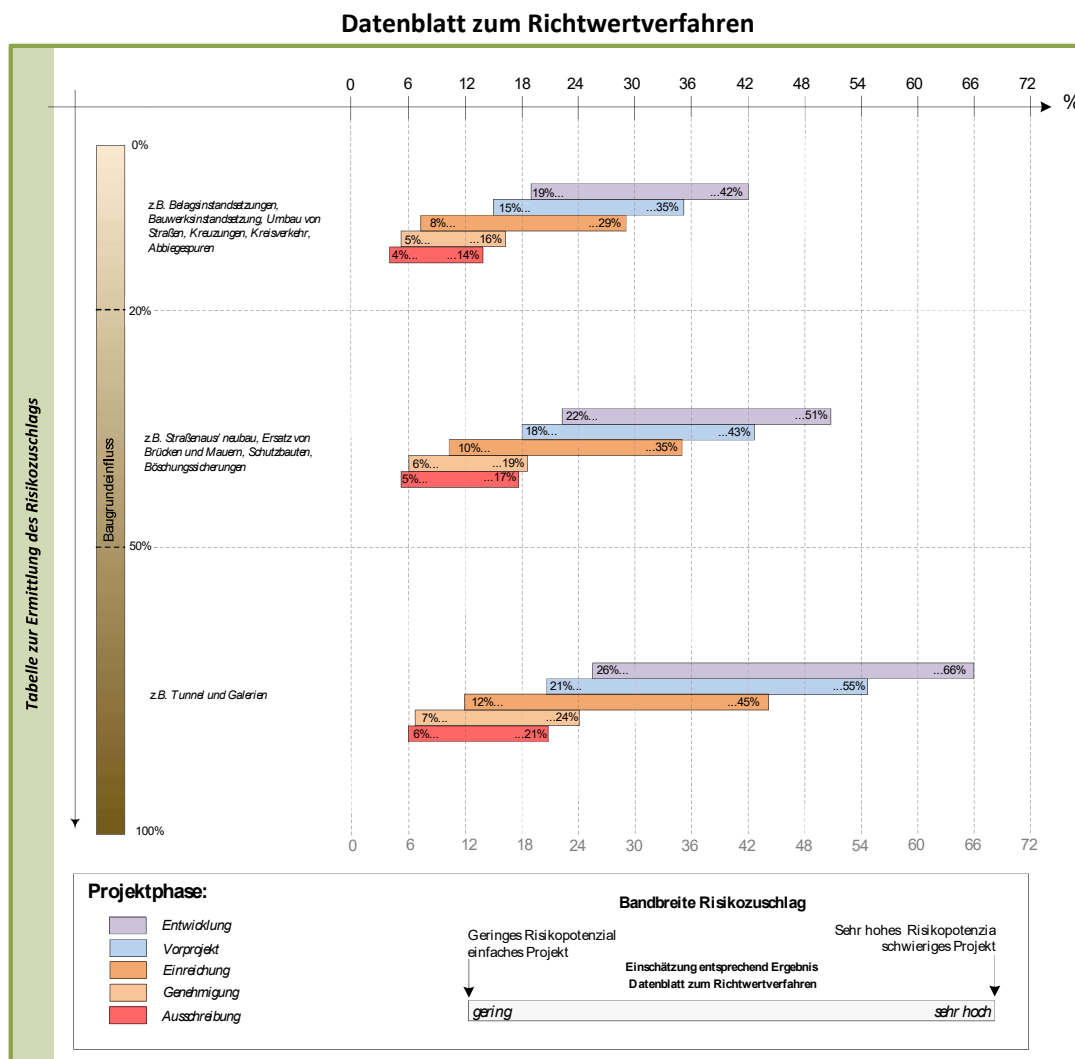


Abb. 5.4: Bestimmung des pauschalen Risikozuschlags (Quelle: ÖGG - Austrian Society for Geomechanics [24, Anlage])

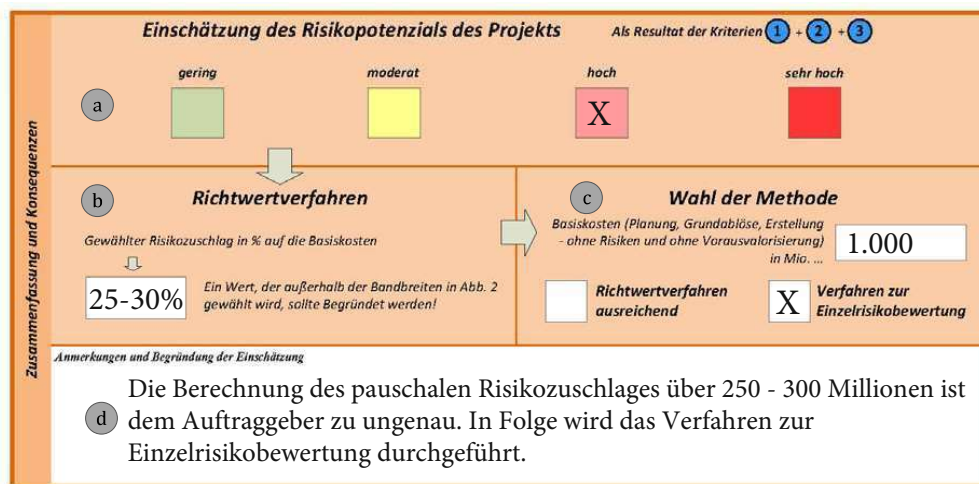


Abb. 5.5: Datenblatt zur Einschätzung des Risikopotenzials des Projekts (Quelle: ÖGG - Austrian Society for Geomechanics [24, Anlage])

5.1.5 Das Verfahren mit Einzelrisikobewertung

In der Zusammenfassung und Konsequenzen wurde das Verfahren für die Einzelrisikobewertung gewählt. In diesem Verfahren wird der Fokus auf die Identifikation, Bewertung und Behandlung von Einzelrisiken gesetzt. Wie im Abschnitt 3.2.3 angedeutet, wird in diesem Teil der Arbeit ein Einzelrisiko nach der ÖGG – Richtlinie [24] behandelt.

Datenblatt Einzelrisiko

Bearbeiter	Simon Werner	Datum	30.06.2021	Vermerke		Blatt	01	
Risiko (Titel/Name) Lokales Ortsbrustversagen								
Risiko-Beschreibung								
						Auswirkung	<input checked="" type="checkbox"/> negativ <input type="checkbox"/> positiv	
Während dem Vortrieb trifft man auf einen nicht im Vorfeld erkannten Brunnen oder unerwartete Einbauten. Das kann zu einer Ortsbrustdestabilisierung und in weiterer Folge zu einen Verbruch führen.								
Zuordnung Risiko-Kategorien (Erläuterungen der Kriterien siehe Tabelle Risiko-Kriterien)								
Risiko-Identifizierung	Nur Planungsphase		Liegenschaften		Vertrag		Projektumfeld	
	<input type="checkbox"/> Planungstiefe	<input type="checkbox"/> Kostenermittlung	<input type="checkbox"/> Liegenschaften	<input type="checkbox"/> Bestelländerung	<input type="checkbox"/> Fehlende/ entfallene Leistungen	<input type="checkbox"/> Mengenabweichung	<input type="checkbox"/> Akzeptanz	<input type="checkbox"/> Intern
	<input type="checkbox"/> Genehmigung	<input checked="" type="checkbox"/> Baugrund	<input type="checkbox"/> Markt	<input type="checkbox"/> Finanzierung	<input type="checkbox"/> Vertragsgestaltung	<input type="checkbox"/> Infrastrukturelle Grundversorgung	<input type="checkbox"/> Externe Schnittstellen	<input type="checkbox"/> Personal
		<input type="checkbox"/> Höhere Gewalt	<input type="checkbox"/> Projektspezifische Sonderfälle		<input type="checkbox"/> Planungsoptimierungen	<input type="checkbox"/> Regelwerke	<input type="checkbox"/> Bestand	<input type="checkbox"/> Organisation
					<input type="checkbox"/> Planungsänderungen	<input type="checkbox"/> Sicherheit		Vertragspartner
					<input type="checkbox"/> Auflagen und Vereinbarungen			<input type="checkbox"/> Schnittstellen
								<input type="checkbox"/> Auftragnehmer
Vorklassifizierung (PHA) (Zutreffendes ankreuzen)								
			<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	Risiko wird weiter analysiert <input type="checkbox"/> NEIN <input checked="" type="checkbox"/>	

Abb. 5.6: Vorklassifizierung Einzelrisiko (Quelle: ÖGG - Austrian Society for Geomechanics [24, Anlage])

Für die im Vorfeld durchgeführte Risiko-Identifikation können mehrere Methoden herangezogen werden. Gängige Methoden sind Brainstorming, Brainwriting Methode 635 oder Brainwriting Pool. Die Vorteile dieser Methoden sind folgende:⁷⁵

- Offener Ideenfluss, eine hohe Anzahl an Ideen kann gesammelt werden
- Assoziationsprozess und Hierachiefreiheit der Gruppe ist gewünscht
- Unterschiedliche Wissenszugänge werden unter geringem Zeitaufwand verschnitten

Nach der Identifikation der Einzelrisiken wird für jedes einzelne Risikos ein Datenblatt ausgefüllt. Im ersten Schritt werden Bearbeiter, Datum, Vermerke und Blattnummer eingetragen. Anschließend wird ein aussagekräftiger Titel gewählt und eine spezifische Beschreibung des Szenarios, der Ursache und Auswirkung festgehalten. Allgemeine Beschreibungen sind zu vermeiden, damit eine Redundanz ausgeschlossen werden kann. Gleich im Anschluss wird die Auswirkung als Gefahr oder als Chance tituliert und das Risiko in eine Risikokategorie eingeordnet. Diese

⁷⁵Vgl. [35] Stempkowski, S. 88

Datenblatt sieht noch eine Vorklassifizierung vor und zu diesem Zeitpunkt wird entschieden ob das Risiko weiter analysiert wird.

Kästchen und Matrix bitte mit folgenden Zeichen ausfüllen: = Bewertung vor Maßnahmen = Bewertung nach Maßnahmen

Risiko hat bei Eintritt Auswirkungen auf ...

Qualitative Analyse	Auswirkungen						Eintrittswahrscheinlichkeit								Relevanz zeitliches Eintreten
	Gebrauchstauglichkeit-Querschnitt	Terräne	Bereitigte / Anrauer	Sicherheit (Safety / Security)	Reparation / Öffentliche Wahrnehmung	Notiz	sehr unwahrscheinlich	unwahrscheinlich	durchaus möglich	möglich	sehr möglich	wahrscheinlich	sehr wahrscheinlich	außerordentlich wahrscheinlich	
keine	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0% - 5%	5% - 15%	15% - 30%	30% - 50%	50% - 70%	70% - 85%	85% - 95%	95% - 100%	<input type="checkbox"/>
gering	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
moderat	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
hoch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
sehr hoch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Risiko-Einschätzung auf Grundlage der Bewertungen von ① + ② + ③

beobachten behandeln / beobachten umgehend behandeln

Risiko wird quantitativ bewertet NEIN

Abb. 5.7: Datenblatt für Einzelrisiko für die qualitative Analyse (Quelle: ÖGG - Austrian Society for Geomechanics [24, Anlage])

Die qualitative Bewertung der Risiken ist im Allgemeinen vor der Erhebung sämtlicher Maßnahmen durchzuführen. Anfangs werden die Auswirkungen eines Einzelrisikos für sechs Teilbereiche bewertet. Aus der Zusammenschau der bewerteten Kriterien wird die monetäre Auswirkung qualitativ bewertet und die Eintrittswahrscheinlichkeit mit Hilfe der Verbalisierung abgeschätzt. Im dritten Schritt wird die Relevanz des zeitlichen Eintretens bewertet. Aufbauen auf den drei Bewertungen wird die weitere Vorgehensweise entschieden. Das Risiko kann beobachtet oder umgehend behandelt werden. Es wird an dieser Stelle geraten sich Maßnahmen zu überlegen. Nach der Erkenntnis der Auswirkung eines Risikos, ist es von Bedeutung Bewältigungen dafür zu planen. Durch Maßnahmen können Risiken vermieden, vermindert, teils übertragen oder selbst getragen werden. Die erwartete Wirkung jeder Maßnahme steht dabei dem zeitlichen und kostenmäßigen Aufwand gegenüber. In diesem speziellen Fall werden die Maßnahmen nicht mehr weiter behandelt. Die Vorprojektphase lässt noch genug Spielraum für die Einarbeitung der Maßnahmen in die Ausführungsunterlagen. So verschwindet das Risiko oder wird vermindert und die Maßnahme wird dann als Basisleistung angesehen. In diesem fiktiven Beispiel würde das zu einem Zirkelbezug führen und wird deshalb nicht weiter betrachtet. Bevor die Vorgehensweise der quantitativen Risiko-Analyse erörtert wird, ist es an dieser Stelle sinnvoll einen kurzen Exkurs zu den beiden Varianten zur Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit zu machen:

Exkurs Eintrittswahrscheinlichkeit: In diesem Exkurs werden die zwei gängigsten Varianten zur Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit erläutert.

1. **Einzeln auftretendes Risiko:** Für die Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines einzeln auftretendes Risikos helfen Verknüpfungen von Prozenten mit verbalen Beurteilungen. Aber wer bestimmt diese Größenordnung? Mehrere Nor-

men und Richtlinien empfehlen einheitliche Risikobewertungsschemas. Die folgende Risikoscoring-Tabelle Tab. 5.1 wurde Mitte der 90er Jahren von einer kleinen Gruppe von Risikoberatern entwickelt. Sie normt Werte für die verbalen Beschreibungen. Die Bewertung der Risiken erfolgt über die Multiplikation der dargestellten Werte.⁷⁶

Tab. 5.1: Risikobewertungsschema

Rang	Wahrscheinlichkeit	Auswirkung
sehr gering	0,1	0,05
gering	0,3	0,1
mittel	0,5	0,2
hoch	0,7	0,4
sehr hoch	0,9	0,8

Die ÖGG unterteilt die Abschnitte der Skala von 1 % – 99 % wie in Abb. 5.7 aufgelistet. Die unwahrscheinlichste Möglichkeit wird mit „sehr unwahrscheinlich“ tituliert und deckt die Eintrittswahrscheinlichkeit von 0 % – 5 % ab. Die Spannweite des Wort „möglich“ reicht von „durchaus möglich“ (15 % – 30 %) bis zu „sehr möglich“ (50 % – 70 %). Die letzten Prozente werden mit der Steigerung sehr und außerordentlich des Wortes „wahrscheinlich“ abgedeckt. Eine rationale Einteilung der Bewertung hilft ungemein für die Risikoeinschätzung, doch es gibt sehr viele nicht-rationale Faktoren die unsere Risikowahrnehmung beeinflussen.

2. **Mehrfach auftretendes Risiko:** Sind die Teilnehmer der Meinung, dass ein Risiko öfters aufzutreten vermag, so gibt die ÖGG – Richtlinie [24] den Akteuren die Möglichkeit das Eintreten eines Risikos durch ein mehrfach auftretendes Ereignis zu bewerten. Für das Abschätzen eines mehrfach auftretendes Ereignis bedient sich die ÖGG – Richtlinie [24] der Poisson-Verteilung. Mathematisch wird dies durch die folgende Beziehung ausgedrückt:

$$P[X = n] = \pi_n(\mu) = \frac{\mu^n}{n!} e^{-\mu} \quad (5.1)$$

In den nachstehen Diagrammen erkennen Sie die Beziehung zwischen der Abschätzung des mehrfach auftretendes Ereignis und der Eintrittswahrscheinlichkeit in %.

In der Abb. 5.8 erkennt man dass ein zweifach abgeschätztes Risiko die gleiche Wahrscheinlichkeit besitzt einmal aufzutreten wie zweimal. Die Prozente liegen jeweils bei 27,07 %. Der Prozentsatz, dass ein zweifach abgeschätztes Risiko nie auftritt, liegt bei bei 13,53 %. Im Umkehrschluss bedeutet das, dass es zu 86,47 % auftritt. Bei dem vierfach eingeschätztem Risiko, vergleiche Abb. 5.9, verhält sich die Kurve ähnlich. Die Wahrscheinlichkeit zum vierfachen Auftreten beträgt 19,54 %, gleich wie die Wahrscheinlichkeit zum dreifachen Eintreten. Die Wahrscheinlichkeit, dass das Risiko mindestens einmal schlagen wird, liegt bei 98,17 %. Die blaue Linie stellt bei beiden Diagrammen die Summenfunktion dar.

⁷⁶Vgl. [6] Dr. Hillson

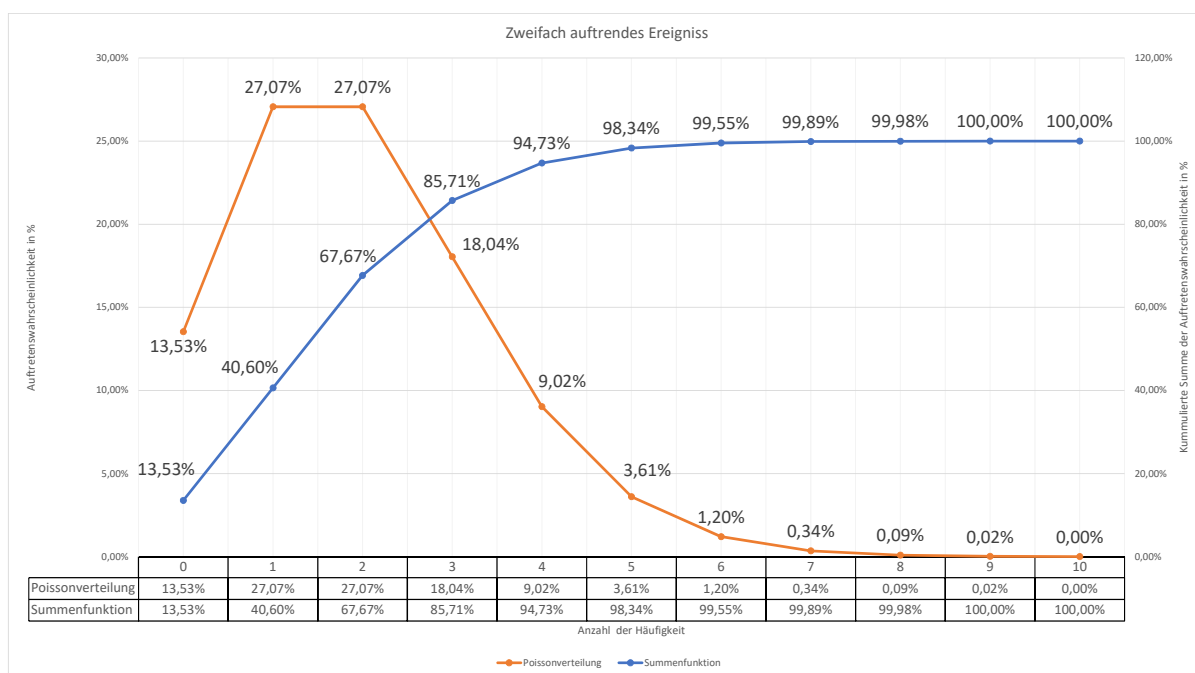


Abb. 5.8: Mehrfach auftretendes Risiko – 2-fach (Quelle: Eigene Darstellung)

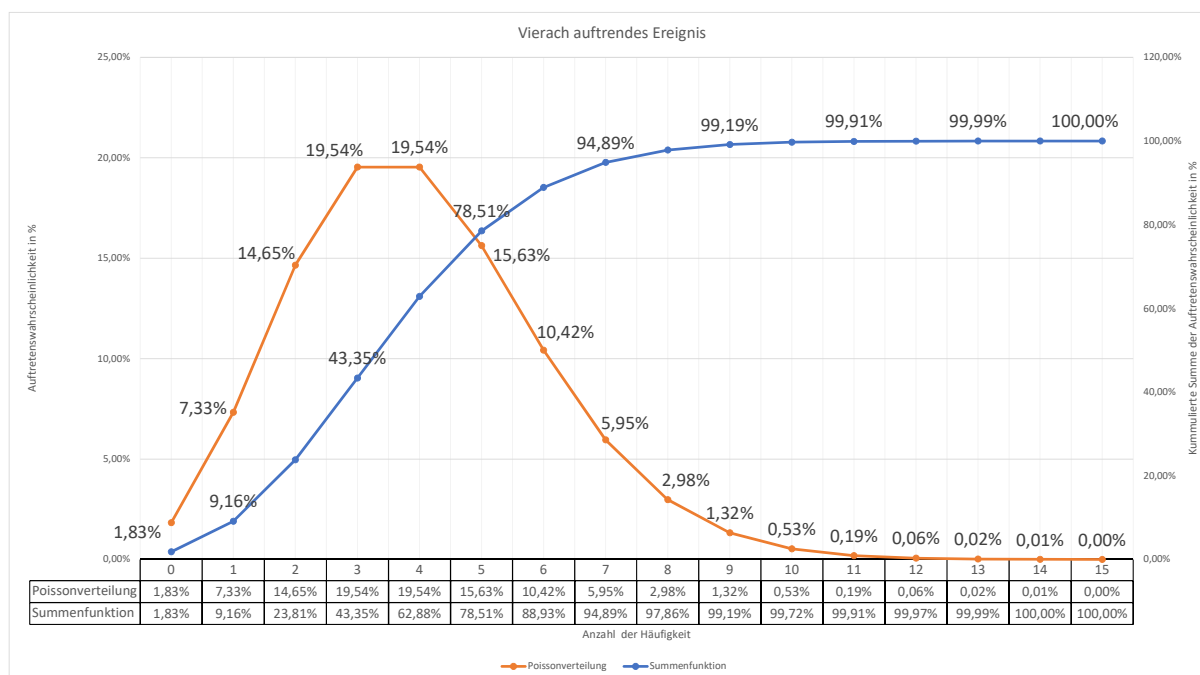


Abb. 5.9: Mehrfach auftretendes Risiko – 4-fach (Quelle: Eigene Darstellung)

Bevor der letzte Schritt der Einzelrisikobewertung erläutert wird, soll an dieser Stelle ein plakatives Beispiel zur Verdeutlichung der Poisson-Verteilung beitragen. Angenommen es wird ein Linienprojekt mit einem 10 km langen Tunnel realisiert. Bei der initialen Risikobewertung schätzt das Experten-Team ein Risiko, als 4-fach auftretendes Risiko, ab. Im Zuge des Projektfortschrittes wird das Risiko bis Kilometer fünf nicht schlagend. Die Teilnehmer der Risikoaktualisierung bewerten das Risiko neu und mindern die Eintrittswahrscheinlichkeit auf die Hälfte ab. In der

Tab. 5.2 werden die Wahrscheinlichkeiten für mindestens einmal, zweimal und viermal Auftreten pro Einschätzung gegenübergestellt und die Abschätzung des 2-fach und 4-fach auftretenden Risikos verglichen.

Tab. 5.2: Poisson-Verteilung

Auftretensrate	mind. einmal	zweimal	viermal
4-fach in %	98,17	14,65	19,54
2-fach in %	86,47	27,07	9,02

Dass dieses theoretische Risiko schlagend wird, bleibt in beiden Fällen laut der Verbalisierung der ÖGG sehr wahrscheinlich. Dass das Risiko genau zweimal eintritt, ist bei beiden Einschätzungen durchaus möglich und dass das Risiko viermal schlagend wird, mindert sich von durchaus möglich auf unwahrscheinlich ab.

Als letzten Schritt zur Einzelrisikobewertung gehört die quantitative Bewertung eines Einzelrisikos. Das Datenblatt der ÖGG – Richtlinie [24] trennt diese Einschätzung in zwei Hälften. Die Bewertung des Einzelrisikos vor einer Maßnahme und die rechte Seite der Abb. 5.10 beschäftigt sich mit der Bewertung nach der Maßnahme. In unserem speziellen Fall wird das Einzelrisiko, wie vorher erläutert, nur vor der Maßnahme bewertet. Die Bewertung wird grob in drei Schritte unterteilt. Im ersten Schritt muss die Eintrittswahrscheinlichkeit abgeschätzt werden oder die geschätzte Anzahl der von Ereignissen festgehalten werden. Im nächsten Schritt werden drei Fälle verbal beschrieben. Abschließend wird die monetäre und zeitliche Auswirkung dieser vorhin beschriebenen Fälle abgeschätzt.

Datenblatt Einzelrisiko

Einzel auftretendes Risiko
Eintrittswahrscheinlichkeit

Mehrfach auftretendes Risiko
Geschätzte Anzahl von Ereignissen

Bewertung vor Maßnahmen

Bewertung nach Maßnahmen

Eintrittswahrscheinlichkeit

Eintrittswahrscheinlichkeit oder Geschätzte Anzahl von Ereignissen

Eintrittswahrscheinlichkeit oder Geschätzte Anzahl von Ereignissen

Monetäre Auswirkung im Fall des Risiko-Eintritts

Beschreibung Bester Fall

Verbruch von 1m³ - 5 m³, kein Arbeitsunfall, Arbeitsverzögerung von 1 KT.

Beschreibung Erwarteter Fall

Verbruch von 3m³ - 10m³, Arbeitsunfall unwahrscheinlich, Arbeitsverzögerung von 3 KT.

Beschreibung Schlechtesten Fall

Der Verbruch schlägt auf die Oberfläche durch. Betroffene Gebäude oder Verkehrswege inkl. Einbauten werden beschädigt. Arbeitsunfall möglich. Vortriebsstillstand für 14 KT.

Beschreibung Bester Fall

Beschreibung Erwarteter Fall

Beschreibung Schlechtesten Fall

Monetäre Auswirkung

Zusätzliche Kosten in ...

10.000 €	30.000 €	400.000 €
----------	----------	-----------

Zeitliche Auswirkung

Zusätzliche Zeit in ...

1 KT	3 KT	14 KT
------	------	-------

Monetäre Auswirkung

Zusätzliche Kosten in ...

<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
----------------------	----------------------	----------------------

Zeitliche Auswirkung

Zusätzliche Zeit in ...

<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
----------------------	----------------------	----------------------

Abb. 5.10: Datenblatt für Einzelrisiko für die quantitative Analyse (Quelle: ÖGG - Austrian Society for Geomechanics [24, Anlage])

Wie Eingangs schon erwähnt wird im ersten Schritt des Datenblatts für Einzelrisiko die Eintrittswahrscheinlichkeit von den Beteiligten abgeschätzt. Dies kann in zwei unterschiedlichen Varianten geschehen. Einmal, wie im letzten Exkurs geschildert, mit der Abschätzung eines einzelnen auftretenden Ereignisses. Hierbei sind die verbalen Beschreibungen der % eine bemerkenswerte Hilfestellung. Die zweite Vorgehensweise zur Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit ist über ein mehrfach auftretendes Risiko gegeben. Diese Berechnung stützt sich auf die Poisson-Verteilung. Die Wechselwirkung zwischen der abgeschätzten Häufigkeit und den Prozenten des Auftretens können in Abb. 5.8 und Abb. 5.9 abgelesen werden. Nachfolgend trennt man sich gedanklich von der Eintrittswahrscheinlichkeit und fragt sich: *Wie kann der Beste, der Wahrscheinlichste und Schlimmste Fall aussehen?* Diese drei Fälle werden schriftlich festgehalten und so konkret wie möglich beschrieben. Das hat einen außerordentlichen Einfluss auf die quantitative Abschätzung im letzten Schritt des Datenblatts Einzelrisiko. Hierbei werden die Auswirkungen der festgehaltenen Fälle monetär und zeitlich bestimmt. Die Randwerte, also der beste und schlechteste Fall, liegen manchmal außerhalb der Vorstellungskraft, deshalb ist es so wichtig die Fälle vorher zu beschreiben. Zudem sollte einem bewusst sein, dass in der Simulation der probabilistischen Berechnung (z.B.: Monte-Carlo-Simulation) die Randwerte eine untergeordnete Rolle spielen.

Dieses Verfahren der Einzelrisikobewertung gilt es bei jedem identifizierten Risiko durchzuführen. Einzelrisiken werden meist in Workshops mit der Brainstorming-Methode identifiziert und, sollte sich der Auftraggeber entscheiden eine Einzelrisikobeurteilung durchzuführen, gleichzeitig bewertet. All diese Risiken werden einem oder mehreren PSP-Elementen zugeordnet, um eine Risikonachverfolgung zu gewährleisten. Weiters werden die Risiken dem Terminplan zugeordnet um die zeitliche Auswirkung in die Berechnung einfließen zu lassen. Nur so wird das Risikomanagement zu einem integralen Risikomanagement. Die zeitliche Verschiebung wird in dieser Arbeit nicht genauer verfolgt. Nichtsdestotrotz spielt die zeitliche Komponente eine große Rolle. Jegliche terminliche Verschiebung aufgrund von Risiken beeinflusst auch die Kosten. Zeitliche Verschiebungen bewirken eine Verschiebung im Terminplan und können somit zum kritischen Weg werden. Dies bringt eine Reihe von Verzögerungskosten mit.

Im nächsten Abschnitt werden selektierte Risiken im Tunnelbau bewertet und die deterministische Berechnung der probabilistischen Berechnung gegenüber gestellt. Die Risiken werden, wie in der ÖGG – Richtlinie [24] vorgeschrieben, bewertet. Aufgrund der Komplexität des Themas wird dies in einer vereinfachten Form durchgeführt. Das Hauptaugenmerk wird auf die monetäre Auswirkung und deren Gesamtauswirkung gelegt.

5.2 Risikobewertung für beispielhafte Risiken im Tunnelbau

In diesem Abschnitt wird eine Auswahl von Risiken im Tunnelbau monetär bewertet. Die Auswahl bezieht sich auf dem im Abschnitt 4.2.1 beschrieben Projekt. Um die Geheimhaltungspflicht einzuhalten und die Verschwiegenheitserklärung des Autors nicht in Gefahr zu bringen, werden die Werte und Eintrittswahrscheinlichkeiten so geändert, dass die Bewertung nichts an dem Inhalt verliert und trotzdem nicht auf die Risiken des größten momentanen Infrastrukturprojektes Wiens Rückschluss gezogen werden kann. In der Tab. 5.3 werden die ausgewählten Risiken zusammengefasst dargestellt. Sie sind in sechs Hauptkategorien unterteilt. Jede dieser Kategorie enthält drei aussagekräftige Risiken. Die übergeordneten Kategorien beziehen sich auf die in dieser Arbeit beschriebenen Grundlagen des Tunnelbaus. Die ersten drei Risiken gelten dem zyklische Vortrieb, gleich darauf wird der konventionelle Vortrieb durchleuchtet. Die dritte Kategorie widmet sich den Risiken zum Thema Hebungen und Setzungen. Dies ist ein spezieller Bereich der urbanen Infrastruktur. Darauffolgenden werden die Findlinge untersucht und drei Risiken dazu bewertet.

Ein wesentliches Thema, das viele Unsicherheiten birgt, ist das Grundwasser. Abschließend werden noch drei Risiken zu Spezialtiefbauarbeiten ausgewertet. Nach jeder Kategorie wird die deterministische und probabilistische Berechnung gegenübergestellt und ein kurzes Fazit gezogen. Am Ende des Kapitels werden nochmals alle Risiken zusammen dargestellt. Das bedeutet, die deterministischen Bewertungen aller Risiken werden addiert und mit der Aggregation der probabilistischen Berechnungen verglichen. Die probabilistische Berechnung wird mittels einer Software durchgeführt.

Tab. 5.3: Übersicht Tunnelbau Risiken

Code	Risikotitel	EW	Auswirkung		
			BC	EW	WC
zyklischer Vortrieb					
01Z	Lokales Ortsbrustversagen	25%	10.000 €	30.000 €	400.000 €
02Z	Vortriebsklassen Verschiebung	8%	20.000 €	40.000 €	120.000 €
03Z	Bergmännische Unterquerung	15%	20.000 €	50.000 €	250.000 €
kontinuierlicher Vortrieb					
01K	Verklebung TVM-Schild	33%	0 €	1.250.000 €	4.000.000 €
02K	Ausfall Ortsbruststützung TVM-Vortrieb	1mal	0 €	50.000 €	250.000 €
03K	Verschleiß TVM-Schild	2mal	5.000 €	20.000 €	30.000 €
Setzungen/Hebungen					
01S	Hebungsinjektion (Herstellung und Betrieb)	30%	100.000 €	1.000.000 €	10.000.000 €
02S	Leistungsposition Setzungskompensation	40%	-370.000 €	0 €	740.000 €
03S	Setzungsrisiko	2mal	5.000 €	40.000 €	600.000 €
Findlinge					
01F	Unbekanntes Hinderniss – TVM-Vortrieb	2mal	350.000 €	1.500.000 €	5.000.000 €
02F	Kampfmittelräumung	3%	3.000 €	10.000 €	100.000 €
03F	Archäologische Funde	75%	2.500 €	30.000 €	120.000 €
Grundwasser					
01G	Unzureichende Absenkwirkung	1mal	25.000 €	100.000 €	250.000 €
02G	Wasserführende Sandschichten	20%	25.000 €	75.000 €	200.000 €
03G	Umsetzung Wasserhaltung	4mal	8.000 €	30.000 €	300.000 €
Spezialtiefbauarbeiten					
01E	Verformungen durch Bodenvereisung	10%	10.000 €	50.000 €	1.000.000 €
02E	Querschläge Stollen – Doppelquerschlag	90%	40.000 €	80.000 €	160.000 €
03E	DSV-Unterfangung der Häuser	10%	10.000 €	50.000 €	200.000 €

Die Software RIAAT dient zur Administration von Informationen aus Kostenmanagement, Risikomanagement und Terminplanung. Die probabilistische Berechnung dieser Software stützt sich auf die Monte-Carlo-Methode. Die Monte-Carlo-Methode dient dazu, mathematische Probleme oder Berechnungen durch das Heranziehen von Zufallszahlen, näherungsweise zu lösen. Vor allem Ergebnisse in ferner Zukunft werden durch Verwendung von Wiederholungen (Iterationen) approximiert. Der Unterschied zur Monte-Carlo-Simulation besteht darin, dass unter Simulation das rechnerische Nachahmen einer realen Situation verstanden wird. Wobei die Simulation auf dem Gesetz der großen Zahlen und der Wahrscheinlichkeitstheorie basiert. Bei komplexen Infrastrukturprojekten können keine Experimente am realen System durchgeführt werden. Für Experimente an einem Systemmodell, wie dies hier der Fall ist, kommen mathematische Modelle zum Einsatz. Analytische Lösungen einer solchen Berechnung wären nur mit unverhältnismäßigem großem Aufwand möglich. Es handelt sich bei dieser konkreten Softwarelösung um eine 100.000-

fache Wiederholung, die im vorgegebenen Berechnungsmodell Zufallsgrößen berechnet und somit eine Unter- bzw. Überschreitungswahrscheinlichkeit eines Ergebnisses darstellt.

An einem baupraktischen Beispiel verdeutlichen Hofstadler und Kummer [12] die Vorteile probabilistischer Berechnungen. Es wird angenommen, dass eine Baugrube mit einem Aushubsvolumen von 1.500 m^3 (ohne Auflockerungen; fest) drei verschiedene Bodenklassen enthält. Aus den Voruntersuchungen kann man jede Bodenklasse einem Drittel der Gesamaushubsmenge zuordnen. Doch jede Untergrundvoruntersuchung ist mit Unsicherheiten behaftet, da eine vollständige Bodenerkundung nicht möglich ist. Die Einschätzung der fachkundigen Experten beläuft sich auf eine gleich wahrscheinliche Abweichung der Menge jeder Bodenklasse. Es ist eine Schwankungsbreite von $\pm 20 \%$ zu erwarten. Somit spannt sich eine Bandbreite von $400 \text{ m}^3 - 600 \text{ m}^3$ pro Bodenklasse auf. Zudem werden die Kosten der jeweiligen Bodenklasse wie folgt angenommen:

- Bodenklasse 3 – 5: $5,00 \text{ €/m}^3$
- Bodenklasse 6: $20,00 \text{ €/m}^3$
- Bodenklasse 7: $30,00 \text{ €/m}^3$

Durch die rechteckige Verteilung ist in der Modellbildung jeder Wert zwischen $400 \text{ m}^3 - 600 \text{ m}^3$ gleich Wahrscheinlich. Diese Annahme gilt für jede Bodenklasse. Um die Erklärung nicht zu verzerren, wird an dieser Stelle die Erläuterung der Berechnung exakt von Hofstadler und Kummer [12] übernommen. *„Im Zuge der Monte-Carlo-Simulation wird nun in jedem Berechnungsdurchgang (Iteration) ein zufälliger Wert aus den Bandbreiten für die Bodenklassen gewählt und mit dem jeweiligen Einheitspreis multipliziert. Damit ergibt sich in Summe eine Verteilung für den zu erwartenden Preis des gesamten Aushubs der Baugrube.“*⁷⁷

Um den zufälligen Zusammensetzungen der Bodenklassen gerecht zu werden (min. Aushubmenge von 1.200 m^3 und max. 1.800 m^3) und somit unrealistische Aushubmengen zu vermeiden wurden in der Modellbildung von Hofstadler und Kummer eine Normierung der Mengen auf 1.500 m^3 in jedem Iterationsschritt berücksichtigt. Abb. 5.11 zeigt die Streuung des Gesamtpreises des Bodenaushubs in Form eines Histogramms an. Mit einer 90% Wahrscheinlichkeit treten für den gesamten Aushubs, Preise zwischen 25.776 € und 29.229 € auf. Diese Kosten werden jeweils mit einer 5% Wahrscheinlichkeit unter- bzw. überschritten.⁷⁷

⁷⁷Vgl. [12] Hofstadler und Kummer, S. 191 ff.

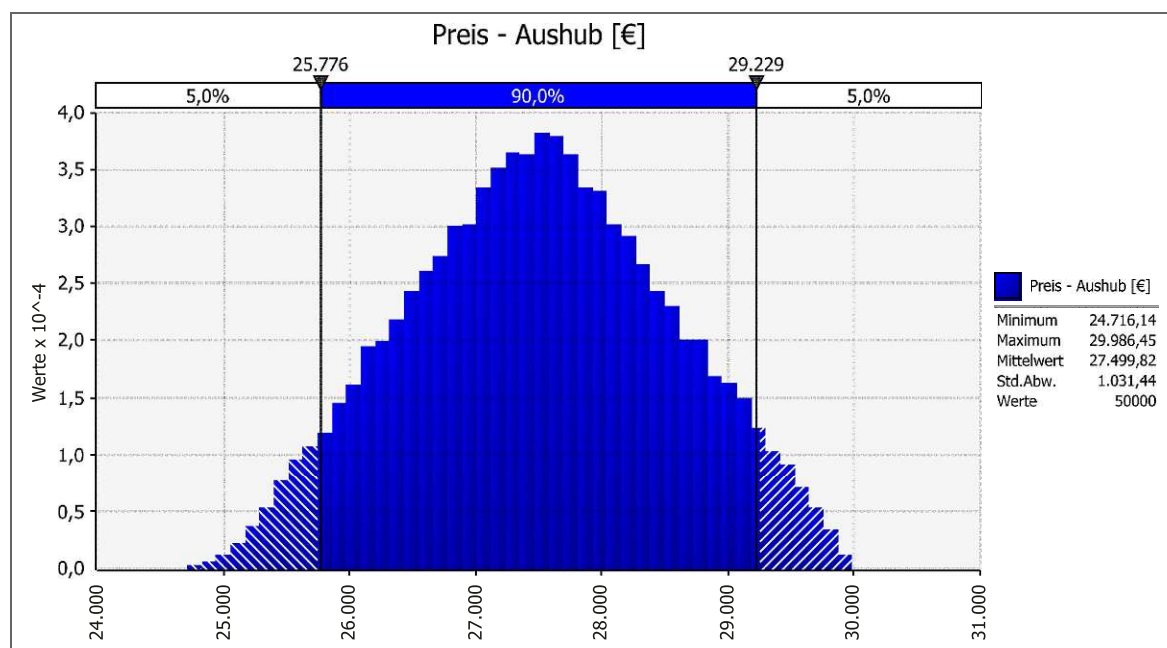


Abb. 5.11: Histogramm – Preis für den Aushub der gesamten Baugrube (Quelle: Hofstadler und Kummer [12, S. 205])

Werte unterhalb von 25.000 € (günstigste analytische Lösung) werden von Hofstadler und Kummer der Normierung zugeschrieben. Genauere Informationen können dem Buch *Chancen- und Risikomanagement in der Bauwirtschaft : für Auftraggeber und Auftragnehmer in Projektmanagement, Baubetrieb und Bauwirtschaft* [12] auf der Seite 205 in der Fußnote 33 entnommen werden. Eine analytische Lösung zu finden wäre auch mit wenigen Variablen sehr aufwändig. Mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation ist ein approximiertes Ergebnis mit akzeptablem Aufwand möglich. Bei solchen Simulationen und der baubetrieblichen und bauwirtschaftlichen Betrachtungsweise, steht nicht die mathematische Lösung komplizierter Gleichungen im Vordergrund, sondern die korrekte Eingabe der Inputparameter. Zu beachten gilt hierbei, wenn die Modellbildung, Korrelationen und/oder Inputparameter falsch sind, dann ist die Ausgabe zwangsläufig auch falsch. Die Monte-Carlo-Simulation stellt dabei nur das Werkzeug dar, um mathematische Probleme in kurzer Zeit, mit wenig Aufwand und einer ausreichenden Genauigkeit zu lösen.⁷⁸

Im nächsten Abschnitt werden die in Tab. 5.3 dargestellten Risiken anhand der RIAAT Software berechnet. Durch die komplexen Eingabemöglichkeiten dieses computergestützten Berechnungsprogramms, entschied man sich, um Fehler zu vermeiden, für den Vergleich zwischen den deterministischen und probabilistischen Risikobewertungen. Weiters werden die Interpretationen der probabilistischen Berechnungen festgehalten.

⁷⁸Vgl. [12] Hofstadler und Kummer, S. 203 ff.

5.2.1 Risiken im zyklischen Vortrieb

Die ersten drei Risiken die bewertet werden beziehen sich auf den zyklischen Tunnelbau. Dabei wurden im Vorfeld drei verschiedene Szenarien skizziert und im Anschluss quantitativ bewertet. Die unterschiedlichen Risiken behandeln eine Vortriebsverschiebung, ein lokales Ortsbrustversagen und eine Unterquerung eines Entlastungskanals.

Risiko 01Z – Lokales Ortsbrustversagen

Während dem Vortrieb werden nicht erkannte Brunnen oder technische Einbauten angetroffen.

Auswirkung: Durch ein unbekanntem Hindernis wird die Ortsbrust destabilisiert und es kommt zu einem Verbruch.

Eintrittswahrscheinlichkeit: 25 %

Bester Fall: Ein Verbruch von 1 – 5 m³ ist möglich. Es ist kein Arbeitsunfall vorstellbar. Die Arbeitsverzögerung von 1 Kalendertag durch Aufräumarbeiten ist vorstellbar.

Erwarteter Fall: Ein Verbruch von 3 – 10 m³ wird von dem Teilnehmerkreis erwartet. Ein Arbeitsunfall ist unwahrscheinlich, sonst müssten Vorkehrungen im Sicherheitskonzept eingearbeitet werden. Die Arbeitsverzögerung von 3 Kalendertage durch Sanierungsarbeiten der angetroffenen Einbauten und/oder Brunnen sind nicht auszuschließen.

Schlimmster Fall: Der Verbruch schlägt auf die Oberfläche durch. Betroffene Gebäude oder Verkehrswege inkl. Einbauten werden beschädigt. Ein Arbeitsunfall ist in diesem Fall möglich. Der Vortrieb wird für 14 Kalendertage eingestellt.

Monetäre Auswirkung: Die monetäre Auswirkung beläuft sich bei der deterministischen Methode auf 7.500 € und die probabilistische Auswertung kann der Abb. 5.12 entnommen werden.

Bester Fall	Erwarteter Fall	Schlimmster Fall
10.000 €	30.000 €	400.000 €

Deterministische Auswirkung

$$25 \% * 30.000 \text{ €} = 7.500 \text{ €}$$

Probabilistische Auswirkung:

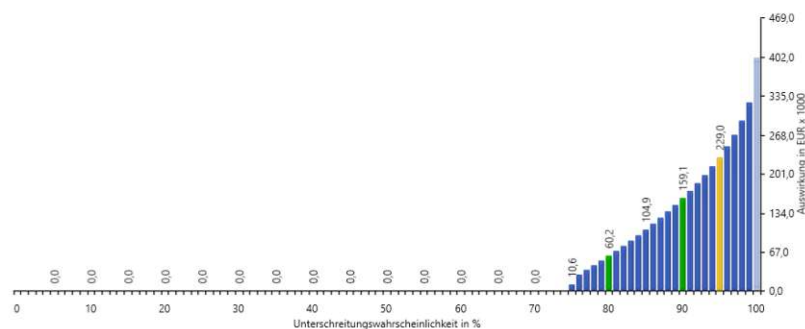


Abb. 5.12: Probabilistische Auswirkung: Risiko 01Z (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])

Risiko 02Z – Vortriebsklassen Verschiebung

Die geologischen Bedingungen wurden im Vorfeld genau aufgenommen, doch sind dies nur "Nadelstiche". Wiener Tegel und Miozän hat hinsichtlich Verbesserungen wenig Potenzial, deshalb wird dieses Risiko nicht als Chance gesehen, sondern als Risiko. Denn durch Sandlinsen und inhomogene Stellen ist eine Verschlechterung durchaus möglich.

Auswirkung: Die Vortriebsklasse wird verschoben und durch lokale Änderungen des geologischen Modelles müssen mehr Sicherungsmittel eingebaut werden. Die Vortriebsgeschwindigkeit kann sich somit reduzieren.

Eintrittswahrscheinlichkeit: 8 %

Bester Fall: Man trifft auf eine kleine inhomogene Stelle und muss kurzfristig eine Lösung finden. Ein Verlust von 2 Kalendertagen wird abgeschätzt.

Erwarteter Fall: Der inhomogene Bereich erstreckt sich über 20 Laufmeter. Extrakosten für zusätzliche Sicherungsmittel, sowie Geschwindigkeitsverlust über mehrere Tage lautet die Abschätzung des Teilnehmerkreises. Erwarteter Verlust = 5 Kalendertage.

Schlimmster Fall: Der inhomogene Bereich ist doppelt so groß wie im erwarteten Fall. Die Kosten für Sicherung und zusätzliche Arbeitskräfte und/oder Maschinen ist wesentlich höher. Verlust von 15 Kalendertage.

Monetäre Auswirkung: Die monetäre Auswirkung berechnet sich bei der deterministischen Methode mit der Multiplikation der Einschätzungen. In diesem Fall beläuft sich die deterministische Bewertung auf 3.200 € und die probabilistische Auswirkung ist in Abb. 5.13 ersichtlich.

Bester Fall	Erwarteter Fall	Schlimmster Fall
20.000 €	40.000 €	120.000 €

Deterministische Auswirkung

$$8 \% * 40.000 \text{ €} = 3.200 \text{ €}$$

Probabilistische Auswirkung:

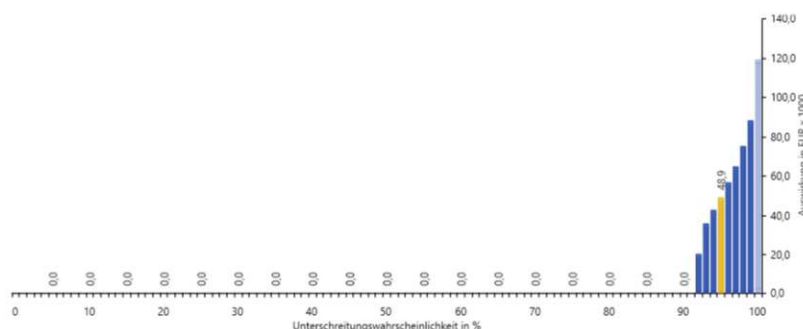


Abb. 5.13: Probabilistische Auswirkung: Risiko 02Z (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])

Risiko 03Z – Bergmännische Unterquerung

Im Zuge des Projekts muss ein Entlastungskanal unterquert werden. Dabei ist von einer geringen Überdeckung auszugehen. Eine Bestandsaufnahme ist nur für die Kanalinnenseite möglich. Die Außenschale kann anders sein als erwartet, denn laut Aufzeichnungen ist dieser Kanal vor über 50 Jahren gebaut worden.

Auswirkung: Beschädigung des Kanals im Zuge der Herstellung des DSV-Schirmes. Andere Möglichkeit wäre, dass eine Beschädigung des Kanals durch Setzungen auftritt.

Eintrittswahrscheinlichkeit: 15 %

Bester Fall: Lokale Risse am Kanal. Sanierungskosten von 20.000 € werden abgeschätzt.

Erwarteter Fall: Es entstehen größere Risse infolge einer Setzung des Kanals. Aufwändigere Sanierungsarbeiten sind notwendig. Es ist ein Vortriebsstillstand von 1 Kalendertag zu erwarten.

Schlimmster Fall: Es treten Schäden am Kanal gleichzeitig mit einem Hochwasser auf. Der Kanal muss mit einem Inliner über 100 m saniert werden. Bauzeitverlust durch Vortriebsunterbrechung von 3 Kalendertagen sind vorstellbar.

Monetäre Auswirkung: Die probabilistische Auswirkung wird in Abb. 5.14 abgebildet und im Vergleich steht eine deterministische Bewertung von 7.500 €.

Bester Fall	Erwarteter Fall	Schlimmster Fall
20.000 €	50.000 €	250.000 €

Deterministische Auswirkung

$$15 \% * 50.000 \text{ €} = 7.500 \text{ €}$$

Probabilistische Auswirkung:

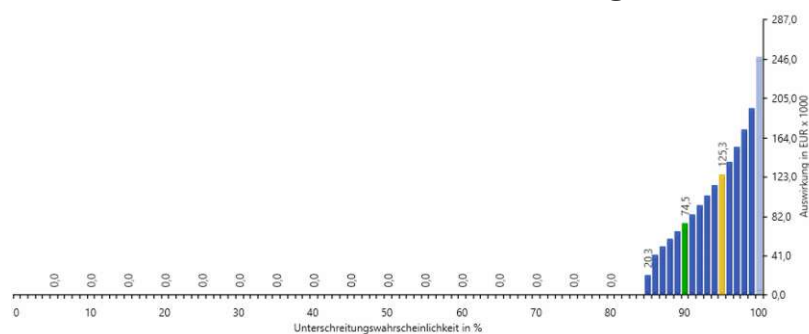


Abb. 5.14: Probabilistische Auswirkung: Risiko 03Z (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])

Zusammenfassung Risiken im zyklischen Vortrieb

Alle drei Risiken haben eine Eintrittswahrscheinlichkeit von 25 % oder weniger. Die monetären Auswirkungen vom besten Fall betragen 10.000 € oder 20.000 €. Die erwarteten Fälle wurden mit 30.000 € bis 50.000 € bewertet. Die schlechtesten Fälle bewegen sich alle im 6-stelligen Bereich. Nachstehend wird die deterministische Bewertung addiert und mit der probabilistischen Wahrscheinlichkeitsberechnung verglichen.

Monetäre Auswirkung

Der deterministische Wert ergibt sich aus der Summe der drei Einzelwerte. In der Tab. 5.4 werden die Risiken aufgelistet und daraus die Summe gebildet. Die deterministische Bewertung errechnet sich aus der Multiplikation der Eintrittswahrscheinlichkeit mit der erwarteten Auswirkung. Die Auswirkung kann sowohl negativ oder positiv sein. Diese ergeben in diesem Fall eine deterministische Risikobewertung von 18.200 € für den zyklischen Tunnelbau. Die Abb. 5.15 stellt die probabilistische Auswirkung dar. Trotz der Eintrittswahrscheinlichkeiten von unter 25% der einzelnen Risiken erkennt man, dass die Eintrittswahrscheinlichkeit der aggregierten Risiken über 40 % liegt. Die monetäre Auswirkung der probabilistischen Berechnung spannt eine Bandbreite von 20.000 € bis über 250.000 € im schlechtesten Fall auf.

Tab. 5.4: Deterministischer Wert für die Risikobewertung des zyklischen Vortriebs

Risiko 01Z =	7.500 €
Risiko 02Z =	3.200 €
Risiko 03Z =	7.500 €
Summe =	18.200 €

Probabilistische Auswirkung:

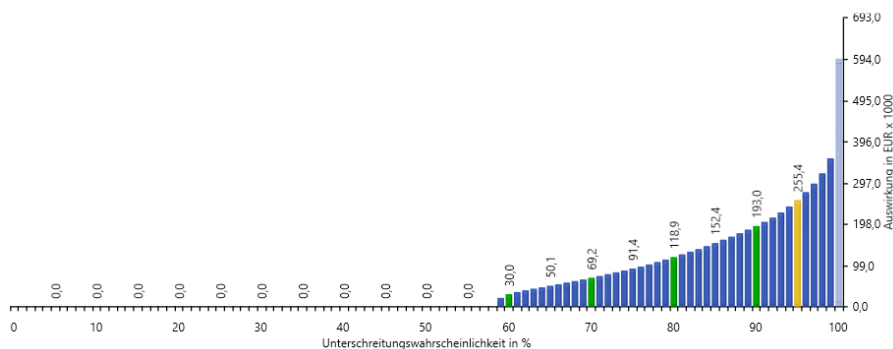


Abb. 5.15: Probabilistische Auswirkung: Risiken im zyklischen Tunnelbau (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])

5.2.2 Risiken im kontinuierlichen Vortrieb

Bei den Risiken in diesem Abschnitt handelt es sich um Gefahren welche die Tunnelvortriebsmaschine betreffen. Die ausgewählten Risiken betreffen das Schneidrad, dessen Verklebung und Verschleiß, sowie den Ausfall der Ortsbruststützung.

Risiko 01K – Verklebung TVM-Schild

Gegenbenfalls aus abweichender Geologie könnten, trotz Einsatz von Konditionierungsmittel, Anhaftungen bei Abbau-, Förder-, und Transportwerkzeugen entstehen.

Auswirkung: Durch die Verklebungen kann es bei dem Abbau-, Stütz-, und Förderprozess zu Zeitverzögerungen kommen.

Eintrittswahrscheinlichkeit: 33 %

Bester Fall: Die Abweichungen der Geologie bewegen sich in den erwarteten Bandbreiten. Kleine nicht feststellbare Auswirkungen sind dabei trotzdem möglich.

Erwarteter Fall: Die Abweichungen der Bodenkennwerte liegen außerhalb der Bandbreiten. Auswirkungen über 50 % der Länge und 3 % Zeitverlust werden eingeschätzt. Das bedingt einen Mehrverbrauch an Konditionierungsmittel, sowie eine Reinigungseinheit von mindestens zwei Mitarbeitern.

Schlimmster Fall: Die Auswirkungen der Abweichung sind deutlich spürbar. 6 % Zeitverzögerung über 75 % der Länge und die damit zusammenhängenden Mehrkosten (Mehrverbrauch Konditionierungsmittel, Reinigungseinheiten) werden schlagend.

Monetäre Auswirkung: Die deterministische Auswirkung beläuft sich auf ein Drittel des erwarteten Wertes und die probabilistische Auswirkung ist in Abb. 5.16 ersichtlich.

Bester Fall	Erwarteter Fall	Schlimmster Fall
0 €	1.250.000 €	4.000.000 €

Deterministische Auswirkung

$$33 \% * 1.250.000 \text{ €} = 412.500 \text{ €}$$

Probabilistische Auswirkung:

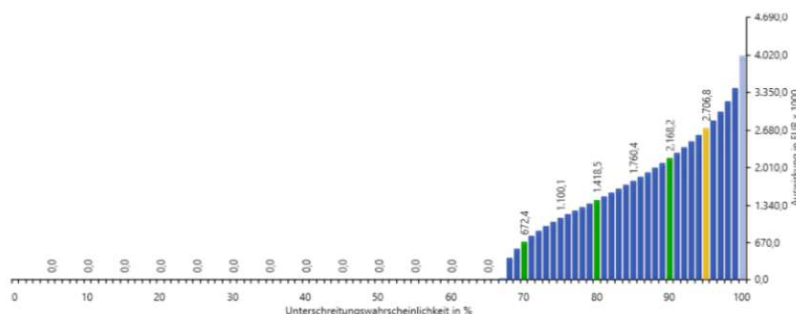


Abb. 5.16: Probabilistische Auswirkung: Risiko 01K (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])

Risiko 02K – Ausfall Ortsbruststützung TVM-Vortrieb

Ausfall des Stützmediums und unkontrollierter Bodeneintrag ist zu erwarten. Ein Ausfall der Ortsbruststützung verursacht durch Stromausfall, mechanisches Gebrechen eines Maschinenteils oder Materialbilanz unzureichend genau erstellt kann hier als Ursache genannt werden.

Auswirkung: Durch unkontrollierten Bodeneintrag kann es zu Nachbrüchen oder Niederbrüchen kommen. Diese bedingen zwingenderweise Setzungen an der Oberfläche.

Eintrittswahrscheinlichkeit: 1 mal

Bester Fall: Ein Stromausfall tritt ein, der Vorfall bleibt aber ohne Auswirkungen.

Erwarteter Fall: Der Vorfall spielt sich im innerstädtischen Bereich ab. Erhöhte Setzungen an der Bebauung werden dabei erwartet. Fassadensanierung der Setzungsschäden sind durchzuführen. Die zusätzlichen Schäden an Dritte deckt die Versicherung ab.

Schlimmster Fall: Der schlimmste Fall wird mit einem Faktor fünf des erwarteten Fall eingeschätzt.

Monetäre Auswirkung: Die deterministische Auswirkung berechnet sich durch die Eintrittswahrscheinlichkeit von 1 mal multipliziert mit dem erwartetem monetärem Ergebnis und ergibt eine Summe von 50.000 €. Die probabilistische Auswirkung und deren Wahrscheinlichkeiten sind in Abb. 5.17 dargestellt.

Bester Fall	Erwarteter Fall	Schlimmster Fall
0 €	50.000 €	250.000 €

Deterministische Auswirkung

$$1 \text{ mal} * 50.000 \text{ €} = 50.000 \text{ €}$$

Probabilistische Auswirkung:

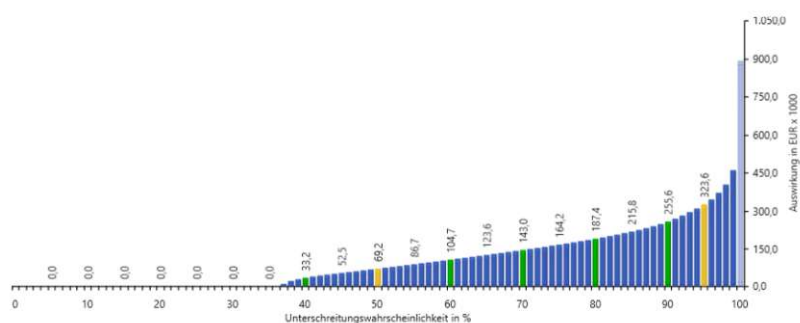


Abb. 5.17: Probabilistische Auswirkung: Risiko 02K (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])

Risiko 03K – Verschleiß TVM-Schild

Das Projekt sieht über die Stecke hinweg einige Wanddurchfahrten in Spritzbetonweise vor. Weiters sind quarzhaltige abrasive Sande in gewisse Vortriebsbereiche nicht auszuschließen.

Auswirkung: Erhöhter Verschleiß an den Abbau- und Förderwerkzeugen. Abbauwerkzeuge müssen entweder repariert oder ausgetauscht werden.

Eintrittswahrscheinlichkeit: 2 mal

Bester Fall: Reparaturen können größtenteils, während den vorgehesehenen Zeiten im Leistungsverzeichnis, erledigt werden.

Erwarteter Fall: Disken oder Förderwerkzeuge müssen vollständig ausgetauscht werden. Dabei verliert man einen Tag an Vortriebsleistung.

Schlimmster Fall: Förderwerkzeuge sind teils schwer beschädigt. Die Kombination aus beschädigten Förderwerkzeuge und defekten Disken kann zu 2 Kalendertage Verzögerung führen.

Monetäre Auswirkung: Die Bandbreiten der probabilistischen Auswirkung kann man in Abb. 5.18 entnommen werden. Man erkennt, dass in 13,53 % der Fälle keine Auswirkung ermittelt wird. Dies ist auch in der Abb. 5.8 dargestellt. Die monetäre deterministische Auswirkung beläuft sich auf 40.000 €.

Bester Fall	Erwarteter Fall	Schlimmster Fall
5.000 €	20.000 €	30.000 €

Deterministische Auswirkung

2 mal * 20.000 € = 40.000 €

Probabilistische Auswirkung:

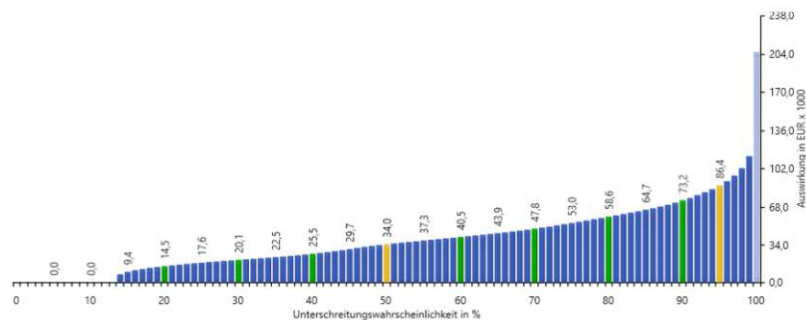


Abb. 5.18: Probabilistische Auswirkung: Risiko 03K (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])

Zusammenfassung Risiken im kontinuierlichen Vortrieb

Alle drei, für den kontinuierlichen Vortrieb, identifizierten Einzelrisiken betreffen die Tunnelvortriebsmaschine. Zwei Risiken hängen mit dem Schneidrad und dessen Förderwerkzeuge zusammen und das dritte Risiko behandelt die Sicherung der Ortsbrust. Das Risiko 01K wurde mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von einem Drittel eingeschätzt und die restlichen Zwei mit einer einfachen bzw. zweifachen Auftretensrate. Die monetären Auswirkungen spannen eine Bandbreite von bestenfalls 0 € bis 4 Millionen € im schlechten Fall auf.

Monetäre Auswirkung

Berechnet man die monetären Auswirkungen mit der deterministischen Methode, ergibt sich eine Risikobewertung laut Tab. 5.5 von 502.500 €. In der Abb. 5.19 erkennt man die probabilistischen Ergebnisse des kontinuierlichen Vortrieb. Die Unterschreitungswahrscheinlichkeit von einem Schaden von 2,30 Millionen €, bei dem kontinuierlichen Vortrieb in diesem Modell, liegt bei 90 %.

Tab. 5.5: Deterministischer Wert für die Risikobewertung des kontinuierlichen Vortriebs

Risiko 01K =	412.500 €
Risiko 02K =	50.000 €
Risiko 03K =	40.000 €
Summe =	502.500 €

Probabilistische Auswirkung:

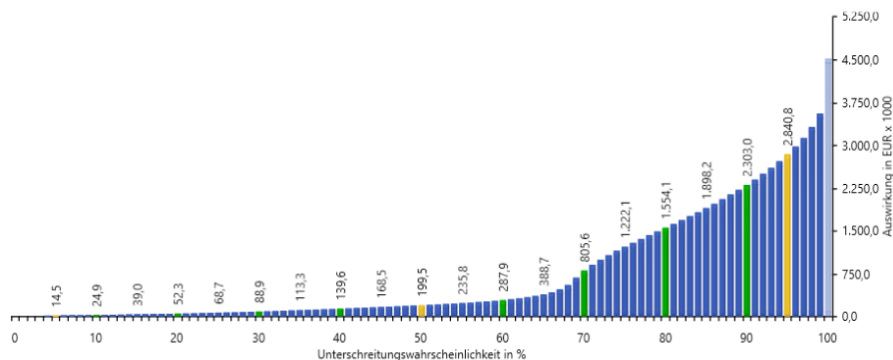


Abb. 5.19: Probabilistische Auswirkung: Risiken im kontinuierlichen Tunnelbau (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])

5.2.3 Risiken im Tunnelbau bezüglich Setzungen und Hebungen

Die Herstellung und der Betrieb der Setzungskompensation birgt nicht nur die nachfolgenden Risiken. Das Thema ist ein besonderes Merkmal für ein urbanes Infrastrukturprojekt. Mehr als die Hälfte der Trassenführung ist beim Projekt Linienkreuz U2/U5 überbaut. Hierbei ist zu erwähnen, dass sich die Überbauung von Eisnebahntrassen der Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB), über historische Gebäude, bis hin zu Botschaften erstreckt.

Risiko 01S – Hebungsinjektionen (Herstellung und Betrieb)

Die Herstellung des Setzungskompensationsschachts ruft eine Gefährdung der Widerlagerfundamente der ÖBB hervor. Hindernisse und Altlasten könnten einen Sprüschatten der Hebungsinjektionen verursachen.

Auswirkung: Setzungen an der ÖBB-Trasse durch mangelhaften oder nicht flächendeckenden Kompensationsteppich.

Eintrittswahrscheinlichkeit: 30 %

Bester Fall: Zur Herstellung eines fachgerechten Kompensationsteppiches sind nur wenige Zusatzbohrungen notwendig.

Erwarteter Fall: Die Hebungsinjektionen bleiben aufgrund von Nachsetzungen länger in Betrieb.

Schlimmster Fall: Setzungskompensationen funktionieren nicht wie erwartet. Es stellen sich Setzungen genau an der Stelle der ÖBB-Trasse ein und die wirken sich zwangsläufig auf den Betrieb aus.

Monetäre Auswirkung: Die Einschätzung der monetären erwarteten Auswirkung bei schlagend werdenden Risiko beträgt 1 Millionen (Mio.) und die deterministische Bewertung beträgt 30 % davon. Die probabilistische Auswertung ist in Abb. 5.20 abgebildet.

Bester Fall	Erwarteter Fall	Schlimmster Fall
100.000 €	1.000.000 €	10.000.000 €

Deterministische Auswirkung

$$30 \% * 1.000.000 \text{ €} = 300.000 \text{ €}$$

Probabilistische Auswirkung:

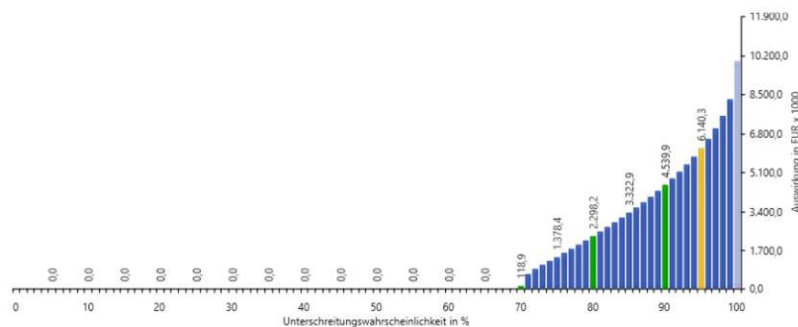


Abb. 5.20: Probabilistische Auswirkung: Risiko 01S (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])

Risiko 02S – Leistungsposition Setzungskompensation

Zur Sicherung der Überbauung wurden im Leistungsverzeichnis des Linienkreuzes eine Position ausgeschrieben die die Herstellung, den Betrieb und die Messsysteme für die Setzungskompensationen festhält. Bei diesem Risiko handelt es sich auch um eine *Chance*. Das Messsysteme und das Setzungskompensationssystem werden ordnungsgemäß betrieben, wie in der Position im Leistungsverzeichnis ausgeschrieben.

Auswirkung: Zeitliche und räumliche Mehr- oder Mindererstreckung der Setzungskompensationsmaßnahmen können zu Mehr- oder Minderkosten führen.

Eintrittswahrscheinlichkeit: 10 %

Bester Fall: Durch die Unsicherheit der Größenordnung der Leistungsposition *Setzungskompensation* werden am Ende des Projektes die Setzungskompensationsmaßnahmen mit Minderleistungen abgerechnet.

Erwarteter Fall: Die Leistungsposition wird vollumfänglich ausgenutzt und für Betrieb und Herstellung entstehen die geplanten Kosten.

Schlimmster Fall: Die Einschätzung der Teilnehmer beläuft sich auf die doppelte Menge an Mehrleistung, als Minderleistung möglich ist. Der Grund für diesen Beschluss war die Möglichkeit einer zusätzlichen Schachtkompensation als Sicherungsmaßnahme.

Monetäre Auswirkung: Der erwartete Fall als umfängliche abgerechnete Leistungsposition, also Plankosten sind gleich IST-Kosten, ist gleichzeitig die deterministische Risikobewertung. Der Betrag beträgt für dies Risiko 0 €. Die probabilistische Auswirkung hingegen erstreckt sich von Minusbeträgen bis hohe sechstellige Beträge und ist in Abb. 5.21 ersichtlich.

Bester Fall	Erwarteter Fall	Schlimmster Fall
- 370.000 €	0 €	740.000 €

Deterministische Auswirkung

$$10 \% * 0 \text{ €} = 0 \text{ €}$$

Probabilistische Auswirkung:

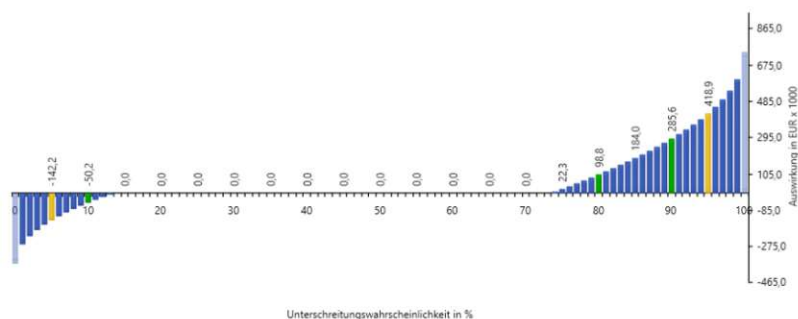


Abb. 5.21: Probabilistische Auswirkung: Risiko 02S (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])

Risiko 03S – Setzungsrisiko

Eine Überschreitung der zulässigen Verdrehungen an der Überbauung entsteht. Hebungs- und Setzungsgrenzwerte können nicht eingehalten werden.

Auswirkung: Anfällige Gebäude überhalb der Trasse verdrehen, heben und/oder setzen sich.

Eintrittswahrscheinlichkeit: 2 mal

Bester Fall: Es entstehen kleine Risse an Gebäuden. Diese schränken keinesfalls die Tragwirkung der Gebäude ein. Geringfügige Maler- und Spachtlerarbeiten werden benötigt um die ästhetischen Reperaturarbeiten durchzuführen.

Erwarteter Fall: Zusätzliche lokale Injektionen zur Unterkante der Gebäude müssen vom Tunnel aus durchgeführt werden. Eine kurzzeitige Unterbrechung des Vortriebs ist notwendig. Die Schäden am Gebäude müssen saniert werden.

Schlimmster Fall: Der TVM-Vortrieb wird eingestellt und Injektionsmaßnahmen werden Untertage ausgeführt. Weiters sind vom bestehenden Schacht aus zusätzliche Injektionsarbeiten notwendig.

Monetäre Auswirkung: Die zweifache Auftretensrate führt zu einer deterministischen Risikobewertung von den doppelten Betrag des erwarteten Falles und beläuft sich auf 80.000 €. Die probabilistische Auswertung laut Abb. 5.22 hingegen beginnt bei einer Unterschreitungswahrscheinlichkeit von 14 % und erhöht sich bis zu einem Betrag von über einer Million.

Bester Fall	Erwarteter Fall	Schlimmster Fall
5.000 €	40.000 €	600.000 €

Deterministische Auswirkung

$$2 \text{ mal} * 40.000 \text{ €} = 80.000 \text{ €}$$

Probabilistische Auswirkung:

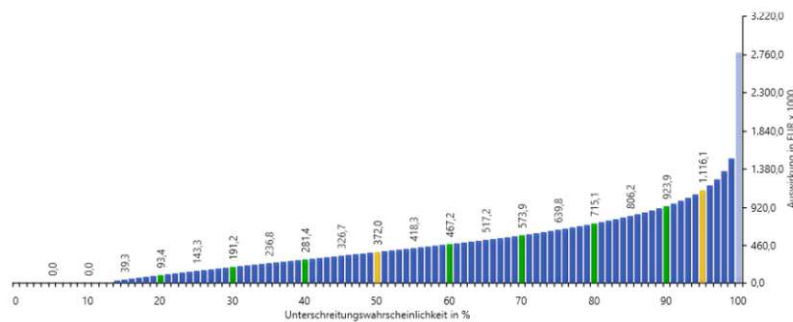


Abb. 5.22: Probabilistische Auswirkung: Risiko 03S (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])

Zusammenfassung der Risiken der Thematik Hebungen und Setzungen

Durch die weiterstreckten beeinflussten Flächen des U-Bahnbaus in Wien werden die Kompensationsrisiken sehr individuell abgeschätzt. Gewisse Teilbereiche des Projektes sind mehr betroffen, als andere Baulose. Bei dieser Thematik wird die einzige Chance in diesem Modell hinterlegt.

Monetäre Auswirkung

Die deterministische Risikobewertung beläuft sich laut Tab. 5.6 auf 380.000 €. Bei der probabilistischen Berechnung (siehe Abb. 5.23) kann man im linken Bereich erkennen, dass die Wahrscheinlichkeit besteht aus den Hebungen und Setzungen einen Gewinn zu erzielen. Nach den ersten Prozenten der Unterschreitungswahrscheinlichkeit bleibt ein gewisser Prozentanteil ohne Auswirkungen. Zu 50 % wird eine Schadenssumme zustande kommen die den Wert 657.000 € nicht überschreitet.

Tab. 5.6: Deterministischer Wert für die Risikobewertung der Risiken von Hebungen und Setzungen

Risiko 01S =	300.000 €
Risiko 02S =	0 €
Risiko 03S =	80.000 €
Summe =	380.000 €

Probabilistische Auswirkung:

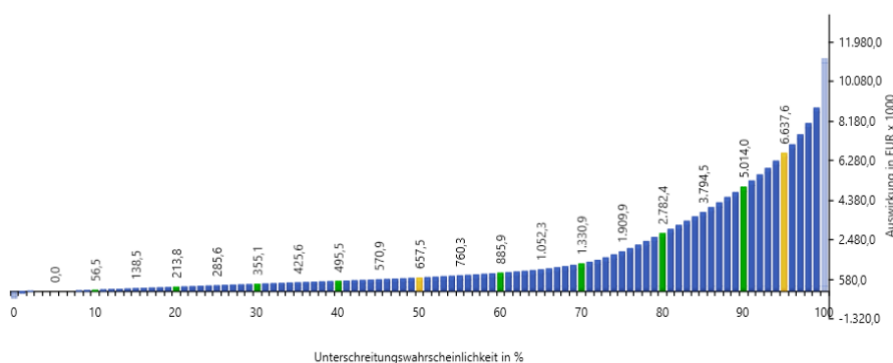


Abb. 5.23: Probabilistische Auswirkung: Risiken bei Hebungen und Setzungen (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])

5.2.4 Risiken im Tunnelbau bezüglich Findlinge im Tunnelbau

Ein Risiko dieses Abschnittes widmet sich den unbekanntem Hindernis während dem kontinuierlichen Vortrieb. Die zwei weiteren Risiken behandeln die archäologischen Funde im Untergrund sowie die Kampfmittelräumung als spezifisches Risiko.

Risiko 01F – Unbekanntes Hindernis im TVM-Vortrieb

Während dem kontinuierlichen Vortrieb ist das Antreffen von Brunnen, Stahlrohren oder sonstigen unbekanntem Einbauten nicht ausgeschlossen. Weitere Hindernisse wie künstliche Hohlräume oder Schächte könnten den Vortrieb behindern.

Auswirkung: Die Auswirkungen reichen von Versagen der Ortsbruststützung mit Druckverlust, über Nachbrüche bis hin zu Setzungserscheinungen an der Oberfläche.

Eintrittswahrscheinlichkeit: 2 mal

Bester Fall: Als bester Fall wurde eingeschätzt, dass ein unbekannter Pfahl angetroffen wird. Dieser kann ohne großem Aufwand von der Abbaukammer aus rückgebaut werden kann.

Erwarteter Fall: Ein unbekannter Pfahl wird angefahren. Minimale Beschädigungen des Schneidrades sind ohne großen Reparaturaufwand zu beseitigen.

Schlimmster Fall: Das unbekanntes Hindernis besteht aus Stahl und beschädigt das Schneidrad stark. Reparaturen sind nur mit aufwändigen Arbeiten auszuräumen.

Monetäre Auswirkung: Der deterministische Wert der Risikobewertung beträgt 3 Mio. Die probabilistische Auswertung ist in Abb. 5.24 dargestellt.

Bester Fall	Erwarteter Fall	Schlimmster Fall
350.000 €	1.500.000 €	5.000.000 €

Deterministische Auswirkung

$$2\text{mal} * 1.500.000 \text{ €} = 3.000.000 \text{ €}$$

Probabilistische Auswirkung:

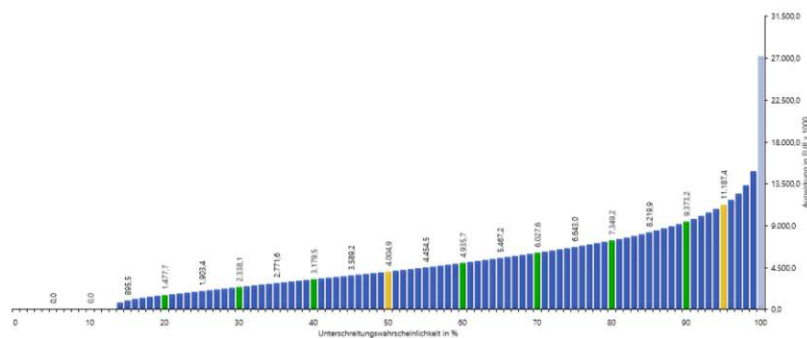


Abb. 5.24: Probabilistische Auswirkung: Risiko 01F (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])

Risiko 02F – Kampfmittelräumung

Dieses Risiko behandelt die Kampfmittelräumung begrenzt auf einen speziellen Gebiet, das nicht durch das übergeordnete Kampfmittelräumungsrisiko abgedeckt ist. Ursache dieses Risikos ist das Auffinden von Explosionskörpern im Baubereich.

Auswirkung: Kampfmittelsondierungen und spezielle Vorgehensweise bei der Untersuchung der gefundenen Kampfmittel.

Eintrittswahrscheinlichkeit: 3 %

Bester Fall: Überreste von kleinen Sprengmitteln werden angetroffen. Sichtlich keine Explosionsgefahr vorhanden.

Erwarteter Fall: Sprengmittel wie Granaten oder ähnliches werden gefunden. Kurze Sondierungsarbeiten sind möglich.

Schlimmster Fall: Größerer Kampfmittelaltlasten werden angetroffen. Aufwändige Kampfmittelsondierungen sind notwendig.

Monetäre Auswirkung: Die deterministische Auswirkung des Risikos beträgt 300 €. In der Abb. 5.25 ist die probabilistische Auswirkung dargestellt. Hierbei kann man die tiefe Eintrittswahrscheinlichkeit gut erkennen.

Bester Fall	Erwarteter Fall	Schlimmster Fall
3.000 €	10.000 €	100.000 €

Deterministische Auswirkung

$$3 \% * 10.000 \text{ €} = 300 \text{ €}$$

Probabilistische Auswirkung:

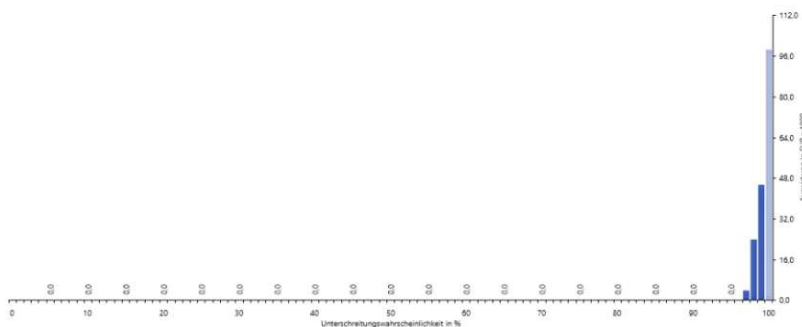


Abb. 5.25: Probabilistische Auswirkung: Risiko 02F (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])

Risiko 03F – Archäologische Funde

Im Leistungsverzeichnis ist ein schichtweiser Abtrag inklusive Bauzeit für kleinere Funde vorgesehen. Hochgradige Funde sind in dieser erwähnten Position nicht enthalten.

Auswirkung: Ersatzmaßnahmen und Grabungen müssen eingeleitet werden.

Eintrittswahrscheinlichkeit: 75 %

Bester Fall: Es fallen Kosten für eine einfache Bergung an.

Erwarteter Fall: Mehrere archäologische Gegenstände werden gefunden. Zusätzlich zu den Ausgrabungen muss ein Abschlussbericht erstellt werden.

Schlimmster Fall: Aufwändige denkmalrechtliche Auflagen sind zu erfüllen. Kosten für Fund- und Grabungsbericht kommen zu tragen.

Monetäre Auswirkung: Der deterministisch berechnete Betrag der Risikobewertung beläuft sich auf 22.500 €. Durch die 75 % Eintrittswahrscheinlichkeit und der Dreipunktschätzung ergibt sich eine probabilistische Auswirkung wie in Abb. 5.26 dargestellt.

Bester Fall	Erwarteter Fall	Schlimmster Fall
2.500 €	30.000 €	120.000 €

Deterministische Auswirkung

$$75 \% * 30.000 \text{ €} = 22.500 \text{ €}$$

Probabilistische Auswirkung:

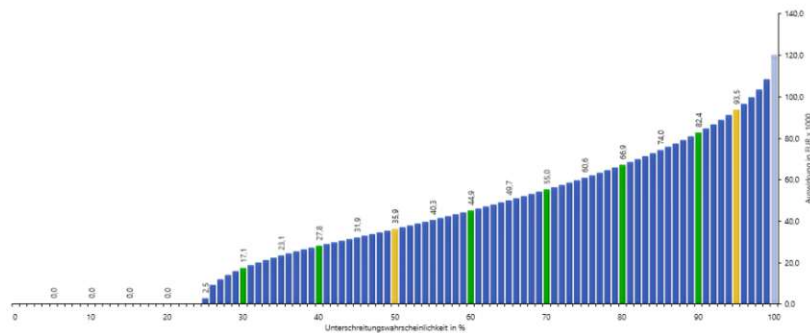


Abb. 5.26: Probabilistische Auswirkung: Risiko 03F (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])

Zusammenfassung Risiken in Hinblick auf Findlinge im Untergrund

Die Kategorie der Findlinge behandelt unbekannte Hindernisse im Untergrund. Der Baugrund kann nur bis zu einem gewissen Maß im Vorfeld erkundet werden. Diverse Vorkehrungen wurden durch spezielle Positionen im Leistungsverzeichnis getroffen. Doch durch die hohen Unsicherheiten im Baugrund sind diese Risiken nicht abgedeckt.

Monetäre Auswirkung

Die Tab. 5.7 stellt die deterministische Risikobewertung dar. Daraus ergibt sich in Summe ein Wert von 3.022.800 €. In der Abb. 5.27 erkennt man die breit gestreute Wahrscheinlichkeitsberechnung. Zu 3 % tritt laut der Berechnung kein Risiko ein und es fallen somit auch keine Kosten an. Zu 50 % fallen Kosten über 4 Millionen an. Der Höchstwert, der in 95 % der Fälle nicht überschritten wird, liegt bei 11,2 Millionen €.

Tab. 5.7: Deterministischer Wert für die Risikobewertung der Findlinge

Risiko 01F =	3.000.000 €
Risiko 02F =	300 €
Risiko 03F =	22.500 €
Summe =	3.022.800 €

Probabilistische Auswirkung:

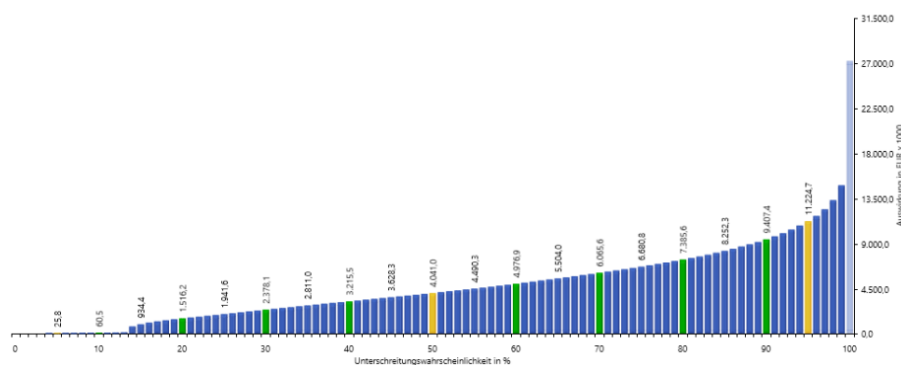


Abb. 5.27: Probabilistische Auswirkung: Risiken in Hinblick auf Findlinge (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])

5.2.5 Risiken im Tunnelbau in Kombination mit Grundwasser

Die folgenden drei Risiken behandeln das Thema Grundwasser im Tunnelvortrieb. Zwei der drei Risiken beschäftigen sich mit der Absenkwirkung der im Vorfeld geplanten Brunnen. Das dritte Risiko beschreibt das Szenario von nicht entdeckten wasserführenden Sandschichten.

Risiko 01G – Unzureichende Absenkwirkung

Die Grundwasserentspannung erfolgt nicht wie geplant. Dieses Umstand ist speziell bei der Schachtherstellung zu erwarten.

Auswirkung: Die laufende Pegelmessung schlägt wegen zu hohen Drücken aus. Mögliche Maßnahme wären mehr Brunnen zu errichten.

Eintrittswahrscheinlichkeit: 1 mal

Bester Fall: Es sind keine weiteren Brunnen notwendig. Vereinzelt Maßnahmen zur Grundwasserabsenkung sind vom Teilnehmerkreis vorstellbar.

Erwarteter Fall: Während der Schachtherstellung werden zusätzliche Maßnahmen zur Grundwasserentspannung notwendig. Maßnahmekosten wie Lanzen und Pumpen werden schlagend.

Schlimmster Fall: Wie beim erwarteten Fall, nur dass Vakuumlanzen eingesetzt werden müssen (höhere Kosten). Zudem ist eine aufwändige Wasserableitung notwendig.

Monetäre Auswirkung: Die deterministische Berechnung erfolgt über der Multiplikation der mehrfach abgeschätzten Auftretensrate (1 mal) mit dem erwarteten Betrag, bei schlagend werdenen Risikos. Die probabilistische Auswertung sieht bei der Poissonverteilung (einfach auftretendes Risiko) in 36,79 % der Fälle kein Eintritt vor. Damit eine 100 %ige Wahrscheinlichkeit gegeben werden kann, müssen die 0,01 % der Eintrittswahrscheinlichkeit von siebenfachen Eintritt abgedeckt werden. Dies ist in Abb. 5.28 am rechten Rand am Ausreißer ersichtlich.

Bester Fall	Erwarteter Fall	Schlimmster Fall
25.000 €	100.000 €	250.000 €

Deterministische Auswirkung

$$1\text{mal} * 100.000 \text{ €} = 100.000 \text{ €}$$

Probabilistische Auswirkung:

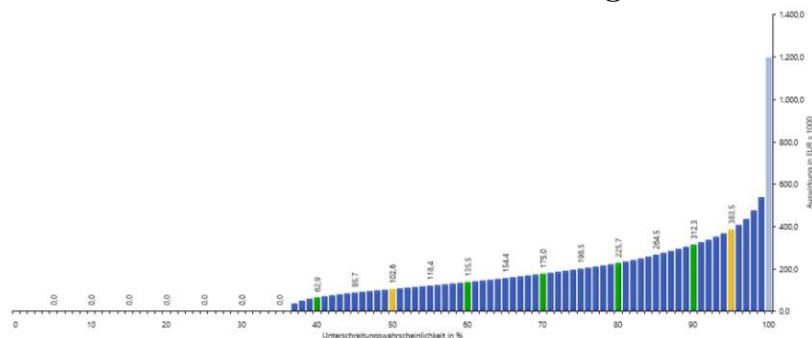


Abb. 5.28: Probabilistische Auswirkung: Risiko 01G (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])

Risiko 02G – Wasserführende Sandschichten

Ein Pilotstollen soll die Entwässerung im Vortriebsbereich gewährleisten. Das Antreffen von nicht entwässerten, lokalen Sandschichten ist trotzdem möglich.

Auswirkung: Störung des Vortriebs durch Eintreten von zusätzlichem Grundwasser.

Eintrittswahrscheinlichkeit: 20 %

Bester Fall: Eine kleine Sandlinse im Vortriebsbereich wird angetroffen. Keine großen Schwierigkeiten zur zusätzlichen Entwässerung notwendig.

Erwarteter Fall: Das Antreffen von einer lokalen Sandlinse, ohne Verbindung zum Pilotstollen, wird als erwarteter Fall festgehalten. Zudem können Entwässerungsanlagen notwendig sein.

Schlimmster Fall: Eine Sandlinse mit hoher Wasserführung wird angetroffen. Diese ist wieder ohne Verbindung zum Pilotstollen und muss durch Vakuumanlagen entwässert werden. Die Vortriebsleistung wird reduziert.

Monetäre Auswirkung: Der deterministische Wert der Risikobewertung liegt bei 15.000 €. In der Abb. 5.29 kann man die 20 %ige abgeschätzte Wahrscheinlichkeit erkennen. In 80 % der Fälle geschieht nichts und den anderen 20 % wird die Auswirkung probabilistische dargestellt.

Bester Fall	Erwarteter Fall	Schlimmster Fall
25.000 €	75.000 €	200.000 €

Deterministische Auswirkung

$$20\% * 75.000 \text{ €} = 15.000 \text{ €}$$

Probabilistische Auswirkung:

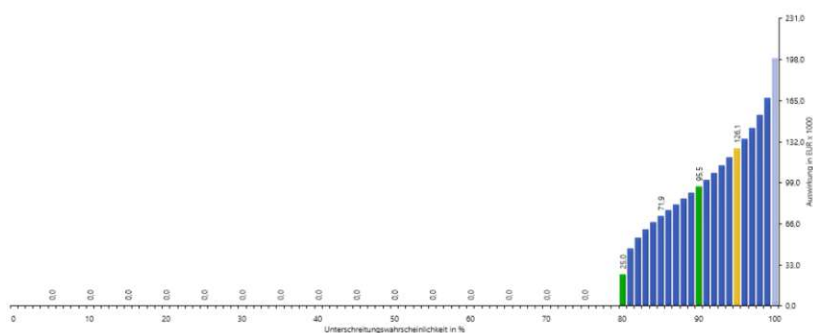


Abb. 5.29: Probabilistische Auswirkung: Risiko 02G (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])

Risiko 03G – Umsetzung Wasserhaltung

Knapp 200 Brunnen sind zur Grundwasserabsenkung geplant. Teilweise sind diese exponierte Standorte stationiert. Durch die hohen Planungsunsicherheiten entstehen Mehrkosten..

Auswirkung: Die Standorte der Brunnen müssen neu untersucht werden. Eine andere vorstellbare Auswirkung ist, dass der Absenkerfolg nur vom Vortriebsbereich gewährleistet werden kann.

Eintrittswahrscheinlichkeit: 4 mal

Bester Fall: Es fallen nur kleine Änderungen der Durchmesser bei der Brunnenherstellung an.

Erwarteter Fall: Der erwartete Fall beläuft sich auf eine Reduktion der Vortriebsleistung und Herstellung neuer, nicht geplanter Brunnen.

Schlimmster Fall: Der erwartete Fall wird mit dem Faktor zehn multipliziert.

Monetäre Auswirkung: Durch die abgeschätzte 4-fache Auftretensrate dieses Risikos 03G geschieht laut 5.9 in nur 1,83 % der Fälle nichts. Die große Spannweite der probabilistischen Berechnung ist in Abb. 5.30 dargestellt. Der deterministische Wert beläuft sich auf 120.000 €.

Bester Fall	Erwarteter Fall	Schlimmster Fall
8.000 €	30.000 €	300.000 €

Deterministische Auswirkung

$$4\text{mal} * 30.000 \text{ €} = 120.000 \text{ €}$$

Probabilistische Auswirkung:

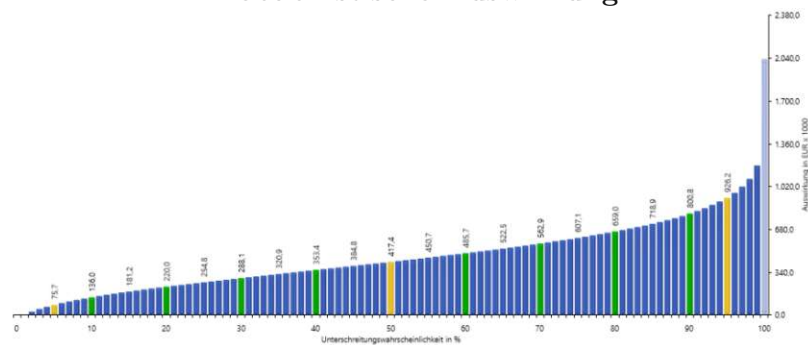


Abb. 5.30: Probabilistische Auswirkung: Risiko 03G (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])

Zusammenfassung der Risiken im Tunnelbau mit Grundwasser

Die Wasserhaltung ist ein wesentliches Thema des Tunnelbaus. Es birgt einerseits viele Risiken und die Auswirkungen dieser Risiken sind nicht nur Kosten relevant, sondern schlagen sich auch auf die Vortriebsleistung nieder. Es ist von hoher Bedeutung die Grundwasserhaltung im Vorfeld so gut wie möglich zu planen, trotzdem bleibt immer ein Restrisiko bestehen.

Monetäre Auswirkung

Die deterministische Risikobewertung ist die Summe der drei Einzelrisiken und beläuft sich laut Tab. 5.8 auf 235.000 €. Die Ergebnisse aus der probabilistischen Berechnung sind mit einer Bandbreite versehen. Die Abb. 5.31 gibt eine Spannweite an, bei der Wahrscheinlichkeitsaussagen getroffen werden können. Die Wahrscheinlichkeit, dass der deterministische Wert überschritten wird, liegt in dem Fall bei 90 %.

Tab. 5.8: Deterministischer Wert für die Risikobewertung Grundwasserhaltung

Risiko 01G =	100.000 €
Risiko 02G =	15.000 €
Risiko 03G =	120.000 €
Summe =	235.000 €

Probabilistische Auswirkung:

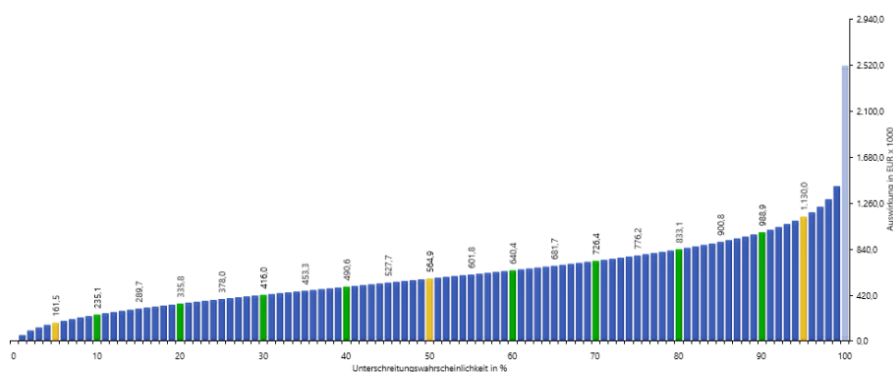


Abb. 5.31: Probabilistische Auswirkung: Risiken der Grundwasserhaltung (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])

5.2.6 Risiken bei Spezialtiefbauarbeiten im Tunnelbau

Spezialtiefbauarbeiten sind im Tunnelbau unverzichtbar. In diesem Abschnitt werden drei unterschiedliche Risiken bewertet, um die breite Streuung des Themenbereichs Tunnelbau zu unterstreichen.

Risiko 01E – Verformung durch Bodenvereisung

Durch die Bodenvereisung kann es zu unvorhersehbaren Eislinsenbildungen kommen. Somit besteht die Gefahr von nicht prognostizierten Hebungen oder höheren nicht geplanten Setzungen.

Auswirkung: Die geplante Setzungskompensation reicht nicht aus. Weitreichende Maßnahmen wie Rückstellinjektionen oder Nachgründungen könnten die Folge sein.

Eintrittswahrscheinlichkeit: 10 %

Bester Fall: Kleine Überschreitungen der Grenzwerte können mit geplanten Maßnahmen abgewendet werden.

Erwarteter Fall: Die darüberliegende ÖBB-Trasse setzt sich im Zentimeterbereich. Die Ausbesserungen können mit einem Gleisstopfgang behoben werden.

Schlimmster Fall: Der schlimmste erdenkliche Fall wäre, wenn das Risiko eine Betriebsstörung der darüber liegenden Trasse auslösen würde.

Monetäre Auswirkung: Die monetäre Auswirkung der deterministischen Berechnung wird mit 5.000 € bemessen. In der probabilistische Auswirkung, wie sie in Abb. 5.32 dargestellt wird, tritt der deterministische Wert gar nicht auf. Das rührt sich daher, da der beste Fall bei schlagend werdenden Risiken mit 10.000 € bewertet wurde.

Bester Fall	Erwarteter Fall	Schlimmster Fall
10.000 €	50.000 €	1.000.000 €

Deterministische Auswirkung

$$10 \% * 50.000 \text{ €} = 5.000 \text{ €}$$

Probabilistische Auswirkung:

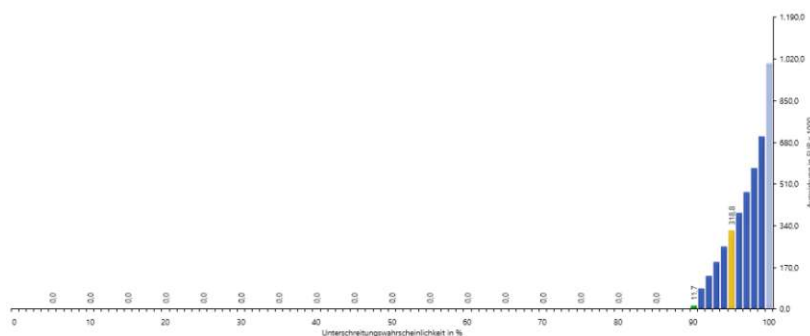


Abb. 5.32: Probabilistische Auswirkung: Risiko 01E (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])

Risiko 02E – Querschläge Stollen – Doppelquerschlag

Die komplexe Geometrie des Doppelschlags erfordert einen mehrzelligen Vortrieb in Etappen. Ein vorgezogener Pfeilerstollen wurde als Maßnahme im Vorfeld definiert.

Auswirkung: Beim zyklischen Vortrieb des Doppelquerschlags bleibt ein Setzungsrisiko, sowie ein Ausführungsrisiko bestehen.

Eintrittswahrscheinlichkeit: 90 %

Bester Fall: Der beste Fall wird mit einer monetären Auswirkung von 50 % des erwarteten Falles abgeschätzt.

Erwarteter Fall: Die Arbeitsvorbereitung des Auftragnehmers war mangelhaft. Die Überbauung setzt sich nach ersten Ausführungen und Setzungsmaßnahmen trotzdem, es bleibt ein Risiko von 80.000 € in der Sphäre des AG's.

Schlimmster Fall: Weitere nicht ausgeschriebene Maßnahmen kommen zum Tragen. Mehrkosten aus reduzierter Vortriebsleistung sind zu vergüten.

Monetäre Auswirkung: Die deterministische Bewertung von 72.000 € ergeben sich aus der Multiplikation von der Eintrittswahrscheinlichkeit mit dem erwarteten Betrag bei schlagend werdenden Risiken. Die probabilistische Auswirkung inklusive der Unterschreitungswahrscheinlichkeit ist in Abb. 5.33 ersichtlich.

Bester Fall	Erwarteter Fall	Schlimmster Fall
40.000 €	80.000 €	160.000 €

Deterministische Auswirkung

$$90\% * 80.000 \text{ €} = 72.000 \text{ €}$$

Probabilistische Auswirkung:

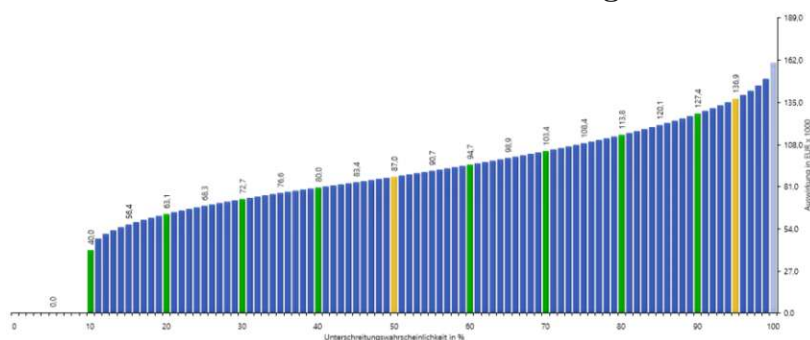


Abb. 5.33: Probabilistische Auswirkung: Risiko 02E (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])

Risiko 03E – DSV-Unterfangung der Häuser

Vor dem Aushub eines Schachtes muss die Funktionstüchtigkeit der DSV-Säulen unter den straßenseitig situierten Fundamenten der Häuser gegeben sein.

Auswirkung: Ohne die neu hergestellten DSV-Fundamente kann der Aushub des Schachtes nicht starten.

Eintrittswahrscheinlichkeit: 10 %

Bester Fall: Forcierungsarbeiten zur schnelleren und genaueren Herstellung der DSV-Unterfangungen müssen eingeleitet werden.

Erwarteter Fall: Qualität der Fundamentunterkanten ist nicht ausreichend oder unklar. Erhöhter Aufwand der Herstellung wegen feinkörnigem Untergrund.

Schlimmster Fall: Beschädigungen am bestehendem Fundament oder der Abdichtung am Gebäude werden angetroffen. Dadurch werden hohe Reparaturkosten werden fällig.

Monetäre Auswirkung: Die deterministische Risikobewertung beläuft sich wie im Risiko 01E auf 5.000 €. Die probabilistischen ausgewerteten Bandbreiten sind in Abb. 5.34 ersichtlich.

Bester Fall	Erwarteter Fall	Schlimmster Fall
10.000 €	50.000 €	200.000 €

Deterministische Auswirkung

$$10 \% * 50.000 \text{ €} = 5.000 \text{ €}$$

Probabilistische Auswirkung:

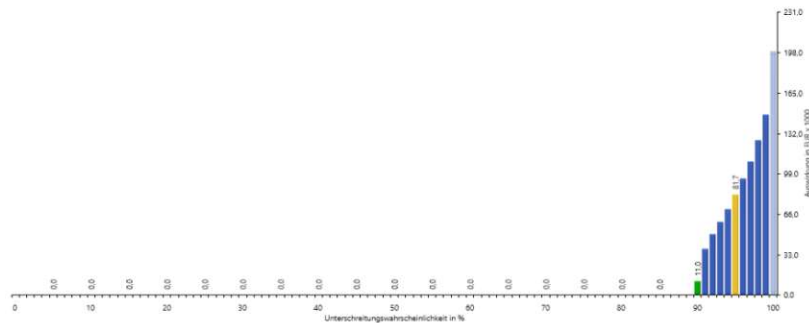


Abb. 5.34: Probabilistische Auswirkung: Risiko 03E (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])

Zusammenfassung der Spezialtiefbau Risiken

Bei innerstädtischen Infrastrukturprojekten herrschen immer Abhängigkeiten zu den Spezialtiefbauarbeiten. Die in diesem Abschnitt bewerteten Risiken stellen nur einen kleinen Teil der Spezialtiefbauarbeiten im Projekt dar. Bei jeder Station bergen sich verschiedenste Teifbau Risiken, die nicht alle genannt werden können.

Monetäre Auswirkung

Die deterministische Bewertung dieser drei Risiken fällt relativ unbedeutend in Hinblick auf die Thematik aus. Zwei der drei Risiken werden mit 5.000 € deterministisch bewertet und das Risiko 02E wird mit 72.000 € laut Tab. 5.9 bewertet. In der Abb. 5.35 erkennt man, dass die Wahrscheinlichkeit, dass keine Kosten anfallen werden, bei 8 % liegt. Zwischen der 10 % und der 80 % Unterschreitungswahrscheinlichkeit entsteht nur eine minimale Steigerung der Risikobewertung. Im Bereich einer Unterschreitungswahrscheinlichkeit von 90 – 95 % verdoppelt sich beinahe der Wert der Risikobewertung.

Tab. 5.9: Deterministischer Wert für die Risikobewertung der Spezialtiefbauarbeiten

Risiko 01E =	5.000 €
Risiko 02E =	72.000 €
Risiko 03E =	5.000 €
Summe =	82.000 €

Probabilistische Auswirkung:

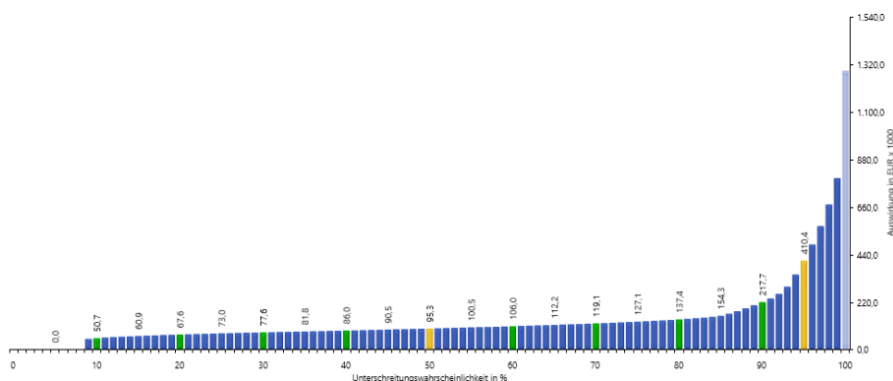


Abb. 5.35: Probabilistische Auswirkung: Risiken der Spezialtiefbauarbeiten (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])

5.2.7 Auswertung der Risiken aller Themenbereiche

Die Auswertung der getätigten Bewertung aller Risikobewertungen teilt sich in zwei Bereichen. Der erste Bereich widmet sich der deterministischen Risikobewertung und der zweite Abschnitt beschäftigt sich mit der probabilistischen Bewertung aller Risiken. Abschließend wird die Interpretation der Ergebnisse festgehalten. Die Auswertung erfolgt nach der Logik die in Abschnitt 3.3 Zusammenführung der Kostenbestandteile erläutert wurde. An dieser Stelle wird nochmals erwähnt, dass die Auswahl der Risiken nur ein Bruchteil eines realen Projektes abdecken und somit durch den Gesamtbetrag kein Rückschluss auf das Infrastrukturprojekt Linienkreuz U2/U5 gezogen werden kann.

Deterministische Risikobewertung

Die deterministische Berechnung der prognostizierten Risikokosten stützt sich auf die vier Grundrechenarten. Die Multiplikation wird dazu verwendet ein einzelnes Risiko zu bewerten. Für das Endergebnis werden alle einzeln berechneten Risiken addiert. Somit ergibt sich die deterministische Risikobewertung laut der Formel 3.1 auf Seite 50 und wird in der nachfolgenden Tab. 5.10 dargestellt.

Tab. 5.10: Deterministische Risikobewertung aller Themenbereiche

Summe der Risiken Z =	18.200 €
Summe der Risiken K =	502.500 €
Summe der Risiken S =	380.000 €
Summe der Risiken F =	3.022.800 €
Summe der Risiken G =	235.500 €
Summe der Risiken E =	82.000 €
<hr/>	
Summe der deterministischen Gesamtbewertung =	4.240.500 €

Entscheidet sich der Auftraggeber also für eine deterministische Risikobewertung, sollte er im Budget einen Betrag reservieren, die Summe der deterministischen Gesamtbewertung in den Kostenbestandteil *Risiko* verankern. In diesem speziellen Fall sind für die 24 vorselektierte Risiken 4.240.500 € zu horten. Wie im Kapitel 3 erläutert, ist dies nur ein Bestandteil der Kosten. Für die prognostizierten Projektkosten muss dieser mit den Kostenbestandteilen *Basiskosten* und *Vorausvalorisierung* ergänzt werden.

Probabilistische Risikobewertung

Die probabilistischen Kosten wurden mittels einer Monte-Carlo-Simulation bewertet. Das Ergebnis dieser computerunterstützten Berechnungsmethode bezieht sich auf Wahrscheinlichkeiten. Es werden % für eine Unter- bzw. Überschreitungswahrscheinlichkeit sämtlicher Risiken ausgewertet und zu einem Endergebnis aggregiert. Das Endergebnis dieser 24 selektierten Risiken ist in Abb. 5.36 dargestellt. Eine genauere Beschreibung der Software, sowie dessen Berechnungsmethode kann in Abschnitt 5.2 entnommen werden.

Die probabilistische Auswertung kann so verstanden werden, dass für eine 5 % Unterschreitungswahrscheinlichkeit 1,7 Mio. € vom Auftraggeber reserviert werden müssen. Das bedeutet im Umkehrschluss, dass dieses reservierte Budget zu 95 % überschritten wird. Möchte der AG eine Kostensicherheit von 50 %, müsste er für dieses Beispielprojekt knapp über 7,0 Mio. € okkupieren. Natürlich gelten diese Summen nur für den Kostenbestandteil *Risiko*. Möchte der AG eine Kos-

tenstabilität der prognostizierten Risikokosten von 80 % im Vorfeld budgetieren, sind 11,1 Mio. € zu reservieren. Hierzu kommen die beiden Bestandteile *Basiskosten* und *Vorausvalorisierung*.

Probabilistische Auswirkung:

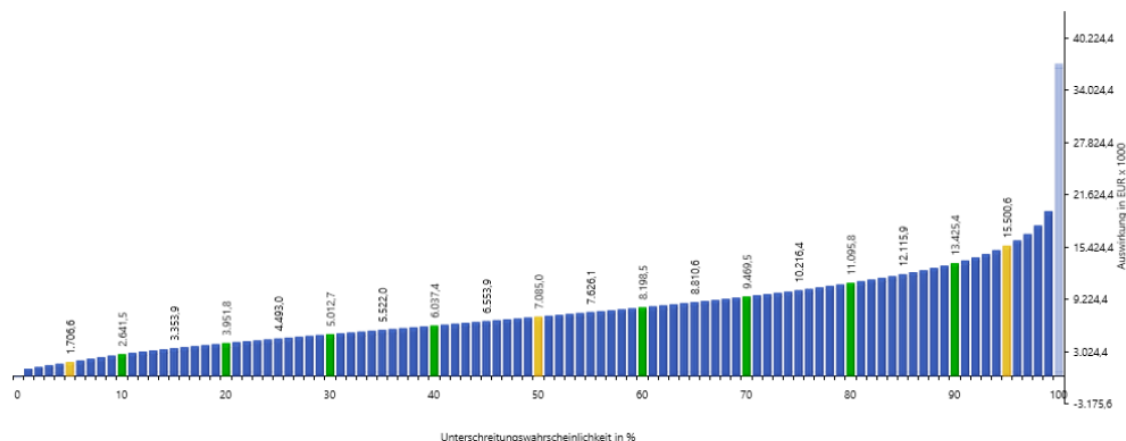


Abb. 5.36: Probabilistische Auswirkung aller Risiken (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])

5.2.8 Interpretation der Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die deterministischen Auswertungen der Themenbereiche mit den probabilistischen Ergebnissen verglichen. Die Begriffsbestimmungen wurden im Exkurs des Abschnitt 3.3 niedergeschrieben. An dieser Stelle werden die Begriffsbestimmungen kurz aufgefrischt. Laut Hofstadler und Kummer [12] kann der Begriff Deterministik von „bestimmen“ oder „festlegen“ hergeleitet werden und die Probabilistik charakterisiert die Wahrscheinlichkeit.

Werden die drei zyklischen Risiken 01Z – 03Z genauer betrachtet, erkennt man in Abb. 5.15 auf Seite 79, dass die drei eingeschätzten Wahrscheinlichkeiten von 25 %, 8 % und 15 % eine aggregierte Gesamtwahrscheinlichkeit von knapp über 40 % ergeben. Das bedeutet in 58 % der Fälle wird im zyklischen Vortrieb keines der identifizierten Risiken schlagend. Zudem kann man in der Abb. 5.15 erkennen, dass der Wert der zu 40 % überschritten wird bei 26.825 € liegt. Der Autor interpretiert dieses Ergebnis so, dass der deterministische Wert eine Eintrittswahrscheinlichkeit von knapp 1 % hat und dieser eigentlich mit aller höchster Wahrscheinlichkeit überschritten wird.

Betrachtet man den kontinuierlichen Vortrieb in Abb. 5.19 auf Seite 83, ergibt die probabilistische Auswirkung der Risiken im maschinellen Vortrieb ein konträres Bild. Durch die Abschätzung der beiden Risiken 02K und 03K durch eine mehrfache Auftretensrate ergibt die probabilistische Berechnung eine 3 % Wahrscheinlichkeit, dass keines der Risiken schlagend wird. Der deterministische Wert deckt, mit einer Summe von 502.500€, 67 % der Fälle ab.

Die einzige Thematik die eine Chance enthält ist in Abb. 5.23 auf Seite 87 abgebildet und es sind die Risiken bei Hebungen und Setzungen. Aggregiert man alle drei Risiken dieser Thematik, bleibt eine 3 % Chance bestehen. Folgend von 5 %, dass kein Risiko schlagend wird und eine Unterschreitungswahrscheinlichkeit des deterministischen Wertes von 37 %. Diese 37 % enthalten die Chance, sowie die Situationen wo kein Risiko eintritt.

Anschließend werden die Risiken im Zusammenhang mit Findlingen analysiert. Dieser Bereich birgt die höchste monetäre Auswirkung aufgrund vom Risiko 01F. Dass ein unbekanntes Hindernis die Tunnelvortriebsmaschine stört, wurde von den Experten als zweifach auftretendes Risiko eingeschätzt. Die Gesamtzusammenstellung in Abb. 5.27 auf Seite 91 ergibt, dass nur ein kleiner

Prozentsatz unverschont bleibt. Die deterministische Risikobewertung von über 3 Millionen, deckt wiederum 37 % der Fälle ab.

Der Umstand des Grundwassers im Untergrund ist durch das Abschätzen vom Risiko 03G mit einer Auftretensrate von 4 mal, der wahrscheinlichste Bereich der von den identifizierten Risiken betroffen ist. In der Probabilistik wird eine komplette 100 % Aussage nur sehr selten getroffen. Bei der Thematik des Grundwassers belegt die Berechnung, dass in 99 % der Fälle laut Abb. 5.31 auf Seite 95 ein Risiko schlagend wird. Die deterministische Berechnung deckt bei diesen drei Risiken nur 10 % der Iterationen ab.

Die probabilistische Risikobewertung der Spezialtiefbauarbeiten, abgeschätzt mit 10 %, 90 % und wiederum 10 %, ergibt eine Wahrscheinlichkeit von 8 %, dass keines der drei Risiken eintritt. Stellt man die probabilistische Berechnung in Abb. 5.35 auf Seite 99 der deterministischen gegenüber, so kommt man auf eine Unterschreitungswahrscheinlichkeit von 35 % des deterministischen Wertes.

Betrachtet man alle 24 identifizierten Risiken gemeinsam, findet der Wechsel von negativen Werten (Chance) auf die positiven Werte (Gefahr) im Bereich zwischen 0 und 1 % statt. Wie viel Budget sich der Auftraggeber für seine Risikobewertung reserviert, hängt ganz von der Risikopolitik des AG's ab. Die Werte und die dazugehörigen Kostensicherheiten wurden im vorherigen Abschnitt festgehalten.

Abschließend wird der deterministische Wert auf der Skala der Unterschreitungswahrscheinlichkeit eingereiht. Mit anderen Worten bedeutet das, in wievielen Fällen wäre die deterministische Risikobewertung laut der Probabilistik ausreichend gewesen. In der Abb. 5.37 ist der deterministische Wert in Rot bei 22 % eingetragen. Das heißt nach der Wahrscheinlichkeit der probabilistischen Berechnungsmethode fallen in 78 % der Fälle mehr Kosten an, als bei der deterministischen Berechnung.

Probabilistische Auswirkung:



Abb. 5.37: Probabilistische Auswirkung aller Risiken in Vergleich zum deterministischen Ergebnis (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])

Die Frage die sich der Autor an dieser Stelle stellt lautet, wo würden sich die erweiterten deterministischen Werte einordnen?

Werden die erweiterten deterministischen Werte (minimaler und maximaler Wert) mit der abgeschätzten Eintrittswahrscheinlichkeit multipliziert, sind sie ganz am Rande der probabilistischen Skala der Eintrittswahrscheinlichkeit zu finden. Das deterministische Ergebnis des

Minimums liegt bei 489.065 € und die Multiplikation der Eintrittswahrscheinlichkeit mit dem schlechtesten eingeschätzten Fall ergibt 17.280.100 €. Dies ist in Abb. 5.38 ersichtlich.

Probabilistische Auswirkung:

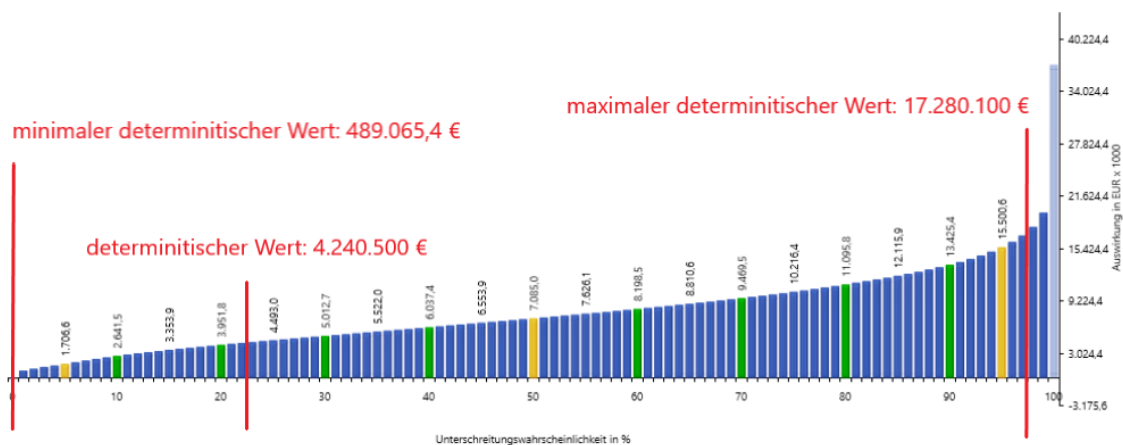


Abb. 5.38: Probabilistische Auswirkung aller Risiken in Vergleich zu den erweiterten deterministischen Ergebnisse (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])

5.2.9 Zusammenfassung

Nach Durchsicht des professionellen Kosten- und Risikomanagementes des Projektes Linienkreuz U2/U5 erlangt der Autor die Einsicht, dass je mehr Risiken bewertet werden, desto weiter bewegt sich der deterministische Wert Richtung kleinerer Unterschreitungswahrscheinlichkeit, beziehungsweise in höherer Überschreitungswahrscheinlichkeit. Dieses Phänomen kann bei Risikoanalysen mit einer hohen Anzahl an Bewertungen beobachtet werden. Die Voraussetzung dieses Ergebnis ist, dass die Spannweite zwischen erwarteten Fall und besten Fall kleiner ist, als beim erwarteten Fall und schlechtesten Fall.

Die Wichtigkeit der Risikobewertung unterstreicht auch ein Bericht des Rechnungshofs zu dem Bahnprojekt Brenner Basistunnel [32]. Die Risikokosten erhöhten sich um mehr als das Doppelte zwischen den Jahren 2002 und 2013, obwohl das Erkundungsprogramm weiter fortgeschritten war, Teile des Gesamtprojektes bereits fertiggestellt waren und der Projektkenntnisstand zugenommen hat. Die höheren Risikokosten resultierten aus der erstmaligen Fassung der nicht identifizierten Risiken.⁷⁹ Die differenzierte und wissenschaftliche Risikobewertung dient einerseits die zu erwartenden Kosten einzugrenzen und andererseits die dafür gewählten Ansätze zu objektivieren. Eine kohärente Risikobewertung baut auf einer sauberen Kostenermittlung auf. Die Kostenermittlung muss deshalb ein gewisses Maß an Standards erfüllen, da die Basiskosten die Grundlage für eine Risikoanalyse bilden. Die Basiskosten oder Plankosten sind in einer definierten Preisbasis unter definierten Annahmen von bekanntem Projektinhalt, Projektterminen und Marktsituation, ohne Kostenansätze für Wertanpassung und Gleitung, Risiken und Vorausvalorisierung darzustellen. Für eine aussagekräftige Prognose der Gesamtprojektkosten unter Betrachtung der erläuterten Kostenbestandteile im Kapitel 3, müssen die Basiskosten ohne Reserven jeglicher Art, dargestellt werden. Sind aus angebotsstrategischen Gründen Regiestunden oder Mengenreserven in den verschiedensten Positionen enthalten, müssen diese Risikoaufschläge

⁷⁹Vgl. Bericht des Rechnungshofes – Bahnprojekt: Brenner Basistunnel S. 23

ausgewiesen werden. Um den verschiedenen Planungstiefen, eines durch lange Projektphasen gekennzeichneten Projekts, gerecht zu werden, müssen bereits vergebene Leistungen und noch nicht vergebene Leistungen auf die selbe Preisbasis gehoben werden. Zur Vereinheitlichung der unterschiedlichen Planungsphasen können divergierende Werte für den Anteil des Unberücksichtigten herangezogen werden. Ein weiterer bedeutender Schritt des Risikomanagementprozesses ist die Systemabgrenzung, damit alle Beteiligten von derselben Basis ausgehen und Risiken möglichst einheitlich bewerten können.

Im nachfolgendem Kapitel wird anfangs die Arbeit kurz zusammengefasst. Weiters werden Aussagen zu den Berechnungsmethoden, der zugehörigen Aufwandsabschätzung und der Aussagekraft der Ergebnisse erörtert. Zusätzlich werden die Anfangs gestellten Forschungsfragen methodisch beantwortet. Außerdem wird ein Zitat und ein Ausblick die Arbeit abrunden.

Kapitel 6

Fazit

Im Fazit wird die letzte Konsequenz der Diplomarbeit festgehalten. Mit der Beantwortung der Forschungsfragen, der Kernaussage und dem Ausblick auf zukünftige Entwicklungen wird die Klammer um der Arbeit geschlossen. Die Forschungsfragen werden einzeln und direkt beantwortet. In der Kernaussage wird ein Zitat aus dem Artikel „Zur Bedeutung des ganzheitlichen Denkens bei der Realisierung von komplexen Infrastrukturprojekten“ [37] festgehalten, das die Arbeit aus Sicht des Autors sehr gut widerspiegelt. Am Ende wird ein Ausblick auf die möglichen zukünftigen Thematiken gegeben.

6.1 Beantwortung der Forschungsfragen

Für die im Kapitel 1 aufgestellten Forschungsfragen können keine exakten allgemeingültigen Formulierungen getroffen werden. Es wird jedoch eine, auf Basis der vorliegenden Arbeit, sinnvolle Schlussfolgerung aufgestellt und diese Anhand der berechneten Werte untermauert. Die zweite Forschungsfrage lässt einen großen Interpretationsspielraum zu. Dieser wird im Rahmen des beschriebenen Artikels und den Aussagen von Baurat h.c Dipl.-Ing. Dr. mont. Georg-Michael Vavrovsky beantwortet.

Forschungsfrage 1:

Wie werden Kosten bei Projekten der Verkehrsinfrastruktur aus Sicht der Auftraggebers ermittelt? Welche Bestandteile müssen dabei berücksichtigt werden?

Die Ermittlung der Kosten reicht von der Erstellung eines Kostenrahmens, bis hin zur Kostenfeststellung. Die Genauigkeit der Kostenermittlung ist von den fortschreitenden Projektphasen abhängig. Mit der Grundlagenplanung eines Projekts werden die ersten Kostenziele erstellt. Dieser Kostenrahmen wird mit voranschreitendem Projekt durch eine konsistente Fortschreibung präzisiert. In der Ausschreibungsphase, der letzten Stufe vor der Kostenfeststellung, wird auf Basis der Ausschreibungsunterlagen ein Kostenanschlag berechnet. Für eine kohärente Kostenermittlung ist eine übersichtliche Kostenstruktur unerlässlich. Die gewählte Struktur, auch Projektstrukturplan genannt, verpflichtet sich die Gesamtheit der Beziehungen zwischen den Elementen darzustellen. Für die Gliederung empfiehlt die ÖGG die Einteilung nach Realisierungsstufen, nach Objekten oder nach organisatorischen Funktionen.

Zur Ermittlung der prognostizierten Projektkosten ist eine weitere Gliederung notwendig. Die Aufteilung der Kostenbestandteile, dessen Größe wesentlich vom Projektablauf sowie einer bestimmten Marktpreisentwicklung abhängt, muss im Vorfeld geordnet festgelegt werden. Die auszuarbeitenden Kostenbestandteile sind wie folgt zu gliedern:

- Basiskosten

- Gleitung und Wertanpassung
- Risikokosten
- Vorausvalorisierung

Die Ermittlung der Basiskosten erfolgt je nach Projektphase und Art des Vertrages mit der Kennwert-, Element- oder Positionsmethode. Jede dieser Methoden kann in zwei verschiedenen Varianten durchgeführt werden. Dem Auftraggeber steht es frei das deterministische Verfahren oder das probabilistische Verfahren zu wählen. Bei dem starren, deterministischen Verfahren ist es schwierig Unsicherheiten zu berücksichtigen. Die ÖNORM B 1801–1 [2] sieht für diese unvorhersehbaren Ereignisse eine eigene Kostengruppe vor. In dieser sind Reservemittel des Budgets für Unvorhersehbares, Preisanpassungen, Bauherrenentscheidungen, Marktschwankungen und Qualitäts- oder Quantitätsanpassungen vorgesehen. Diese Reservemittel deterministisch zu prognostizieren ist unübersichtlich und stützt sich meist auf Erfahrung der zuständigen Projektleiter. Um dieser Problematik gerecht zu werden, können die prognostizierten Zahlen um Bandbreiten erweitert werden. Durch diese Ausdehnung der einzelnen Kennwerte, Elemente oder Positionen entsteht das probabilistische Verfahren.

Für den Kostenbestandteil *Risiko* steht dem AG das Richtwertverfahren, zur Ermittlung eines pauschalen Risiko-Zuschlag auf die Basiskosten, zur Verfügung. Nach der Durchführung des Richtwertverfahrens, entscheidet der AG, ob dieses Verfahren für seine Kostenermittlung hinreichend genau ist oder ob er das Verfahren mit Einzelrisikobewertung durchführen möchte.

Der Kostenbestandteil *Vorausvalorisierung* steht in Wechselbeziehung mit den zuvor genannten Kostenbestandteilen *Gleitung* und *Wertanpassung*. Am Tag eins der Kostenermittlung kann zwingenderweise nur der Kostenbestandteil der Vorausvalorisierung berechnet werden. Im Zuge der Fortschreibung der Ermittlung werden die prognostizierten Kosten wertangepasst. Nach dem Vertragsabschluss kommt die Gleitung der Vertragskosten zu tragen. Hinter diesem dreigeteilten Kostenbestandteil, der einen wesentlichen Anteil der Gesamtkosten bildet, verbergen sich mehrere Problematiken. Zum Einen muss für eine qualifizierte Berechnung ein vorläufiger Mittelabfluss angegeben werden, zum Anderen hat der AG keinen Einfluss auf die zukünftigen Marktentwicklungen und somit ist das Schätzen der Vorausvalorisierung und das Wertanpassen der Basiskosten bis zum Eintritt der Gleitung eine Gratwanderung.

Forschungsfrage 2:

Welche Voraussetzungen und Fähigkeiten sind in einem modernen Projektmanagement notwendig? Welchen Einfluss hat das systemische Denken und welchen Stellenwert haben dabei die Unsicherheiten?

Moderenes Projektmanagement ist bei der Realisierung von Großprojekten unabdingbar. Große innerstädtische Infrastrukturprojekte zeichnen sich durch lange Projektphasen, schwierige Randbedingungen, beengte Platzverhältnisse und logistische Problematiken aus. Die Wechselwirkung und die Verflochtenheit nimmt dauerhaft zu. Stetiger Projekterfolg ist mit Selbstorganisation und partnerschaftlichen Vertrauen verbunden, dabei finden Fremdbestimmungen und hierarchische Strukturen keinen Platz mehr. Durch das Vertrauen in Können und Erfahrung der Projektpartner wird Wertschätzung, Motivation und Selbstbewusstsein gestärkt. Dies sind wesentliche Voraussetzungen für das moderne Projektmanagement. Der Schlüsselfaktor für erfolgreiches Projektmanagement ist die aktive Förderung von individuellen Entscheidungen innerhalb schützender Ufer. Die Herausforderungen der Großbauprojekte verlangen eine Vielzahl an Fähigkeiten. Einzig und alleine technische Qualifikationen reichen in der heutigen Zeit, die durch mehrdimensionale

Wirkungsmechanismen geprägt ist, nicht mehr aus. Verständnis für Zusammenhänge und Eigendynamik, sowie Geduld und langfristiges Denken sind essenzielle Verhaltenszüge für vernetztes Denken und Handeln. Die Öffnung seines Blickwinkels und das Wissen, dass jede Plan- und Machbarkeit begrenzt ist, sind Voraussetzungen dafür. Hinzu kommen emotionale-kognitive Fähigkeiten, die in einer immer schnelleren sich wandelnden Welt, unerlässlich sind. Dabei spielt das kontextorientierte und systemische Denken eine wesentliche Rolle. Ohne dem eigenem Identitätsbewusstsein, Gespür für Signalresonanz und Beziehungsfähigkeiten ist ganzheitliches Agieren schier unmöglich. In der Regel ist systemisches Denken und Handeln schwerfällig und bescheiden. Rasche Anerkennung und kurzfristiger Erfolg bleibt dabei aus und die Vermutung liegt nahe, dass die ureigene Prägung des Menschen diesen Ansprüchen vielfach im Wege stehen.

Forschungsfrage 3:

Wie können Risiken aus Sicht des Auftraggebers identifiziert und bewertet werden? Welche Verfahren und Methoden können dabei zur Anwendung kommen?

Risiken, die in erster Linie als Chance oder Gefahr gesehen werden müssen, sind ein deutliches Merkmal von komplexen Aufgabenstellungen. Vor der Ausschreibungsphase und in der Ausführung prägen die verschiedensten Ursachen den Projektverlauf. Marktwirtschaft, Politik, Qualität der Bestandsobjekte und die Beschaffenheit des Baugrundes sind nur wenige Gründe, die ein Projekt beeinflussen können. Angesichts der langen Projektlaufzeiten ergeben sich viele Möglichkeiten zur Änderung des Bezugssystems. Um denen gerecht zu werden gibt es verschiedene Methoden zur Risikobewertung für den AG. Die Ermittlung der Projekt-Risikokosten können mittels Durchführung eines Richtwertverfahrens, sowie anhand des Verfahrens der Einzelrisikobewertung erfolgen. Das Richtwertverfahren (RWV) durchläuft mehrere Prozessschritte die die Projekteigenschaften, das Projektprofil und Einzelrisiken berücksichtigen. Die Bewertung der Projekteigenschaften führen zu einer Einschätzung der Komplexität des Projektes. Im nächsten Prozessschritt wird die qualitative Bewertung des Projektprofils evaluiert und das dritte Thema behandelt die verbale Beschreibung der Einzelrisiken und deren Relevanz. Die allgemeine Einschätzung des Risikopotentials erfolgt über eine Tabelle zur Ermittlung des prozentualen, pauschalen Zuschlages auf die Basiskosten.

Dem Auftraggeber steht es an dieser Stelle frei zu wählen, ob der pauschale Risiko-Zuschlag ausreichend genau genug evaluiert wurde. Meist handelt es sich bei großen innerstädtischen Infrastrukturprojekten um viel Geld und somit wird das Verfahren mit Einzelrisikobewertung durchgeführt. Die Identifikation der Einzelrisiken wird häufig über Risiko-Checklisten und anschließenden Workshop durchgeführt. Während diesem Workshop sollten mehrere Projektmitarbeiter teilnehmen, um von den unterschiedlichen Wissenszugängen zu profitieren. Weiters ist ein aktiver offener Ideenfluss zu fördern und somit eine hohe Anzahl an Aspekten abzudecken. Dies gelingt am Besten bei einer gelebten Hierachiefreiheit. Im Anschluss werden die Datenblätter für die qualitative Bewertung der Einzelrisiken bearbeitet. Vor der quantitativen Bewertung muss von den Teilnehmern die Eintrittswahrscheinlichkeit abgeschätzt werden. Wobei der letztverantwortliche Projektleiter die vorgeschlagenen Einschätzungen absegnen muss. Bei der Erweiterung zum Modal Wert, sprich bester Fall, erwarteter Fall und schlechtester Fall, wird mit der verbalen Beschreibung begonnen. Das Zusammentragen der Fälle dient zur Öffnung des Blickwinkels, um jegliche Sichtweisen zu analysieren. Zum letzten Schritt der Einzelrisikobewertung gehört die quantitative Bewertung. Dazu ist es erforderlich die Auswirkungen der vorhin beschriebenen Fälle monetär festzuhalten. Für die vollständige quantitative Analyse müssen die zeitlichen Folgen des beschriebenen Risikos abgeschätzt werden. Alle identifizierten Risiken werden einer oder

mehreren Elementen der Kostenstruktur und dem Terminplan zugeordnet. Zur Abdeckung der nicht identifizierten und nicht identifizierbaren Risiken wird ein Zuschlag auf die Basiskosten für das unbekannte aufgeschlagen. Dies wird mit einem eigenen Datenblatt ermittelt. Die Strategie ähnelt dem Richtwertverfahren, nur dass eine Abminderung von einem gewissen Prozentsatz für die im Vorfeld identifizierten Risiken mit einberechnet wird.

Forschungsfrage 4:

Welche der beiden Methoden (deterministische oder probabilistische) führt zu stabileren Aussagen? Wie stehen die deterministischen Ergebnisse des besten Falls, des erwarteten Falls und des schlimmsten Falls der probabilistischen Auswertung gegenüber?

Auf den ersten Teil der Forschungsfrage kann keine allgemein gültige Antwort gegeben werden. Die beiden Methoden unterscheiden sich in ihrer Grundstruktur. Der Determinismus, das soviel bedeutet wie „abgrenzen“ oder „bestimmen“, berechnet nur ein einziges Ergebnis. Das Resultat der deterministischen Berechnungsmethode ist lediglich eine Zahl. Die Eingabe erfolgt über die Eintrittswahrscheinlichkeit und einer Auswirkung jedes einzelnen Risikos. Dieser konkrete Wert trifft keine Aussage zur Kostensicherheit. Der Probabilismus hingegen, der mit den Adjektiven „annehmbar“ oder „wahrscheinlich“ beschrieben werden kann, berechnet die zu lösende Aufgabe in mehreren Schritten. Die Eingabewerte sind die Eintrittswahrscheinlichkeit und beispielsweise drei Werte für die Auswirkung. Dadurch wird der unscharfen Erwartungshaltung bei der Risikobewertung Rechnung getragen. Durch diesen erweiterten Informationsgehalt der Auswirkung resultiert eine Wahrscheinlichkeitsverteilung. Der AG bekommt so die Möglichkeit, ein Maß an Kostensicherheit festzulegen. In der Abb. 5.38 erkennt man die Auswertung der deterministischen Berechnungen, ausgeweitet auf erweiterte Auswirkungen. Die rot eingezeichneten Linien spannen ungefähr die gleichen Bandbreiten auf wie der Probabilismus. Trotzdem kann keine Aussage über die Eintrittswahrscheinlichkeit getroffen werden, wie beim Simulationsverfahren. Die Stochastik verarbeitet die Informationen über die Statistik und durch den Einsatz der Zufallsgrößen ergibt sich eine Unter- und Überschreitungswahrscheinlichkeit. Der erwartete Wert der Deterministik befindet sich unter der 50 % Grenze. Das bedeutet, dass die Mehrzahl der Risiken mit einem rechtsschiefen oder anderst gesagt mit einem linkssteilen Dreieck abgeschätzt wurden, da die erwartete Konsequenz bei Eintritt eines Risikos eher am minimalen Wert liegt, als beim schlechtesten Fall. Werden also Kostenermittlungen oder Risikobewertungen deterministisch durchgeführt, ist nahezu gewiss, dass sich in der Kostenfeststellung oder bei Eintritt eines Risikos, nicht genau die prognostizierte Zahl realisieren wird.

6.2 Kernaussage

Das folgende Zitat von Herrn Baurat h.c Dipl.-Ing. Dr. mont. Georg-Michael Vavrovsky aus dem Artikel „Zur Bedeutung des ganzheitlichen Denkens bei der Realisierung von komplexen Infrastrukturprojekten“ [37] trifft den Kern dieser vorliegenden Diplomarbeit in vollem Umfang. Risiken und die Unschärfen in einer frühen Projektphase sind schwer abschätzbar. Dabei geht Herr Baurat h.c Dipl.-Ing. Dr. mont. Vavrovsky noch einen Schritt weiter und plädiert, dass diese Unsicherheiten als Chance zu sehen sind und sie nicht nur zu akzeptieren gilt, sondern pro-aktiv zu gestalten.⁸⁰

⁸⁰Vgl. [37] Vavrovsky, S. 194

*Berechenbarkeit setzt genügend Information voraus. Bei komplexen, sich dynamisch verändernden Systemen ist die prognostizierte und somit informationsgebende Wirklichkeit aber einer fiktiven Zukunftsrealität entnommen, deren Kenntnis sich der Gegenwart entzieht. Es bleibt daher systemimmanent stets ein Bereich an Unsicherheit und Eigendynamik bestehen, der nicht nur zu akzeptieren, sondern aktiv mitzugestalten ist.*⁸¹

6.3 Ausblick

Forschung und Entwicklung in der Baubranche folgen großen Zyklen. Die Risikobewertung im Bauingenieurwesen wird seit dem Jahre 2017 an der Technischen Universität Wiens gelehrt. Es ist also eine junge Wissenschaft in der Baubranche. Sie wird erst seit Beginn dieses Jahrhunderts verstärkt eingesetzt.⁸² Immer mehr Auftraggeber, wie auch die Wiener Linien, implementieren professionelles Risikomanagement. Risikomanagement geht Hand in Hand mit dem Kostenmanagement des Auftraggebers. Folgende weiterführenden Fragestellungen sieht der Autor als wichtig an:

- Welchen Aufwand zieht die probabilistische Kostenermittlung und Risikobewertung mit sich? In welchen Bereichen kann ein Mehrwert über Wahrscheinlichkeitsaussagen des Probabilismus, im Hinblick auf alternative Vergütungsmodelle und flexibleren Ausschreibungsunterlagen, gezogen werden?
- Wie findet die Kommunikation zu den öffentlichen Finanzierungsinstitutionen mit probabilistischen Aussagen statt? Welche Risikopotenziale sind Sie bereit zu tragen, wieviel Wert legen diese auf Wahrscheinlichkeitsaussagen?
- Bei innerstädtischen Infrastrukturbauten birgt zu einem großen Teil der Baugrund Risiken. Kann das Risikomanagement und dessen probabilistischen Berechnungen auf andere Bereiche des Bauingenieurwesens mit weniger Baugrundeinfluss angewendet werden (Krankenhäuser, Flughäfen, Brückenbau, etc.)?

⁸¹Vgl. [37] Vavrovsky, S. 194

⁸²Vgl. [35] Stempkowski, S. 18



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Literatur

- [1] D. Adam. *Studienblätter zur Vorlesung Fels- und Tunnelbau – 3. Tunnelbau im Festgestein und Lockergestein*. Technische Universität Wien – Institut für Geotechnik – Forschungsbereich Grundbau, Boden- und Felsmechanik, 2017. 218 S.
- [2] *Bauprojekt- und Obejektmanagement - Teil 1: Objekteinrichtung*. Wien: Austrian Standards Institute, 2021 02 01.
- [3] *Verordnung über den Bau und Betrieb von Eisenbahnen (Eisenbahnbau- und -betriebsverordnung – EisbBBV)*. Rechtsinformationssystem des Bundes, 2014.
- [4] C. Boley. *Handbuch Geotechnik: Grundlagen – Anwendungen – Praxiserfahrungen*. Deutsch. 2. Aufl. 2019. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. ISBN: 9783658030544.
- [5] DAUB. *Empfehlungen zur Auswahl von Tunnelvortriebsmaschinen*. Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e. V. (DAUB), 2010. 48 S.
- [6] D. Dr. Hillson. *Risikobewertungsschema zur Risikopriorisierung*. 2018. URL: <https://risk-doctor.com/wp-content/uploads/2020/05/129G-Risk-scoring-scheme-DH.pdf> (Zugriff am 04.09.2021).
- [7] G. Girmscheid. *Bauprozesse und Bauverfahren des Tunnelbaus*. 3.Auflage. Weinheim: Ernst & Sohn, 2013. ISBN: 978-3-433-03047-9.
- [8] G. Goger. *Studienblätter zur Vorlesung Bauverfahren im Tunnel- und Hohlraumbau*. Wien: Technische Universität Wien, Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement, Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik, 2017. 308 S.
- [9] H. Grote. *Kosten senken mit Kopf : kybernetische Organisation, Planung und Führung ; die Revolution des Baumanagements*. ger. Berlin [u.a.]: Patzer, 2002. ISBN: 3876171040.
- [10] Herrenknecht AG. *Doppelschild-TBM*. 2021. URL: <https://www.herrenknecht.com/de/produkte/productdetail/doppelschild-tbm/> (Zugriff am 08.04.2021).
- [11] Herrenknecht AG. *EPB-Schild*. 2021. URL: <https://www.herrenknecht.com/de/produkte/productdetail/epb-schild/> (Zugriff am 08.04.2021).
- [12] C. Hofstadler und M. Kummer. *Chancen- und Risikomanagement in der Bauwirtschaft : für Auftraggeber und Auftragnehmer in Projektmanagement, Baubetrieb und Bauwirtschaft*. ger. Berlin: Springer Vieweg, 2017. ISBN: 3662543184.
- [13] J. Honegger. *Vernetztes Denken und Handeln in der Praxis*. ger. 3. Aufl. Versus, 2013. ISBN: 978-3-03909-112-6.
- [14] M. Hrunek und M. Spiegl. „Das größte Infrastrukturprojekt Wiens“. In: *bau aktuell* September 2020/Nr. 5 (2020), S. 179–180.
- [15] S. Jürgen Anton. „Spannungsverformungsverhalten des Gebirges beim Vortrieb mit Tunnelbohrmaschinen mit Schild“. Dissertation. Technical University of Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, 2009.
- [16] D. Kolymbas. *Geotechnik: Bodenmechanik, Grundbau und Tunnelbau*. Deutsch. 5. Aufl. 2019. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. ISBN: 9783662584712.

- [17] D. Kolymbas. *Geotechnik: Tunnelbau und Tunnelmechanik: eine systematische Einführung mit besonderer Berücksichtigung mechanischer Probleme*. Deutsch. Berlin: Springer, 1998. ISBN: 3540628053.
- [18] H. Lechner. *Leistungsmodell Projektsteuerung*. Technische Universität Graz – Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft, 2014.
- [19] B. Maidl. *Handbuch des Tunnel- und Stollenbaus: 1. Konstruktionen und Verfahren*. Deutsch. 3., vollst. überarb. und erg. Aufl. Essen: Verl. Glückauf, 2004. ISBN: 3773913311.
- [20] B. Maidl. *Tunnelbau im Sprengvortrieb*. deutsch. Berlin: Springer, 1997. ISBN: 3540625569.
- [21] B. Maidl, M. Herrenknecht, U. Maidl und G. Wehrmeyer. *Maschinelles Tunnelbau im Schildvortrieb*. 2.Auflage. Berlin: Ernst & Sohn, 2011. ISBN: 978-3-433-02948-0.
- [22] W. Oberndorfer. *Organisation Kostencontrolling von Bauprojekten : Verteilung von Bauherrenaufgaben ; Kostenplanung und -verfolgung ; Risikomanagement*. ger. Praxishandbuch. Wien: Manz, 2007. ISBN: 3214130889.
- [23] W. Oberndorfer. *Organisation und Kostencontrolling von Bauprojekten : Bauherrenaufgaben, Kostenplanung und Kostenverfolgung und Risikomanagement*. ger. 2. Aufl.. Praxishandbuch. Wien: Manz, 2015. ISBN: 3214130927.
- [24] ÖGG. *Richtlinie Kostenermittlung für Projekte der Verkehrsinfrastruktur unter Berücksichtigung relevanter Projektrisiken*. Salzburg: ÖGG - Austrian Society for Geomechanics, 2016.
- [25] J. Oltmer. *Das Wachstum der Städte durch Migration*. 2013. URL: <https://www.bpb.de/gesellschaft/migration/kurzdosiers/325790/das-wachstum-der-staedte-durch-migration> (Zugriff am 23.08.2021).
- [26] *Vergabe von Aufträgen über Leistungen – Ausschreibung, Angebot, Zuschlag – Verfahrensnorm*. Wien: Austrian Standards Institute, 2006 11 01.
- [27] *Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm – Teil 1: Zyklischer Vortrieb*. Wien: Austrian Standards Institute, 2001 12 01.
- [28] *ÖNORM B 2203-2: Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm – Teil 2: Kontinuierlicher Vortrieb*. Wien: Austrian Standards Institute, 2005-01-01.
- [29] *ÖNORM ISO 31000: Risikomanagement - Leitlinien*. Wien: Austrian Standards Institute, 2018 09 01.
- [30] D. F. Pinnow. *Unternehmensorganisationen der Zukunft: Erfolgreich durch systemische Führung*. ger. Campus Verlag, 2011. ISBN: 3593394723.
- [31] Planungsteam U5NEU2. „Generelle Planung 1. Baustufe“. In: (2017).
- [32] Rechnungshof. *Bericht des Rechnungshofes – Bahnprojekt: Brenner Basistunnel*. 2017. URL: https://www.parlament.gv.at/PAKT/VHG/XXV/III/III_00338/imfname_613801.pdf (Zugriff am 04.10.2021).
- [33] RiskConsult GmbH. *RIAAT*. 2019. URL: <https://www.riaatsoftware.com/home> (Zugriff am 24.08.2021).
- [34] M. Spiegl, R. Galler und P. Sander. „Application of the ÖGG guideline for cost estimates on international megaprojects“. eng. In: *Geomechanik und Tunnelbau* 11.6 (2018), S. 680–692. ISSN: 1865-7362.
- [35] R. Stempkowski. *Risikomanagement Bau : Methoden und Erfahrungen bei der praktischen Umsetzung von Risiko- und Chancenmanagement bei Bauprojekten*. ger. 1. Aufl.. Wien: Netzwerk-Verl., 2013. ISBN: 3902918004.

- [36] K. Széchy. *Tunnelbau*. deutsch. Wien: Springer, 1969.
- [37] G.-M. Vavrovsky. „Zur Bedeutung des ganzheitlichen Denkens bei der Realisierung von komplexen Infrastrukturprojekten“. In: *bau aktuell* September 2020/Nr. 5 (2020), S. 191–195.
- [38] Wiener Linien. „Bauen, bis die U-Bahn kommt“. In: *Mobil Wien* März 2019 (2019), S. 3–15.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1:	Begriffsdefinitionen im Längsschnitt für den Untertagebau (Quelle: ÖNORM B 2203-1:2001 12 01 [27, S. 32])	17
Abb. 2.2:	Tunnelvortriebsmaschinen (Quelle: Eigene Darstellung)	20
Abb. 2.3:	Arbeitszyklus im Sprengvortrieb (Quelle: Eigene Darstellung)	21
Abb. 2.4:	Tunnelbagger (Quelle: Goger [8, S. 93])	25
Abb. 2.5:	Einteilung der Tunnelvortriebsmaschinen (Quelle: DAUB [5, S. 11])	27
Abb. 2.6:	Aufbau einer offenen TBM (Quelle: Goger [8, S. 122])	28
Abb. 2.7:	EPM-Schild Wirkungsweise (Quelle: Herrenknecht AG [11])	30
Abb. 2.8:	Arten der Systemankerung (Quelle: Goger [8, S. 209])	32
Abb. 2.9:	Querschnitte von Tunnelbögen (Quelle: Goger [8, S. 221])	34
Abb. 2.10:	Verzugsbleche mit Spritzbeton (Quelle: Goger [8, S. 219])	35
Abb. 2.11:	Schirmgewölbe Herstellung (Quelle: Girmscheid [7, S. 248])	36
Abb. 2.12:	Schematische Darstellung eines Gefrierschirms (Quelle: Girmscheid [7, S. 248])	37
Abb. 2.13:	Verlauf der Injektionsstabilisierung mit Erstinjektion (links) und Folgeinjektionen (rechts) (Quelle: Girmscheid [7, S. 279])	38
Abb. 3.1:	Projektphasen (Quelle: ÖGG - Austrian Society for Geomechanics [24, S. 6])	40
Abb. 3.2:	Erweiterung des deterministischen Wertes (Quelle: ÖGG - Austrian Society for Geomechanics [24, S. 9])	42
Abb. 3.3:	Schematische Darstellung der Kostenbestandteile zur Ermittlung der prognostizierten Gesamtkosten (Quelle: ÖGG - Austrian Society for Geomechanics [24, S. 10])	43
Abb. 3.4:	Ablauf der Ermittlung der Risikokosten für das Projekt (Quelle: ÖGG - Austrian Society for Geomechanics [24, S. 15])	47
Abb. 4.1:	Übersichtsplan (Quelle: Planungsteam U5NEU2 [31])	58
Abb. 4.2:	Geologischer Längsschnitt (Quelle: Planungsteam U5NEU2 [31])	60
Abb. 5.1:	Datenblatt Richtwertverfahren (Quelle: ÖGG - Austrian Society for Geomechanics [24, Anlage])	62
Abb. 5.2:	Datenblatt zur Bewertung des aktuellen Projektprofils (Quelle: ÖGG - Austrian Society for Geomechanics [24, Anlage])	63
Abb. 5.3:	Datenblatt zur Erfassung identifizierter Einzelrisiken (Quelle: ÖGG - Austrian Society for Geomechanics [24, Anlage])	64
Abb. 5.4:	Bestimmung des pauschalen Risikozuschlags (Quelle: ÖGG - Austrian Society for Geomechanics [24, Anlage])	65
Abb. 5.5:	Datenblatt zur Einschätzung des Risikopotenzials des Projekts (Quelle: ÖGG - Austrian Society for Geomechanics [24, Anlage])	66
Abb. 5.6:	Vorklassifizierung Einzelrisiko (Quelle: ÖGG - Austrian Society for Geomechanics [24, Anlage])	67
Abb. 5.7:	Datenblatt für Einzelrisiko für die qualitative Analyse (Quelle: ÖGG - Austrian Society for Geomechanics [24, Anlage])	68
Abb. 5.8:	Mehrfach auftretendes Risiko – 2-fach (Quelle: Eigene Darstellung)	70

Abb. 5.9:	Mehrfach auftretendes Risiko – 4-fach (Quelle: Eigene Darstellung)	70
Abb. 5.10:	Datenblatt für Einzelrisiko für die quantitative Analyse (Quelle: ÖGG - Austrian Society for Geomechanics [24, Anlage])	71
Abb. 5.11:	Histogramm – Preis für den Aushub der gesamten Baugrube (Quelle: Hofstadler und Kummer [12, S. 205])	75
Abb. 5.12:	Probabilistische Auswirkung: Risiko 01Z (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])	76
Abb. 5.13:	Probabilistische Auswirkung: Risiko 02Z (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])	77
Abb. 5.14:	Probabilistische Auswirkung: Risiko 03Z (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])	78
Abb. 5.15:	Probabilistische Auswirkung: Risiken im zyklischen Tunnelbau (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])	79
Abb. 5.16:	Probabilistische Auswirkung: Risiko 01K (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])	80
Abb. 5.17:	Probabilistische Auswirkung: Risiko 02K (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])	81
Abb. 5.18:	Probabilistische Auswirkung: Risiko 03K (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])	82
Abb. 5.19:	Probabilistische Auswirkung: Risiken im kontinuierlichen Tunnelbau (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])	83
Abb. 5.20:	Probabilistische Auswirkung: Risiko 01S (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])	84
Abb. 5.21:	Probabilistische Auswirkung: Risiko 02S (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])	85
Abb. 5.22:	Probabilistische Auswirkung: Risiko 03S (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])	86
Abb. 5.23:	Probabilistische Auswirkung: Risiken bei Hebungen und Setzungen (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])	87
Abb. 5.24:	Probabilistische Auswirkung: Risiko 01F (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])	88
Abb. 5.25:	Probabilistische Auswirkung: Risiko 02F (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])	89
Abb. 5.26:	Probabilistische Auswirkung: Risiko 03F (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])	90
Abb. 5.27:	Probabilistische Auswirkung: Risiken in Hinblick auf Findlinge (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])	91
Abb. 5.28:	Probabilistische Auswirkung: Risiko 01G (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])	92
Abb. 5.29:	Probabilistische Auswirkung: Risiko 02G (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])	93
Abb. 5.30:	Probabilistische Auswirkung: Risiko 03G (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])	94
Abb. 5.31:	Probabilistische Auswirkung: Risiken der Grundwasserhaltung (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])	95
Abb. 5.32:	Probabilistische Auswirkung: Risiko 01E (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])	96
Abb. 5.33:	Probabilistische Auswirkung: Risiko 02E (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])	97

Abb. 5.34: Probabilistische Auswirkung: Risiko 03E (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])	98
Abb. 5.35: Probabilistische Auswirkung: Risiken der Spezialtiefbauarbeiten (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])	99
Abb. 5.36: Probabilistische Auswirkung aller Risiken (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])	101
Abb. 5.37: Probabilistische Auswirkung aller Risiken in Vergleich zum deterministischen Ergebnis (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT])	102
Abb. 5.38: Probabilistische Auswirkung aller Risiken in Vergleich zu den erweiterten deterministischen Ergebnisse (Quelle: RiskConsult GmbH [33, RIAAT]) . . .	103



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Tabellenverzeichnis

Tab. 5.1:	Risikobewertungsschema	69
Tab. 5.2:	Poisson-Verteilung	71
Tab. 5.3:	Übersicht Tunnelbau Risiken	73
Tab. 5.4:	Deterministischer Wert für die Risikobewertung des zyklischen Vortriebs . . .	79
Tab. 5.5:	Deterministischer Wert für die Risikobewertung des kontinuierlichen Vortriebs	83
Tab. 5.6:	Deterministischer Wert für die Risikobewertung der Risiken von Hebungen und Setzungen	87
Tab. 5.7:	Deterministischer Wert für die Risikobewertung der Findlinge	91
Tab. 5.8:	Deterministischer Wert für die Risikobewertung Grundwasserhaltung	95
Tab. 5.9:	Deterministischer Wert für die Risikobewertung der Spezialtiefbauarbeiten .	99
Tab. 5.10:	Deterministische Risikobewertung aller Themenbereiche	100