

Diploma Thesis

**Cost analysis in tunnel construction –  
Risk identification in the context of an updated work  
calculation**

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

---

Diplomarbeit

**Kostenanalyse im Tunnelbau –  
Risikoidentifikation im Zuge einer fortgeschriebenen  
Arbeitskalkulation**

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

von

**Maximilian Ömer, BSc**

Matr.Nr.: 01525999

**Philipp Schuler**

Matr.Nr.: 00852660

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  
Technische Universität Wien  
Karlsplatz 13/234-1, A-1040 Wien

Wien, im November 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

An dieser Stelle möchten wir uns bei all jenen bedanken, die uns während unserer Studienzeit unterstützt haben.

Zuerst gebührt unsere Dankbarkeit Herrn Univ.Ass. Dipl.-Ing. Alexander Bender, BSc, der diese Diplomarbeit nicht nur betreut sondern aktiv mitgestaltet hat. Das dabei eingebrachte Engagement ist nicht alltäglich und bewundernswert. Des Weiteren möchten wir uns bei Herrn Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerald Goger für seine Betreuung im Rahmen dieser Arbeit bedanken.

Besonderer Dank gilt dem Unternehmensbereich Tunnelbau der Strabag AG, vertreten durch Herrn Dipl.-Ing. Dr.techn. Kurt Hechenblaickner, Herrn Dipl.-Ing. Marko Vuckovic und Herrn Dipl.-Ing. Alexander Preiner. Die zur Verfügung gestellten Daten, Expertisen und die eingebrachte Zeit bilden das Fundament dieser Arbeit.

Der größte Dank gilt unseren Familien und Partnerinnen, die uns auf unserem Werdegang tatkräftig unterstützt und diesen Weg erst ermöglicht haben. Ohne euren Rückhalt, euer Verständnis und eure bedingungslose Unterstützung wären wir nicht im Stande gewesen diese Ausbildung zu genießen.

Zu guter Letzt möchten wir uns bei unseren Studienkollegen insbesondere den *Rittern des Biz* bedanken, die mit uns diese Zeit verbracht haben. Einige von ihnen sind zu sehr guten Freunden geworden und haben diesen Lebensabschnitt zu etwas sehr Besonderem gemacht.

Maximilian und Philipp



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 (maschinell und universell), Kostenermittlung Infrastruktur, Kalkulation, Risikomanagement, Entwicklung Arbeitskalkulation

Die vorliegende Diplomarbeit wurde im Zuge der Forschungstätigkeit des Instituts für interdisziplinäres Bauprozessmanagement – Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik der TU Wien durchgeführt. Geforscht wird an der Thematik Risikomanagement im Infrastrukturbau und damit einhergehender Prozesse. Ziel der Forschung ist die Entwicklung eines Modells zur besseren Identifizierung, Abschätzung und Berücksichtigung von Chancen und Risiken im Tunnelbau. Wesentlicher Bestandteil der Forschungsleistung ist die Identifikation von Risiken in der Projektbeschaffungsphase und deren Verfolgung in der Projektausführungsphase. Anhand der Fortschreibung von Arbeitskalkulationen soll im Rahmen dieser Diplomarbeit gezeigt werden, wann und in welcher Höhe Risiken und Chancen schlagend geworden sind. Um derartige Kalkulationsvorgänge besser einschätzen zu können, vergleicht die gegenständliche Arbeit die Kalkulationsverläufe von vier Tunnelbauprojekten sowie deren IST-Kosten.

Beginnend mit den Grundlagen des modernen Tunnelbaus findet eine Erläuterung der prozesstechnischen Eigenschaften abhängig von der gewählten Vortriebsart statt. Dabei wird zwischen universellem und maschinellem Vortrieb unterschieden. Die Wahl der Vortriebsmethode ist mitunter die wesentlichste Entscheidung im Zuge der Planung eines Tunnelbauprojekts. Aus diesem Grund werden die in Österreich gültigen Normen *ÖNORM B 2203-1* für den universellen Vortrieb und *ÖNORM B 2203-2* für den maschinellen Vortrieb für eine nähere Erläuterung dieser Prozesse herangezogen. Nach der eben beschriebenen technischen Planung eines Tunnelbauprojekts wird anschließend die kostentechnische Planung behandelt. Aus Sicht des Auftraggebers wird die von der Österreichische Gesellschaft für Geomechanik (ÖGG) veröffentlichte *Richtlinie für die Kostenermittlung für Projekte der Verkehrsinfrastruktur* als Basis herangezogen. Dem gegenüber stehen die *Common Project Standards (CPS)* der Strabag SE, wobei es sich um eine Konzernrichtlinie zur Kostenermittlung und -planung handelt. Ziel ist es, dem Leser Einblick in den Aufbau der im Rahmen der empirischen Auswertung verwendeten Daten der Strabag AG zu gewähren. Die Risiken eines Infrastrukturprojektes gehen dabei auf beiden Seiten (Auftraggeber (AG) und Auftragnehmer (AN)) auf verschiedene Weise in die Projektkostenplanung ein, welche in den einzelnen Kapitel beschrieben wird.

Im analytischen Teil dieser Diplomarbeit bilden die von Strabag AG zur Verfügung gestellten Kalkulationsdaten die Grundlage. Beginnend mit dem Projekt 0 wird eine detaillierte Analyse des Kalkulationsverlaufs und der Kostenentwicklung durchgeführt. Dabei wird nach neun auftretenden Kostenarten differenziert. Neben den Entwicklungen der fortgeschriebenen Arbeitskalkulation und der IST-Kosten sind auch im Rahmen der Angebotserstellung berücksichtigte Kosten für Chancen und Risiken Teil dieser Analyse. Diesen sind die Chancen und Risiken aus der Bauausführung, welche im Rahmen dieser Diplomarbeit von den Autoren identifiziert werden, gegenüber gestellt. Anschließend werden drei weitere Referenzprojekte zur Verifizierung der Analyseergebnisse herangezogen. Um aussagekräftige Ergebnisse zu erlangen werden im Schlussteil dieser Diplomarbeit sämtliche Erkenntnisse zusammengeführt und Schwankungsbreiten für den Kalkulationsverlauf sowie Bandbreiten für die Projektkostenentwicklung berechnet. Ziel ist der Erkenntnisgewinn für zukünftige Kalkulationen von Bauprojekten mit Tunnelbauleistungen.



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, mechanical tunnel construction, conventional tunnel construction, cost calculation in tunneling, calculation, riskmanagement, change in costs

This diploma thesis was carried out in the course of the research activities of the Institute for Interdisciplinary Construction Process Management – Research Department Construction Operations and Process Engineering of the Vienna University of Technology. Research is conducted on the topic of risk management in infrastructure construction and associated processes. The aim of this research is to develop a model *for better identification, assessment and consideration of opportunities and risks in tunnel construction*. An important part of the research is the identification of risks in the project procurement phase and their tracking in the project execution phase. By means of updating work calculations, this diploma thesis aims to show when and to what extent risks and opportunities have become effective. In order to be able to better assess such costing processes, this thesis compares the calculation processes of four tunnel construction projects as well as their actual costs.

Starting with the basics of modern tunnelling, an explanation of the process-technical properties of the selected tunnelling method is given. In terms of the process a distinction is made between universal and mechanized tunnelling. The choice of the tunnelling method is the most important decision in the course of planning a tunnel construction project. For this reason, the standards *ÖNORM B 2203-1* for universal tunnelling and *ÖNORM B 2203-2* for mechanized tunnelling, which are valid in Austria, are used for a more detailed explanation of these processes. After the technical planning of a tunnel construction project, as described, the cost-technical planning is then dealt with. From the client's point of view, the guidelines published by the Austrian Society for Geomechanics (ÖGG) *Richtlinie für die Kostenermittlung für Projekte der Verkehrsinfrastruktur* are used as a basis. This is contrasted with the *Common Project Standards (CPS)* of Strabag SE, which is a guideline for cost determination and planning. The aim is to provide the reader with insight into the structure of the Strabag AG data used in the empirical evaluation. The risks of an infrastructure project affect both sides (employer and employee) in different ways in the project cost planning, which is described in the individual chapters.

In the analytical part of this thesis, the calculation data provided by Strabag AG form the basis. Starting with the Project 0, a detailed analysis of the calculation process and cost development is performed. In doing so, a differentiation is made according to the nine occurring cost types. In addition to the developments of the updated cost estimate and the actual costs, costs for opportunities and risks considered during the bidding process are also part of this analysis. These are contrasted with the opportunities and risks from construction, which are identified by the authors as part of this thesis. Subsequently, three further reference projects are used to verify the results of the analysis. In order to obtain meaningful results, the final part of this thesis brings together all of the findings, and ranges of variation for the costing process and ranges for the project cost development are being established. The aim is to gain knowledge for future costing of construction projects with tunneling services.



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

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>11</b>
1.1	Ausgangssituation der Beteiligten und Arbeitsauftrag . . . . .	11
1.2	Motivation . . . . .	12
1.3	Forschungsfragen . . . . .	12
1.4	Forschungsmethodik . . . . .	13
1.5	Begriffsbestimmungen . . . . .	14
1.6	Abkürzungsverzeichnis . . . . .	16
<b>2</b>	<b>Charakteristika des Tunnelbaus am Stand der Technik</b>	<b>19</b>
2.1	Universeller Vortrieb . . . . .	19
2.1.1	Sprengvortrieb . . . . .	21
2.1.2	Baggervortrieb . . . . .	23
2.1.3	Mischvortrieb (Hybridvortrieb) . . . . .	24
2.1.4	TSM-Vortrieb . . . . .	25
2.1.5	Messervortrieb . . . . .	26
2.1.6	Sicherungsmaßnahmen . . . . .	26
2.1.7	Geotechnische Planung von Untertagebauten nach ÖGG . . . . .	30
2.1.8	Ermittlung der Vortriebsklassen im zyklischen Vortrieb . . . . .	34
2.2	Maschinellem Vortrieb . . . . .	37
2.2.1	Tunnelvortriebsmaschinen (TVM) . . . . .	37
2.2.2	Maschinenauswahl . . . . .	44
2.2.3	Geotechnische Planung von Untertagebauten nach ÖGG . . . . .	45
2.2.4	Ermittlung der Vortriebsklassen im maschinellen Tunnelbau . . . . .	51
2.3	Zusammenfassung universeller und maschineller Vortrieb . . . . .	56
<b>3</b>	<b>Prozessanalyse relevanter Tätigkeiten der Kostenermittlung für den Datenauswertungsprozess</b>	<b>57</b>
3.1	Stufen der Kostenermittlung in der Planungsphase aus Sicht des Auftraggebers . . . . .	57
3.1.1	Projektphasen . . . . .	58
3.1.2	Kostenstrukturierung . . . . .	59
3.1.3	Zerlegung der Projektkosten in Kostenbestandteile . . . . .	60
3.2	Stufen der Kostenermittlung und -fortschreibung aus Sicht des Auftragnehmers . . . . .	68
3.2.1	Kalkulationsbestandteile und Kostenarten . . . . .	69
3.2.2	Prozessdokumentation . . . . .	72
3.2.3	Angebotskalkulation . . . . .	73
3.2.4	Auftragskalkulation . . . . .	75
3.2.5	Kalkulation in der Bauausführung . . . . .	75
3.2.6	Projektabschluss . . . . .	76
3.3	Zusammenfassung Kostenermittlung . . . . .	78
<b>4</b>	<b>Projekt 0</b>	<b>79</b>
4.1	Projektbeschreibung . . . . .	79
4.1.1	Vortriebsart . . . . .	80

4.1.2	Querschnitt . . . . .	80
4.1.3	Geologie . . . . .	81
4.1.4	Ergänzende Arbeiten zum Tunnelbau . . . . .	82
4.2	Risikomanagement Projekt 0 . . . . .	82
4.2.1	Risikoursachenkategorien . . . . .	83
4.2.2	Risikoliste der Angebotserstellung zu Projekt 0 . . . . .	85
4.3	Grobanalyse Projekt 0 . . . . .	88
4.4	Feinanalyse Projekt 0 . . . . .	92
4.4.1	Störstellenidentifikation . . . . .	103
4.4.2	Analysepunkt 1 . . . . .	105
4.4.3	Analysepunkt 2 . . . . .	106
4.4.4	Analysepunkt 3 . . . . .	107
4.4.5	Analysepunkt 4 . . . . .	108
4.4.6	Analysepunkt 5 . . . . .	109
4.4.7	Analysepunkt 6 . . . . .	110
4.4.8	Analysepunkt 7 . . . . .	111
4.5	Gegenüberstellung prognostizierter und tatsächlich eingetretener Chancen und Risiken . . . . .	112
4.5.1	Identifizierte Chancen und Risiken . . . . .	112
4.5.2	Gegenüberstellung . . . . .	115
4.6	Zusammenfassung Projekt 0 . . . . .	117
<b>5</b>	<b>Verifizierung und Bandbreitenbildung</b>	<b>119</b>
5.1	Referenzprojekte . . . . .	119
5.1.1	Projekt A . . . . .	120
5.1.2	Projekt B . . . . .	125
5.1.3	Projekt C . . . . .	130
5.2	Mittelwertbildung der Veränderungswerte . . . . .	135
5.3	Mittelwertbildung ohne Kostenart 5 (KOA 5) – Projekt B . . . . .	137
5.4	Bandbreitenbildung . . . . .	138
<b>6</b>	<b>Fazit</b>	<b>149</b>
6.1	Beantwortung der Forschungsfragen . . . . .	149
6.2	Kerninhalt und -aussage . . . . .	155
6.3	Weiterführende Forschung und Ausblick . . . . .	156

# Kapitel 1

## Einleitung

Österreich ist trotz seiner geringen Größe und Bevölkerungszahl sehr gut etabliert im internationalen Tunnelbau. Was einst mit großem Aufwand, Fleiß und Mut begann ist nun nicht minder aufwändig, doch führte es einen kleinen Staat bis an die Spitze des Weltmarktes in einer prestigeträchtigen Disziplin des Baugeschehens. Der Tunnelbau kann in Österreich als traditionell verankert gesehen werden und ist durch die alpine Prägung historisch gewachsen. Speziell das nach österreichischen Ingenieuren benannte und anerkannte Bauverfahren der Neue Österreichische Tunnelbaumethode (NÖT), auch als New Austrian Tunneling Method (NATM) bekannt, untermauert das österreichische Engagement weltweit.

Im Zentrum jedes Bauprojekts stehen verantwortliche Ingenieure<sup>1</sup>, die oftmals disziplinübergreifend Verantwortung in sämtlichen Bereichen übernehmen. Nicht zuletzt sind Projekte dieser Größenordnung durch öffentliche Auftraggeber und damit verbundenem öffentlichen Interesse gekennzeichnet. Den dabei auftretenden Herausforderungen ist seitens aller Beteiligten Rechnung zu tragen.

Die gegenständliche Diplomarbeit beschäftigt sich mit dem Kalkulationsprozess einer Tunnelbaustelle unabhängig der Vortriebsart, mit speziellem Blick auf die während des Projekts immer weiter fortgeschriebene Arbeitskalkulation und deren Veränderung. Seitens des Instituts für interdisziplinäres Bauprozessmanagement – Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik der TU Wien besteht das Interesse oftmals darin auftretende und stark schwankende monetäre Veränderungen im Kalkulationsverlauf im Tunnelbau an realen Projekten nachzuvollziehen und näher zu betrachten.

Beginnend mit einer den Tunnelbau und die Kostenthematik abbildenden Literaturrecherche besteht gegenständliche Arbeit zusätzlich aus einer von den Autoren in Zusammenarbeit mit dem Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement – Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik der TU Wien und Experten der Strabag AG durchgeführten empirischen Analyse. Dem großen Engagement und der sehr guten Zusammenarbeit aller Beteiligten sei an dieser Stelle herzlichst gedankt.

Alles Gute und Glück Auf!

### 1.1 Ausgangssituation der Beteiligten und Arbeitsauftrag

Von Seiten Strabag AG und dem Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement – Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik der TU Wien gibt es eine Forschungs-kooperation, die sich mit dem Thema Risikomanagement im Tunnelbau beschäftigt. Ein Teil dieses Risikomanagements besteht aus der Betrachtung von Kostenveränderungen über den Projektverlauf sowie deren Berücksichtigung in der laufenden Arbeitskalkulation. Somit bedarf es der Erfassung von Kostenveränderungen im Zuge einer fortlaufenden Arbeitskalkulation. Dazu

<sup>1</sup>Genderhinweis: Die Autoren legen großen Wert auf Diversität und Gleichbehandlung. Im Sinne der Lesbarkeit wurde jedoch oftmals entweder die feminine oder maskuline Form gewählt. Dies impliziert keinesfalls eine Benachteiligung der anderen Geschlechter.

wird ein Projekt einer detaillierten Analyse unterzogen. Die Ergebnisse können anschließend durch die Betrachtung mehrere Referenzprojekte verifiziert werden. Mit Blick auf das detailliert auszuwertende Projekt 0 sind in der Angebotsphase identifizierte Chancen und Risiken mit den tatsächlich eingetretenen Ereignissen abzugleichen um so eine Bewertung der Qualität für vorliegende Annahmen zu ermöglichen. Abschließend können für alle auftretenden Kostenarten Bandbreiten gebildet werden. So sind zukünftige Abschätzungen möglich. Um die bereits genannten Punkte abzudecken bedarf es im empirischen Teil dieser Arbeit folgender Bestandteile, welche sich auf abgewickelte Tunnelprojekte stützen:

- Projektbeschreibung Projekt 0
- Grobanalyse Projekt 0
- Feinanalyse Projekt 0
- Risikoidentifikation und -beurteilung Projekt 0
- Verifizierung und Bandbreitenbildung mittels Referenzprojekten

Dabei werden die von der Strabag AG prognostizierten und tatsächlichen eingetretenen Chancen und Risiken verglichen. Anzustreben sind Aussagen und Bandbreiten die es erlauben, Kostenarten mit besonders hoher Schwankungsbreite im Kalkulationsverlauf zu identifizieren und diese besser abschätzbar zu machen.

## 1.2 Motivation

Gegenständliche Arbeit bietet den beiden Autoren die Möglichkeit, sich dem in der Baubranche immerwährenden Thema der Kosten und damit verbundener Kalkulationen mittels Nachbetrachtung zu nähern. Speziell hervorzuheben ist die sehr spannende Kooperation zwischen Wissenschaft, repräsentiert durch die TU Wien und Wirtschaft, vertreten durch die Strabag AG.

Mit Blick auf den in der Baubranche immer größer werdenden Kostendruck stellt das Kostencontrolling eine rege an Bedeutung gewinnende Disziplin dar. Dabei muss jedoch bedacht werden, dass der Grundstein für Erfolg oder Misserfolg zum wohl größten Teil bereits im Zuge der Angebotskalkulation gelegt wird. Da oftmals jedoch im Verlauf eines Projekts lediglich der IST-Kostenverlauf mit vorab festgelegten Budgetierungen verglichen wird, liegt es im Interesse der Autoren zusätzlich zu den IST-Kostenverläufen auch die Kalkulationsverläufe der einzelnen Kostenarten zu betrachten.

Somit können die Projekte ganzheitlich betrachtet werden, was dem Leser der vorliegenden Diplomarbeit ein Verständnis für die unumgängliche Chancen- und Risikoberücksichtigung im Zuge einer Arbeitskalkulation vermitteln soll.

## 1.3 Forschungsfragen

Folgende vier Forschungsfragen definieren den Diplomarbeitsaufbau und grenzen den Umfang dieser Arbeit ab. Nach Erhalt der freigegebenen Datenstruktur wurden diese in Zusammenarbeit zwischen Herrn Dipl.-Ing. Alexander Bender (TU Wien) und den Autoren verfasst:

1. Welche Chancen und Risiken werden im Zuge einer Angebotskalkulation berücksichtigt und sind diese, sofern sie im Projektverlauf eintreten, in der laufenden Arbeitskalkulation berücksichtigt?

2. Wie verändern sich die einzelnen Kostenarten im Kalkulationsverlauf? Welche Kostenarten weisen besonders große Schwankungen über den Projektverlauf auf? Welche Schlüsse können daraus für zukünftige Kalkulationen gezogen werden?
3. Wie entwickeln sich die im Zuge der Arbeitskalkulation 0 ermittelten Anteile der Kostenarten über den Projektverlauf bis hin zu den tatsächlich festgestellten IST-Kosten? Welche Schlüsse können daraus für zukünftige Kalkulationen gezogen werden?
4. Ist es möglich mittels der zur Verfügung gestellten Daten Bandbreiten für die Kostenentwicklungen zu bilden? Welchen Schwankungsbereich weisen die einzelnen Kostenarten über den Projektverlauf auf?

## 1.4 Forschungsmethodik

Zur Vermittlung grundlegender Kenntnisse in den Bereichen Tunnelbau und Kostenermittlung beschäftigt sich der erste Teil dieser Diplomarbeit mit den Grundlagen der genannten Themen. Beginnend mit dem universellen Vortrieb wird Basiswissen hinsichtlich Bauverfahren, dabei zur Anwendung kommender Baugeräte sowie dem Ausbau vermittelt. Planungsgrundlagen werden mit Bezug zur österreichischen Normung erläutert. Dem universellen Vortrieb folgend wird der maschinelle Vortrieb näher beleuchtet. Dabei werden dem Leser verschiedene Tunnelvortriebsmaschinen sowie deren Auswahl im Zuge der Planungsphase eines Tunnelbauprojekts und die Vortriebsklassenermittlung nach ÖNORM näher gebracht. Zur Aufbereitung der eben genannten Punkte wird primär mit Literaturrecherchen gearbeitet. Dem tunnelbautechnischen Teil folgend findet sich das Thema Kostenermittlung. Dabei wird auf eine zweigeteilte Betrachtung gesetzt. Zuerst wird dem Leser die Kostenermittlung aus Sicht des Auftraggebers vermittelt. In diesem Zuge bezieht man sich auf die *Richtlinie für die Kostenermittlung für Projekte der Verkehrsinfrastruktur* [24] der ÖGG. Dabei finden Punkte, wie die einzelnen Projektphasen, Kostenstrukturierung und die Projektkostenbestandteile, Eingang. Diesem Teil folgend wird der Prozess der Kostenermittlung aus Sicht des Auftragnehmers beschrieben. Als Basis dienen die *Common Project Standards (CPS)* [40] der Strabag SE.

In Kooperation mit Experten der Strabag AG erfolgt im empirischen Teil dieser Arbeit eine genaue Betrachtung des Kalkulationsverlauf an dem bereits beendeten Projekt 0. Hierzu sind die Kalkulation abbildende Daten zur Verfügung gestellt worden. Diese Daten werden einer vorangehenden Grobanalyse unterzogen und anschließend mittels Feinanalyse detailliert begutachtet. Dabei werden speziell die unterschiedlichen Kostenarten sowie Chancen und Risiken differenziert betrachtet. Eine anschließende Gegenüberstellung von berücksichtigten und tatsächlich eingetretenen Chancen und Risiken soll dem Leser ein Bild des von der Strabag AG durchgeführten Risikomanagements vermitteln.

Um die im vorangegangenen Punkt erfassten Ergebnisse zu verifizieren werden drei weitere Tunnelbauprojekte der Strabag AG analysiert. Diese Analysen werden jedoch in geringerem Umfang, im Vergleich zu jener davor, durchgeführt. Um Aussagen für zukünftige Kalkulationen anzustellen werden Bandbreiten, in denen sich die analysierten Kostenarten bewegen, ermittelt. Dabei wird speziell auf die mathematischen Kennwerte Mittelwert und Standardabweichung gesetzt.

Am Ende dieser Diplomarbeit steht die Beantwortung der zu Beginn dieser Arbeit definierten Forschungsfragen. Dabei werden die gestellten Fragen mittels der erarbeiteten Forschungsergebnisse mit Blick auf zukünftig durchzuführende Kalkulationen im Tunnelbau bestmöglich beantwortet.

## 1.5 Begriffsbestimmungen

Zur Sicherstellung eines konsistenten Wortgebrauchs in den Bereichen des Baubetriebs, des Tunnelbaus und der Kostenermittlung sind im folgenden Teil der Arbeit essenzielle Bezeichnungen näher definiert. Definitionen sind den einschlägigen, österreichischen Normen sowie Fachliteratur entnommen.

**Ausbau:** Unter Ausbau wird die bautechnische Stützung der Hohlraumlaibung verstanden. Handelt es sich dabei um eine einschalige Konstruktion, so übernimmt der Ausbau neben der Stützung auch die Funktion der Innenschale. Bei einer zweischaligen Konstruktion wird nach dem Ausbau eine Abdichtung aufgebracht und anschließend die Innenschale installiert.<sup>2</sup>

**Angebotskalkulation:** Fortschreibung der Nullkalkulation mit Berücksichtigung der Umlagenaufteilung.<sup>3</sup>

**Arbeitskalkulation:** Eine von spekulativen und akquisitorischen Elementen befreite, ganzheitliche Kostenermittlung die bereinigte Leistungs- und Aufwandsansätze verwendet.<sup>3</sup>

**Arbeitsvorbereitung AVOR:** Die Arbeitsvorbereitung hat die Funktion alle Prozesse eines Projekts zu planen. Dabei werden das Bauverfahren, benötigte Ressourcen, Baustelleninfrastruktur sowie die Logistik festgelegt.<sup>4</sup>

**Gebirge:** Unter Gebirge wird der gesamte Raum aus Festgestein bzw. Lockergestein inklusive Trennflächen und Hohlräumen verstanden.<sup>5</sup>

**Gebirgsart:** Gebirge der selben Gebirgsart weisen gleichartige Eigenschaften hinsichtlich Geologie, Hydrologie bzw. Geotechnik auf.<sup>2</sup>

**Gebirgsverhaltenstyp:** Gebirge, die ein und dem selben Gebirgsverhaltenstyp zugeordnet werden, weisen gleichartiges Verhalten hinsichtlich Ausbruch des Gesamtquerschnitts, zeitliche und räumliche Verformung sowie Versagen auf. Dabei bleiben Stütz- und Zusatzmaßnahmen unberücksichtigt.<sup>2</sup>

**Injizieren:** Injizieren bedeutet Verfüllen von Hohlräumen im Gebirge mittels Injektionsgut. Dabei wird das Gebirge im Gegensatz zum Verpressen, nicht wesentlich beschädigt.<sup>5</sup>

**Kalotte:** Als Kalotte wird das obere Drittel eines Tunnelquerschnitts bezeichnet. Beim Teilausbruch wird dieser Teil zuerst ausgebrochen.<sup>6</sup>

**Kostenanschlag:** Der Kostenanschlag ist die in der Ausführungsphase durchgeführte Berechnung der Projektkosten, die abhängig von der Gliederung (Bau- oder Leistungsgliederung) mittels Multiplikation der geplanten Elementtypenmengen mit Kostenkennwerten oder auf einer Multiplikation der Positionsmengen mit den Einheitspreisen beruht.<sup>7</sup>

**Kostenkennwert:** Der Kostenkennwert ist ein Wert, welcher das Verhältnis zwischen Kosten und einer Bezugseinheit, wie z.B. Grundfläche, Rauminhalt, Leistungen..., darstellt.<sup>8</sup>

<sup>2</sup>Vgl. [28] ÖNORM B 2203-2: 2005-01-01, S. 5 ff.

<sup>3</sup>Vgl. [21] Oberndorfer, S. 49

<sup>4</sup>Vgl. [8] Girmscheid, S. 61

<sup>5</sup>Vgl. [27] ÖNORM B 2203-1: 2001-01, S. 5

<sup>6</sup>Vgl. [7] Girmscheid, S. 59

<sup>7</sup>Vgl. [25] ÖNORM B 1801-1: 2021-02-01, S. 10 ff.

<sup>8</sup>Vgl. [21] Oberndorfer, S. 138

**Kostenrahmen:** Eine meist in der Vorbereitungsphase durchgeführte Berechnung der Projektkosten, die auf der Multiplikation von Kostenkennwerten mit geplanter Mengeneinheit ( $\text{m}^2$  Fläche,  $\text{m}^3$  Rauminhalt oder lfm Länge) des Bauwerks sowie auf einer Baugliederung 1. Ebene beruht.<sup>7</sup>

**Kostenschätzung:** In der Vorentwurfsphase durchgeführte Berechnung der Projektkosten durch Multiplikation von Kostenkennwerten und geplanter Mengeneinheit ( $\text{m}^2$  Fläche,  $\text{m}^3$  Rauminhalt oder lfm Länge) des Bauwerks die auf einer Baugliederung 2. Ebene beruht.<sup>7</sup>

**Kostenkennzahl:** Die Kostenkennzahl ist ein Wert, welcher das Verhältnis zwischen Kosten und den Gesamtkosten darstellt.

**Löseverhalten:** Das Löseverhalten ist ein Überbegriff für Eigenschaften (z.B. Gesteinsart oder Zerlegungsgrad), die im Zuge der Vortriebsklassenbestimmung der ersten Ordnungsgruppe zugeordnet werden.<sup>2</sup>

**Nachläufereinrichtung:** Bei einer Nachläufereinrichtung handelt es sich um eine Abfolge von Arbeitsplattformen, Portalwägen u.Ä., die sämtliche von der TVM benötigte Einrichtungen zur Ver- und Entsorgung sowie zum Stützmitteleinbau enthält.<sup>2</sup>

**nominaler Bohrdurchmesser:** Unter dem nominalen Bohrdurchmesser versteht man den gemäß Ausschreibungsunterlagen festgelegten minimalen Bohrdurchmesser. Er darf infolge von Verschleiss an den Abbauwerkzeugen nicht unterschritten werden.<sup>2</sup>

**Ortsbrustverhalten:** Das Ortsbrustverhalten beschreibt die Verhaltensweise einer nicht gestützten Ortsbrust ohne dass die TVM diese dabei beeinflusst. Wichtige Parameter bilden dabei Verformungscharakteristika sowie Versagensmechanismen.<sup>9</sup>

**Öffnungslänge:** Die Öffnungslänge gibt die maximale Abschlagslänge der Sohle an.<sup>5</sup>

**Penetration:** Die Penetration wird generell in mm/U angegeben und repräsentiert die Eindringtiefe des Bohrwerkzeuges in das anstehende Gebirge bei einer Umdrehung des Bohrkopfes.<sup>2</sup>

**Pilotstollen:** Ein dem eigentlichen Ausbruch vorauseilender Tunnel kleineren Querschnitts.<sup>10</sup>

**Preisbasis:** Jener Bezugszeitpunkt, der vertraglich vereinbart wird und den Kosten zugrunde liegt.<sup>11</sup>

**Projektstrukturplan:** Beschreibt die Gesamtheit der maßgebenden Beziehungen zwischen den vorhandenen Elementen eines Projekts. Dabei kann die Projektstruktur aus verschiedenen Hierarchiestufen, wie z.B. nach Objekten bestehen.<sup>11</sup>

**Strabag AG:** Eine Tochtergesellschaft der Strabag SE.<sup>12</sup>

**Strabag SE:** Gesellschaft des Strabag Konzerns, welche konzernweite Richtlinien herausgibt.<sup>12</sup>

**Tunnelvortriebsmaschine:** Bei einer Tunnelvortriebsmaschine handelt es sich um eine Maschine die semi-kontinuierlichen Vortrieb mit hubweisem Vorschieben ermöglicht. Das anstehende Gebirge wird dabei mittels Bohrkopf oder Schneidrad ausgebrochen. Maßgebendes Unterscheidungskriterium zum universellen Vortrieb ist die Gleichzeitigkeit der Tätigkeiten.<sup>2</sup>

<sup>9</sup>Vgl. [22] ÖGG, S. 10 ff.

<sup>10</sup>Vgl. [7] Girmscheid, S. 162 ff.

<sup>11</sup>Vgl. [24] ÖGG, S. 5 ff.

<sup>12</sup>Vgl. [41] Strabag SE

**Tübbing:** Unter Tübbing wird im Allgemeinen ein flächenhaftes Fertigelement, das Teil eines tragfähigen Tübbingrings ist, verstanden. Um die gewünschte Tragwirkung zu erzielen werden die einzelnen Tübbinge zu tragfähigen Ringen zusammengesetzt.<sup>2</sup>

**Überbohrmaß:** Das Überbohrmaß stellt die den nominalen Bohrdurchmesser überschreitende, vom Auftraggeber angeordnete Durchmesserergrößerung dar.<sup>2</sup>

**Value Engineering:** Beschreibt die Übereinkunft zwischen Auftraggeber (AG) und Auftragnehmer (AN) Verbesserungen im Projekt voranzutreiben um so Einsparungen zeitlicher und/oder monetärer Art zu ermöglichen.<sup>10</sup>

**Vortrieb:** Alle Leistungen die benötigt werden, einen untertägigen Hohlraum herzustellen. Dabei sind Lösen, Schuttern sowie Einbau der Stützmittel die wichtigsten Phasen.<sup>5</sup>

**Vortriebsklasse:** Eine der Abrechnung und Bauzeitermittlung dienende Klassifizierung der Vortriebsarbeiten abhängig von den bautechnischen Maßnahmen.<sup>2</sup>

## 1.6 Abkürzungsverzeichnis

**AG** Auftraggeber

**AGK** Allgemeine Geschäftskosten

**AK0** Arbeitskalkulation 0

**AK1** Arbeitskalkulation 1

**AKn** laufende Arbeitskalkulation

**AN** Auftragnehmer

**AP** Analysepunkt

**AP1** Analysepunkt 1

**AP2** Analysepunkt 2

**AP3** Analysepunkt 3

**AP4** Analysepunkt 4

**AP5** Analysepunkt 5

**AP6** Analysepunkt 6

**AP7** Analysepunkt 7

**AT** Arbeitstage

**BGK** Baustellengemeinkosten

**CPS** Common Project Standards

**EKT** Einzelkosten der Teilleistungen

**GVT** Gebirgsverhaltenstyp

- KOA 1** Kostenart 1
- KOA 2** Kostenart 2
- KOA 3** Kostenart 3
- KOA 4** Kostenart 4
- KOA 5** Kostenart 5
- KOA 6** Kostenart 6
- KOA 7** Kostenart 7
- KOA 8** Kostenart 8
- KOA 9** Kostenart 9
- KSM** Kombinationsschildmaschine
- MKF** Mehrkostenforderung
- NATM** New Austrian Tunnelling Method
- NÖT** Neue Österreichische Tunnelbaumethode
- SM** Schildmaschine
- TBM** Tunnelbohrmaschine
- TBM-A** Tunnelbohrmaschine mit Aufweitungsbohrkopf
- TBM-DS** Tunnelbohrmaschine mit Doppelschild
- TBM-O** offene Tunnelbohrmaschine
- TBM-S** Tunnelbohrmaschine mit Einfachschild
- TSM** Teilschnittmaschinen
- TVM** Tunnelvortriebsmaschine
- VKL** Vortriebsklasse
- ZGK** zeitgebundene Kosten
- ÖGG** Österreichische Gesellschaft für Geomechanik



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 2

# Charakteristika des Tunnelbaus am Stand der Technik

Im folgenden Kapitel werden allgemeine Themen des Tunnelbaus und dem damit einhergehenden Projektablauf beschrieben. Dabei wird versucht, mit Blick auf die gestellten Forschungsfragen den Stand der Technik, sowohl wissenschaftlich als auch in Bezug auf verfügbare Richtlinien, abzubilden.

Laut Goger [10] entstand der Tunnelbau aus der, in früheren Zeiten gegebenen, stark einschränkenden Voraussetzung die Linienführung von Verkehrswegen an die Umgebung anzupassen. Der heutige Tunnelbau entstammt dem stetig wachsenden Ingenieurwissen, welches über Jahrhunderte generiert wurde. Wo früher mit Brecheisen oder Spitzhacke gearbeitet wurde, stehen heute hoch moderne Baumaschinen und Logistiksysteme zur Verfügung. Generell kann heute in universellen (Zyklischer Vortrieb/Konventioneller Vortrieb) und maschinellen Vortrieb (Kontinuierlicher Vortrieb) unterschieden werden. Als differenzierendes Merkmal für diese Unterscheidung gilt der Ablauf von einzelnen Arbeitsvorgängen. So werden beim universellen Vortrieb die Arbeitsvorgänge nacheinander durchgeführt und beim maschinellen Vortrieb quasi gleichzeitig. Maidl et al. [20] beschreiben den Tunnelbau als einzige Möglichkeit zur Errichtung von Untertagebauten, ohne größere Beeinträchtigung oberirdischer Bebauung oder Verkehrsströme. Diese Tatsache ist speziell in Bereichen sensibler Infrastruktur und in Stadtzentren von enormer Bedeutung. Bislang wurde größtenteils die Verkehrsinfrastruktur in den Untergrund verlegt. Immer öfter jedoch werden auch andere Nutzungen wie z.B. Anlagen für die Energiegewinnung, Wasserver- und -entsorgung oder Leitungen zur Datenübertragung im Untergrund angedacht, welche heutzutage immer öfter mit einer TVM aufgefahren werden. Durch die Entwicklung des kontinuierlichen Vortriebes konnten lange Tunnel in einer viel kürzeren Zeit hergestellt werden. Einen großen Anteil am Erfolg des bergmännischen Vortriebs im Untergrund von Städten hat die Schildmaschinentechologie. Sie ermöglicht die Errichtung von längsgestreckten Untertagebauten in Bereichen mit geringer Überdeckung und verhindert, selbst in geologisch oder hydrologisch herausfordernden Zonen, Störungen an der Oberfläche (Setzungen, Verbrüche, etc.). In den nächsten zwei Unterkapiteln werden der universelle und der maschinelle Vortrieb erläutert.

### 2.1 Universeller Vortrieb

*Bearbeitet durch Schulter.*

Der universelle Vortrieb wird auch als zyklischer oder konventioneller Vortrieb bezeichnet und beinhaltet den Spreng-, Bagger-, Misch-, Teilschnittmaschinen (TSM)- und Messervortrieb. Das bedeutet, dass die einzelnen Arbeitsschritte zyklisch, also nacheinander stattfinden. Charakteristisch für diese Art von Vortrieb sind zum einen, dass die Ausführung mit einer systematisch vorausseilenden Sicherung erfolgen kann. Andererseits können die einzelnen Arbeitsschritte mithilfe von Einzelgerätschaften zeitlich aufeinanderfolgend durchgeführt werden. Die einzelnen

Arbeitsschritte sind dabei das Lösen, das Schuttern sowie der Einbau von Stützmitteln, welche im Folgenden beschrieben werden:<sup>13</sup>

**Lösen:** Unter Lösen versteht man den Ausbruch des Gesteins an der Ortsbrust. Dies erfolgt entweder mittels Sprengen, einem Tunnelbagger, einer TSM oder eines Messervortriebes. Die gewählte Methode hängt größtenteils von den geologischen Gegebenheiten ab. Eine Beschreibung der einzelnen Vortriebsarten wird in den folgenden Unterkapiteln gegeben.

**Schuttern:** Als Schuttern wird das Abtransportieren von gebrochenem Material mittels Mulden, LKW oder im Gleisbetrieb bezeichnet. Es beinhaltet im wesentlichen drei Schritte. Das Aufladen erfolgt bei kleinen Querschnitten mit dem Überkopflader, ansonsten mit Löffelbaggern oder Ladeschaufeln. Diese beladen das jeweilige Transportgerät. Beim Transport mit dem Lastkraftwagen muss eine geeignete Fahrbahn vorhanden sein, damit eine angemessene Geschwindigkeit gefahren werden kann. Die Steigung darf dabei maximal 7 Prozent betragen. Die Breite des Tunnels muss mindestens zwischen 7 und 8 m liegen. Dabei darf der erhöhte Bedarf an Frischluft, vor allem beim Großdumper, nicht außer Acht gelassen werden. Ferner ist ein Transport mithilfe von Lokomotiven, im Speziellen, wenn es sich um sehr enge Platzverhältnisse handelt, möglich. Hierbei kann jedoch nur weniger Steigung bewältigt werden, konkret maximal 3 Prozent. Die Geschwindigkeit sollte sich bei maximal 20 km/h einpendeln. Der kleinste Kurvenradius beträgt in etwa 7 m, die Spurweiten kommen auf 600 bis 1435 mm. Bandförderanlagen stellen zwar im Bergbau eine gute Transportoption dar, im konventionellen Tunnelbau gelten sie allerdings aufgrund ihrer geringen Nutzungsdauer als keine geeignete Alternative. Trotz der geringeren Nutzungsdauer kommen Bandförderanlagen im maschinellen Vortrieb häufig zum Einsatz. Zudem würde ein weiteres Transportsystem für beispielsweise Gerätschaften notwendig sein. Die Ausfallszeiten dieser Art der Förderanlagen werden außerdem immer noch als hoch angesehen. Handelt es sich allerdings um lange Tunnel, die mit TVM aufgefahren werden, können auch Vorteile entstehen. Das abgebaute Material sollte im Sinne der Nachhaltigkeit, sofern die Möglichkeit besteht, eine Wiederverwendung finden. Beim Gleisbetrieb sind besondere Abladevorrichtungen zu installieren. Keine erwartenden Konflikte macht hingegen das Abladen von Lastkraftwägen. Das Schuttern mittels LKW-Transport gilt beim Sprengvortrieb als geeignetste Form, da dabei keine separate Konstruktion (Gleise) aufgebaut werden muss.<sup>14</sup>

**Sichern des Ausbruchs:** Der Einbau der Stützmittel erfolgt unmittelbar nach dem Ausbruch. Sie dienen der Erhöhung der Eigentragwirkung des Gebirges. Dabei kommen Anker, Spritzbeton, Bewehrungsmatten, Spieße sowie Tunnelbögen zum Einsatz. Eine Ausnahme ist die vorausseilende Sicherung, welche vor dem Ausbruch eingebracht wird. Die unterschiedlichen Stützmittel werden in Kap. 2.1.6 näher beschrieben.

Der Vortrieb kann entweder als Vollausbuch oder als Teilausbuch erfolgen. Welche Art des Ausbruchs angewendet werden kann hängt von der Qualität des Gebirges, der Größe des Querschnitts sowie der benötigten Zeit für den Einbau der Stützmittel ab. In Abb. 2.1 sind schematisch verschiedene Ausbruchsarten dargestellt. Die zwei verschiedenen Arten werden nachfolgend erläutert.<sup>15</sup>

**Vollausbuch:** Beim Vollausbuch wird der gesamte Querschnitt in einem Zyklus ausgebrochen. Vorteile des Vollausbuches sind unter anderem die meist verkürzte Bauzeit, da das ganze

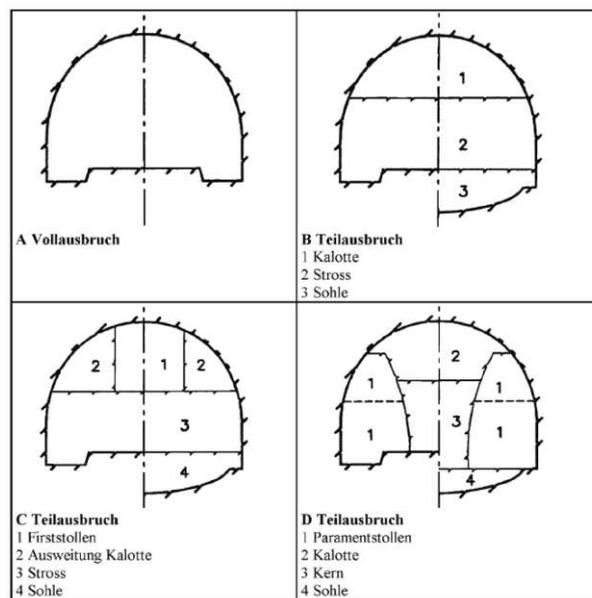
<sup>13</sup>Vgl. [10] Goger, S. 69 f.

<sup>14</sup>Vgl. [7] Girmscheid, S. 93 f.

<sup>15</sup>Vgl. [7] Girmscheid, S. 56 f.f.

Profil in einem Arbeitsschritt ausgebrochen wird. Ein weiterer Vorteil ist die schonende Wirkung auf das Gebirge, da es zu keiner mehrmaligen Spannungsumlagerung kommt. Die geringe Anpassungsfähigkeit bei sich verschlechternden Gebirgsverhältnissen stellt den großen Nachteil dar.

**Teilausbruch:** Falls die Stehzeit des ausgebrochenen Gebirges geringer als die Zeit für das Auffahren und den Einbau der Stützmittel ist, kommt der Teilausbruch zur Anwendung. Dabei wird der Ausbruchsquerschnitt noch weiter in kleinere Querschnitte aufgeteilt, wobei die unterschiedlichen Teilquerschnitte im laufenden Vortrieb zeitlich getrennt vorgetrieben werden.



**Abb. 2.1:** Schematische Darstellung verschiedener Ausbruchsarten (Quelle: Girmscheid [7, S. 47])

In Abb. 2.1 sind vier Vortriebsvarianten (A bis D) abgebildet. Bei Variante A handelt es sich um einen Vollausbruch mit flacher Sohle. Variante B zeigt einen Teilausbruch, aufgeteilt in Kalotte, Strosse und Sohle. Eine Teilung der Kalotte in 3 Teile, bei dem der mittlere Kern zuerst ausgebrochen wird und anschließend gleichzeitig die beiden Seiten, zeigt Variante C. Bei Variante D werden im ersten Schritt die beiden Pilotstollen vorangetrieben und erst in den nächsten Schritten der gesamte Kern, aufgeteilt in Kalotte, Strosse und Sohle, ausgebrochen. In den folgenden Abschnitten wird auf die verschiedenen Vortriebsarten näher eingegangen.

### 2.1.1 Sprengvortrieb

Nach Goger [10] wurde in den letzten Jahren die Leistungsfähigkeit des Sprengens signifikant erhöht. Dies ist einerseits durch neue Errungenschaften in der Sprengtechnik erreicht worden, andererseits sind die Bohrgeräte immer leistungsfähiger. Die Variante des Sprengvortriebes kommt bei einer mittleren bis hohen Gesteinsfestigkeit zur Anwendung. Dabei spielt die Abravität des Gesteins eine wesentliche Rolle, wodurch der Sprengvortrieb eine wirtschaftlichere Lösung als der Vortrieb mittels TSM sein kann.

Beim Sprengvortrieb werden mit Hilfe von Bohrwagen Sprenglöcher gebohrt. Die Bohrungen erfolgen in einem Sprengschema. Diese werden mit dem Sprengmittel besetzt, welche entweder

gepumpt oder mittels Ladestöcken geführt werden. Zusätzlich wird der benötigte Zünder für die Sprengung im Tiefsten des Sprenglochs platziert. Vor der Zündung werden die einzelnen Ladungen zu einem Zündkreislauf miteinander verbunden. Mittels einem Sprengzünder erfolgt die Sprengung und nach einer kurzen Bewetterungspause wird mit dem Schuttern und dem Einbau der Sicherung gestartet. Im Folgenden wird auf die Bohrgeräte sowie auf diverse Sprengmittel eingegangen.<sup>16</sup>

### Bohrgeräte

Bohrwägen mit einem oder mehreren Armen (die Anzahl der Bohrarme ist dabei von der jeweiligen Querschnittsgröße abhängig), die beim Tunnelbau zum überwiegenden Teil benutzt werden, weisen elektrohydraulische Ausrüstungen auf. Wie in Abb. 2.2, die einen vier-armigen Bohrwagen zeigt, sind diese radfahrbar und werden mit Diesel betrieben. Die Bohrarme, welche in jegliche Richtungen geschwenkt werden können, sind ferner mit einem Ladekorb und Lafetten bestückt, wobei letztere für das Führen von schweren Bohrhämmern vorgesehen sind. Um den Sprengvortrieb vollautomatisch steuern zu können, muss ein dreidimensionales Sprengbild konstruiert werden, in welchem sowohl die Position der Bohrlöcher, als auch das Bohrlochtiefste (die sogenannte dritte Ebene) gekennzeichnet werden. Dies geschieht mittels dafür vorgesehenen Computerprogrammen. Anschließend findet die Übertragung dieser Sprengbilder auf den Rechner der Bohrwägen statt. Zudem hat der Mineur die Aufgabe die errechneten Koordinaten des vorhandenen Sprengbildes, welche vom Vermesser angegeben werden, einzutragen. Mittels Laser werden so die Positionen der Bohrlöcher an der Ortsbrust ermittelt, um die Ausrichtung der Bohrarme einzustellen. Bevor mit den Bohrungen gestartet wird, muss der Bohrwagen aufgestellt werden. Durch hydraulisch verstellbare Aufstandsflächen erhält er einen festen Stand. Der Bohrwagen wird so aufgestellt, dass er den gesamten Querschnitt des Tunnels mit seinen Bohrarmen erreicht, falls dies nicht möglich ist, werden mittels Umsetzen des Bohrwagens die restlichen Stellen gebohrt. Während des Bohrvorganges ist der Bohrwagen mittels Strom in Betrieb, um die Atmosphäre im Tunnel nicht zu verschmutzen.<sup>17</sup>



Abb. 2.2: 4-armiger Bohrwagen (Quelle: Epiroc [6])

### Sprengstoffe

Zu den wesentlichsten Sprengstoffkennwerten zählen Dichte, Gasdruck, Normalvolumen, Detonationsgeschwindigkeit, Ladedichte, Brisanz und Energie- bzw. Explosionswärme. Das Verhältnis von Sprengstoffgewicht und Volumen des Laderaumes wird als die sogenannte Ladedichte be-

<sup>16</sup>Vgl. [10] Goger, S. 70

<sup>17</sup>Vgl. [10] Goger, S. 72

zeichnet und in  $kg/cm^3$  angegeben. Die Brisanz, welche ein Maß für die Sprengstoffleistung bildet, gilt als Effekt der Sprengstoffladung auf die umliegende Umgebung und kann sowohl Zertrümmerungen als auch Risse verursachen, was von der jeweiligen Intensität abhängig ist. Die Energie- bzw. Explosionswärme sollte sich zwischen 3300 und 5500 kJ/kg einpendeln, was beispielsweise im Vergleich zu Heizöl einem sehr niedrigen Wert entspricht. Wesentlich ist beim Sprengvortrieb jedenfalls die richtige Auswahl des am besten geeigneten Sprengstoffes für das jeweilige Projekt, da diese die Vortriebsleistung und Wirtschaftlichkeit bestimmt. Dabei stehen folgende Sprengstoffarten zur Auswahl:<sup>18</sup>

- Nitroglycerin
- Trotyl
- Pentrit bzw. Nitropenta
- Nitrozellulose
- Schwarzpulver
- ANFO/ANC Sprengstoffe
- Sprengschlämme
- Emulsionssprengstoffe

Gelatinöse Sprengstoffarten (ANFO/ANC) detonieren im Regelfall bei 6,5 km/s und haben mehrere wichtige Eigenschaften. Einerseits sind sie wasserbeständig, handhabungssicher und können geknetet werden. Andererseits weisen sie eine enorme Brisanz auf sowie ein Schwadenvolumen, das in etwa 800 l/kg (bei Atmosphärendruck) beträgt. Diese Sprengstoffart kommt im Tunnelbau standardmäßig zum Einsatz. Emulsionssprengstoffe, die zwar ebenso von ihrer Wasserbeständigkeit und Handhabungssicherheit profitieren, weisen hingegen ein erhöhtes Schwadenvolumen von 1000 l/kg und detonieren bei 5,7 km/s. In patronierter Form sind sie auch im Tunnelbau einsetzbar. Keine Wasserbeständigkeit, aber Handhabungssicherheit weisen im Gegensatz dazu pulverförmige Sprengstoffe auf. Das Schwadenvolumen ist mit jenem der Emulsionssprengstoffe gleichzusetzen, aber die Geschwindigkeit der Detonation ist überaus gering mit ungefähr 3 km/s. Einen bedeutenden Kostenfaktor stellt der Sprengstoffbedarf dar, welcher umso höher wird, je kleiner der Tunnelquerschnitt ist. Er beläuft sich auf 0,3 kg/m<sup>3</sup> im weichen Gestein in Kombination mit großen Querschnitten und 4,5 kg/m<sup>3</sup> bei kleinem Querschnitt mit hartem Gestein.<sup>18</sup>

### 2.1.2 Baggervortrieb

Der Baggervortrieb kommt vor allem im lockeren Gestein, in Gebirgen die eine mäßige Festigkeit aufweisen und in Gebieten, bei denen ein erschütterungsarmer Vortrieb benötigt wird, oftmals zum Einsatz. Tunnelbagger sind mit Raupenfahrwerken und schmalen langgezogenen Tieflöffeln bestückt, wobei letztere massive Reißzähne vorweisen können. Anstelle der Tieflöffel können bei härteren Gesteinen auch Baggerarme mit Hydraulikhämmern oder Hydraulikmeißeln angebracht werden.<sup>19 20</sup>

Diese Baggerarmbestückungen sollten eine hydraulische Drehbarkeit nach links sowie nach rechts aufweisen, damit der Ausbruch möglichst genau stattfinden kann. Jedenfalls können mit

<sup>18</sup>Vgl. [7] Girmscheid, S. 80 ff.

<sup>19</sup>Vgl. [10] Goger, S. 93

<sup>20</sup>Vgl. [7] Girmscheid, S. 147

den Tunnelbaggern bei Baugründen von mäßiger Festigkeit überaus hohe Ausbruchsleistungen erbracht werden. Anschließend sind die wichtigsten Merkmale eines Tunnelbaggers, siehe Abb. 2.3, aufgelistet:<sup>21</sup>

- seitliche Kippmöglichkeit der Arbeitsausrüstung um  $2 \times 45^\circ$
- große Reichweite
- Anordnung der Hydraulikeinrichtung im Löffelstiel, um Beschädigungen zu verhindern
- Schwenkbarkeit des Oberwagens um  $360^\circ$
- Verbesserung der Sicht aus der Fahrerkabine bei Rückwärtsfahrt
- Anordnung eines Planierschildes am Unterwagen, um Material zusammenschieben zu können
- Möglichkeit zur Ausstattung mit einem Anbau-Hydraulikhammer

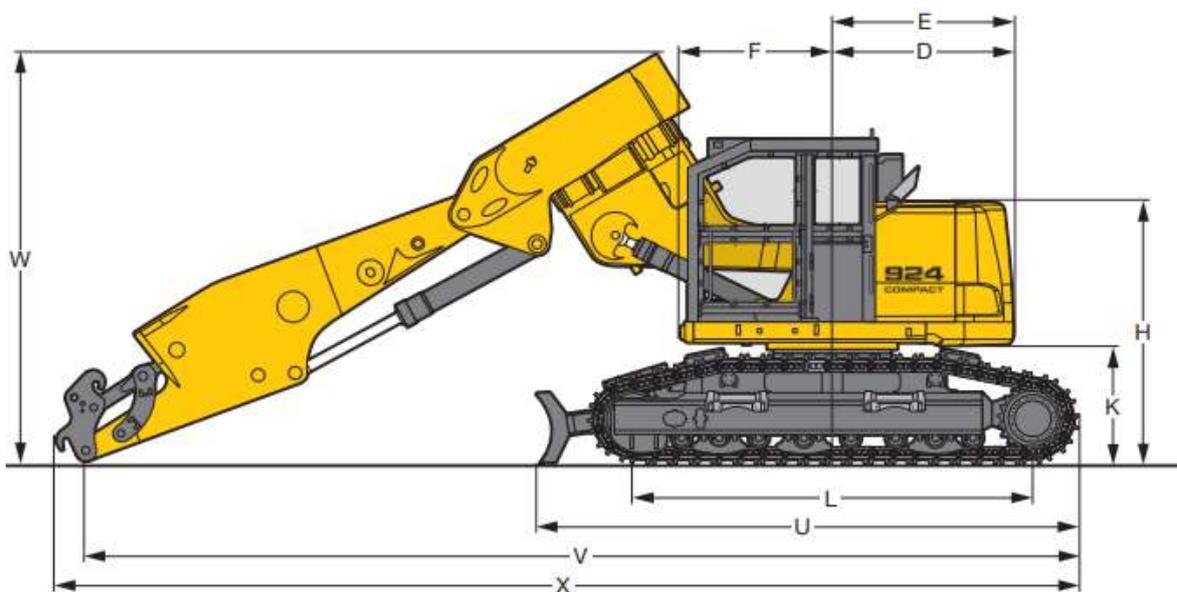


Abb. 2.3: Tunnelbagger (Quelle: Liebherr [18])

Das ausgebrochene Material wird entweder mit dem Bagger oder mittels beigestelltem Frontlader von der Ortsbrust auf Muldenkipper geladen und abtransportiert. Somit kann der Tunnelbagger einerseits zum Lösen des Gesteins sowie andererseits zum Verladen des Ausbruchsmaterial genutzt werden.

### 2.1.3 Mischvortrieb (Hybridvortrieb)

Ein Mischvortrieb ist dann anzuwenden, wenn sich die Festigkeiten des Gesteins beim Abschlag unterscheidet. Dieser Zustand wird auch als *mixed face condition* bezeichnet, welcher in Abb. 2.4 schematisch dargestellt ist. Dabei ist bei mittleren bis hohen Festigkeiten der Sprengvortrieb anzuwenden und bei geringeren Festigkeiten der Baggervortrieb zu wählen. Durch den ständigen Wechsel der Vortriebsart erleidet der Vortrieb eine zeitliche Verzögerung.<sup>22</sup>

<sup>21</sup>Vgl. [7] Girmscheid, S. 147

<sup>22</sup>Vgl. [10] Goger, S. 94

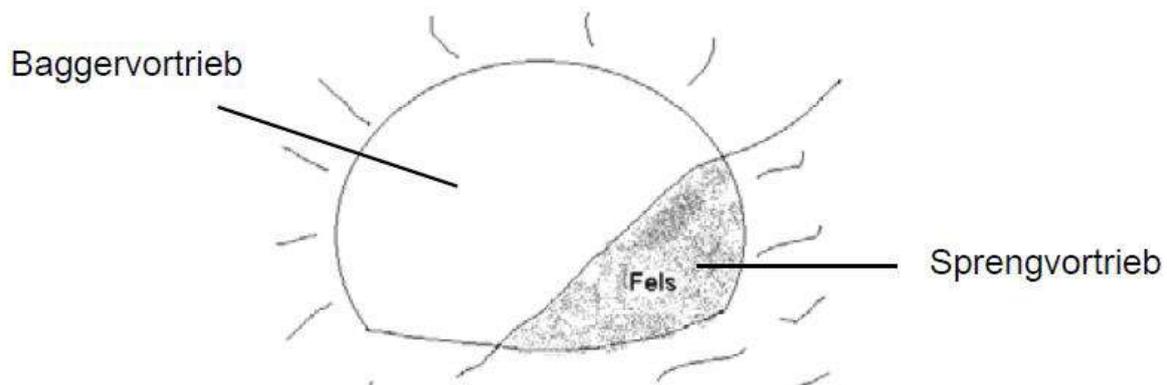


Abb. 2.4: Mischvortrieb (Quelle: Goger [10, S. 94])

### 2.1.4 TSM-Vortrieb

Der Vortrieb mittels Teilschnittmaschinen kommt sowohl im Lockergestein, als auch bei mittleren Gesteinsfestigkeiten zum Einsatz und bei Projekten mit kurzer Tunnellänge, bei *mixed face condition* sowie bei Querschnitten, welche im Laufe des Projekts variieren. Durch den weitgehend erschütterungsfreien Vortrieb wird eine TSM gerne in bebauten Gebieten eingesetzt. Bei zeitknappen engen Startterminen bietet eine TSM den Vorteil, dass diese schnell auf die Baustelle geliefert und aufgebaut werden kann. Dies ist durch ihre, im Gegensatz zur TVM, kleineren und wenigen Komponenten gewährleistet. Diese Art des Vortriebs, welche durch großes Staubaufkommen und den daraus resultierenden verschärften arbeitsrechtlichen Auflagen geprägt ist, findet in der Praxis wenig Anwendung. Das Lösen des Gebirges im Bereich der Ortsbrust wird mithilfe eines Schneidkopfes vorgenommen. Neben dem Schneidkopf zählen der Schrärmarm mit Schwenkwerk, das Trägergerät sowie die Lade- bzw. Fördereinrichtung zu den wichtigsten Komponenten einer Teilschnittmaschine. In Abb. 2.5 ist ein Aufbau einer Teilschnittmaschine abgebildet. Das gelöste Gestein kann mit einer Ladeeinrichtung aufgenommen werden und die Materialförderung erfolgt mittels integrierten Förderbändern in Richtung der Schuttergeräte.

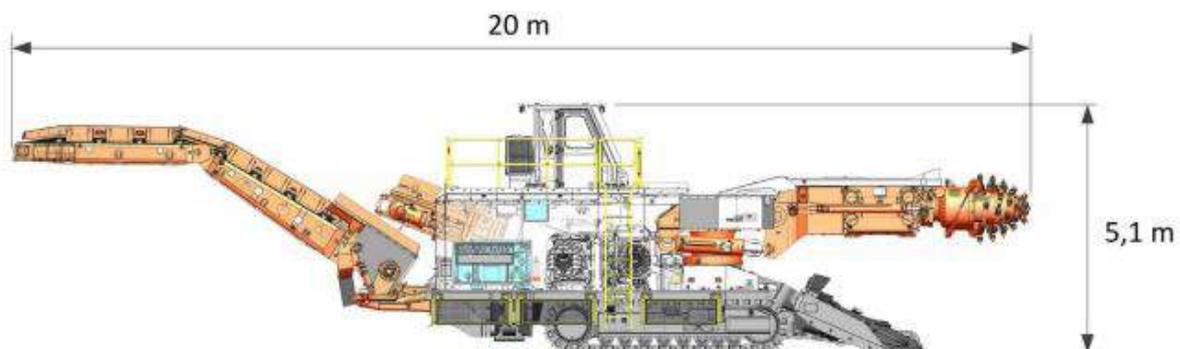


Abb. 2.5: Teilschnittmaschine für den zyklischen Vortrieb (Quelle: Sandvik [29])

Zuerst wird der rotierende Schneidkopf punktuell in die Ortsbrust eingesenkt, was entweder durch Teleskopausleger oder Vorfahren der gesamten Maschine erfolgt. Anschließend löst der Schrämkopf durch seitliches Schwenken des Schneidarmes lagenweise das Gestein heraus, wobei die Maschine sich nicht mehr bewegen soll, um das Gestein möglichst ungestört in die Ladeeinrichtung befördern zu können.<sup>23</sup>

<sup>23</sup>Vgl. [10] Goger, S. 94

### 2.1.5 Messervortrieb

Der Messermantel, welcher sich entweder auf zwei oder drei stählernen Ausbruchbögen befindet, bildet die Basis des Messervortriebes. Die Breite der Vortriebsmesser, welche in Schlössern auf den Stahlbögen montiert sind, beträgt zwischen 12 und 18 cm, wobei das hintere Messerstück auf dem Tunnelausbau aufliegt. Normalerweise erfolgt der Messervortrieb mittels hydraulischen Pressen mit Hublängen zwischen 50 und 100 cm. Hierbei ist zwar eine einzelne Vorpressung der Messer vorhanden, allerdings sind diese an den Längsseiten miteinander verhakt. Danach kann die Ortsbrust beginnend von oben abgebaut werden. Daraufhin ist es möglich die nächste Ringbreite des Tunnelausbaues anzugehen. Weil das Gewicht des Frischbetons und der Gebirgsdruck auf die Schalung einwirken, muss bei der Schalungskonstruktion äußerst vorsichtig vorgegangen werden. Eine schematische Darstellung eines solchen Messerschildes ist in Abb. 2.6 abgebildet. Der Messervortrieb kann in jeder beliebigen Querschnittsform angewendet werden, jedoch wird er im innerstädtischen Bereich nur noch äußerst selten eingesetzt.<sup>24</sup>

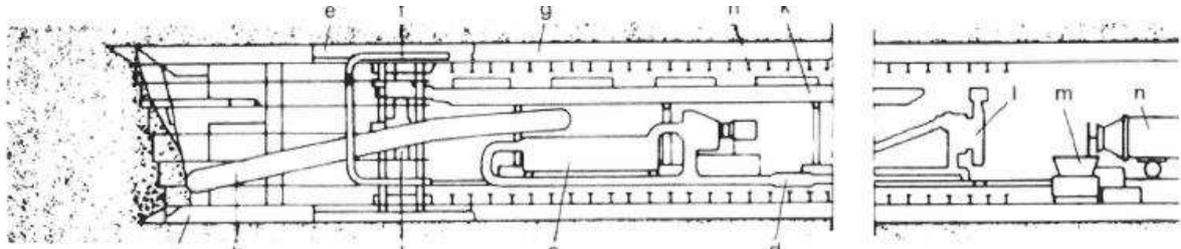


Abb. 2.6: Schematische Darstellung eines Messerschildes (Quelle: Goger [10, S. 100])

Im Allgemeinen werden Messerschilde, die erstmals vom Unternehmen Voest-Alpine Bergtechnik (ehemals Westfalia Lünen) konstruiert wurden, von Schildmaschinen aufgrund eines aufgelösten Messerschildmantels differenziert. Letztere charakterisieren sich im Gegensatz dazu durch einen kontinuierlichen bzw. geschlossenen Mantel. Messerschilde können in Lockergesteinen oder Lockgesteinstrecken von Felstunneln eingesetzt werden. Im Bereich Arbeitssicherheit kann dabei mithilfe einer vorauseilenden Sicherung noch sicherer gearbeitet werden. Sofern das Lockergestein sich als instabil darstellt, kann die Vortriebsleistung durch eine mechanische Sicherung verbessert werden. Ein weiteres Charakteristikum des Messerschildes ist, dass die Messer entweder einzeln, in Paaren oder in Gruppen hydraulisch vorgetrieben werden, wohingegen beim Schildvortrieb der komplette Schild entgegen eines Widerlagers vorgepresst wird. Beim Messerschild bildet die Reibung zwischen Gebirge und den restlichen Messern das Widerlager. Außerdem sind weitere Vorteile von Messerschilden, dass die Form des Querschnittes dabei beliebig sein kann und es möglich ist, jegliche Hindernisse frühzeitig zu erfassen. Allerdings können diese im Vergleich zu geschlossenen Schilden nicht so einfach gesteuert werden und bei gleichzeitiger Verwendung von Druckluft kann die Gefahr bestehen, dass enorme Luftverluste eintreten. Generell eignen sich Messerschilde am besten für Längen von 100 bis 300 m, nicht aber für längere Tunnel über 1000 m.

### 2.1.6 Sicherungsmaßnahmen

Sicherungsmaßnahmen während der Bauausführung müssen unterschiedliche Aufgaben erfüllen. Einerseits dienen sie zum Schutz der Arbeiter und andererseits wird eine Erhöhung des Gebirgstragverhaltens erreicht. Es wird zwischen konventionellen Sicherungsmitteln und speziellen Sicherungsmaßnahmen unterschieden. Dabei dienen die konventionellen Sicherungsmittel zur

<sup>24</sup>Vgl. [10] Goger, S. 101

Erhöhung der Eigentragwirkung nach dem Ausbruch. Die speziellen Sicherungsmaßnahmen kommen in Bereichen mit einer geringen Überdeckung, bei Unterfahrungen sowie im Grundwasserbereich zur Anwendung. Anschließend werden die wichtigsten Stützmittel im universellen Vortrieb erläutert.<sup>25</sup>

**Spritzbeton:** Grundsätzlich bildet das jeweilige Gebirge das tragende Element. Allerdings kann Spritzbeton zur Verbesserung des Gebirgstragverhaltens nachdem der Hohlraum geöffnet wurde, auf das Gebirge aufgetragen werden. Dadurch wird eine Oberflächenversiegelung erreicht.<sup>26</sup> Des Weiteren wird Spritzbeton auch zur Sicherung (mithilfe von Stahlmatten bzw. -bögen) verwendet. Differenziert wird dabei zwischen Spritzbeton mit einer maximalen durchschnittlichen Korngröße von 16mm und Gunit (maximale Korngröße von 6mm). Spritzbeton wird aus einer Entfernung von 1 bis maximal 1,5 m senkrecht zur Felswand gespritzt, wobei die Geschwindigkeit des Aufpralles bei 20 bis 30 m/s liegt. Die Auftragung des Spritzbetons erfolgt in mehreren Schichten (circa 3 bis 4 cm dick) jeweils von unten nach oben, wobei im Normalfall 15 bis 30 Prozent zurückprallen. Spritzbeton wird im Bereich des Tunnelbaus aufgrund folgender baubetrieblicher Merkmale verwendet:<sup>27</sup>

- *Auftragen und Verdichten erfolgt in einem Arbeitsgang*
- *ohne Schalung auch überkopf verarbeitbar*
- *hohlraumfreier, satter Anschluss ans Gebirge*
- *hoher Haftverbund mit dem Untergrund (Verbundkonstruktion: Spritzbeton – Gebirge)*
- *verschiedene Schichtstärken in einem Arbeitsgang*
- *beliebige Formgebung*
- *frühes Aufbringen auch in Teilbereichen*
- *relativ biegeweich im Erhärtungsstadium*
- *in Kombination mit Ankern, Bewehrung, Stahlbögen etc. einsetzbar*

Heutzutage erfolgt der Einbau von Spritzbeton jedoch nicht mehr nur wegen der vorläufigen Sicherung, sondern dient auch als Lastabtragung in der Verbindung zwischen Gebirge und Spritzbetonschale. Bei der Auftragung des Spritzbetons können zwei unterschiedliche Verfahren angewandt werden. Einerseits das Trockenspritzverfahren mithilfe von Spritz-Bindemitteln oder Tunnelzementen, bei welchem die Wasserzugabe mithilfe einer Spritzdüse stattfindet. Andererseits das Nassspritzverfahren, bei welchem der Beton bereits mit Wasser vermischt wurde und zur Spritzdüse gepumpt werden kann, um unter Treibluftzugabe gespritzt werden zu können. Bei beiden Verfahren sind pulverförmige oder flüssige Erstarungsbeschleuniger hinzuzuziehen. Im Tunnelbau wird das Trockenspritzverfahren an sich, hinsichtlich Arbeitssicherheit und Hygiene wegen der enormen Staubeentwicklung, weniger eingesetzt. Im Nachfolgenden werden die beiden Verfahren noch detaillierter beschrieben.<sup>26</sup>

**Nassspritzverfahren (wet mix):** Mithilfe von Transportmischern ist es bei diesem Verfahren möglich, das Nassmischgut zum Tunnel bzw. direkt zur Ortsbrust zu befördern. Im nächsten Schritt erfolgt die Abgabe des Mischguts in den Trichter einer Spritzpumpe, das anschließend über eine Pumpleitung in einen Spritzroboter übergeführt und ein Erstarrungsbeschleuniger zugeführt wird. Im Gegensatz zum Trockenspritzverfahren kann beim Nassspritzverfahren circa die doppelte Spritzleistung erreicht werden.

<sup>25</sup>Vgl. [10] Goger, S. 195

<sup>26</sup>Vgl. [7] Girmscheid, S. 171 f.

<sup>27</sup>Vgl. [16] Kolymbas, S. 67 f.f.

**Trockenspritzverfahren (dry mix):** Dieses Verfahren wird differenziert zwischen jenem mit naturfeuchten und jenem mit ofentrockenen Zuschlägen. Beim zuletzt genannten Verfahren findet eine Umlagerung des Fertigmischguts, welches in Silos zwischengelagert wird, in für den Tunnel taugliche Silofahrzeuge statt. Mit diesen Fahrzeugen kann das Mischgut anschließend in den Tunnel befördert werden. Gefördert wird der Spritzbeton bei diesem Verfahren mittels Pumpen (dabei können bis zu 300 m an Strecke zurückgelegt werden). Beim Verfahren mit naturfeuchten Zuschlägen besteht die Option, dass die Silolagerung, welche als aufwendig gilt, weggelassen werden kann.

Ferner sind Vorteile des Trockenspritzverfahrens gegenüber dem Nassspritzverfahren zu nennen. Zum einen sind die dafür benötigten Maschinen kleiner und billiger und dadurch auch die Wartungs- sowie Reinigungskosten niedriger. Zum anderen ist es einfacher die Arbeiten zu unterbrechen oder wiederaufzunehmen, die Betonzusatzmittel gelten als einfacher zu dosieren und es herrschen bessere Betoneigenschaften. Außerdem können große Förderlängen bis maximal 150 m zurückgelegt werden und das Auftragen auf feuchtem Untergrund gilt als einfacher, weil die Zugabe von Wasser per Hand reguliert werden kann. Umgekehrt ergeben sich allerdings auch beim Nassspritzverfahren Vorteile gegenüber dem Trockenspritzverfahren, wie beispielsweise eine geringe Staubeentwicklung und Streuung der Betonbeschaffenheit, geringerer Rückprall sowie eine höhere Leistungsfähigkeit. Bevor Spritzbeton überhaupt aufgetragen werden kann, muss die Oberfläche vom Staub befreit werden. Gereinigt wird dabei mittels Spritzdüse, die nur Druckluft und Wasser verwendet. Zudem ist die Oberfläche, die bespritzt werden soll, anzufeuchten. Im Allgemeinen gilt die Arbeit mit Spritzbeton als nicht ungefährlich, da es zu einer großen Staubeentwicklung kommt sowie ätzende Stoffe freiwerden. Durch den Einsatz von Mechanik im Zuge von Robotern oder Spritzarmen können die Arbeiten allerdings erleichtert werden bzw. die Herstellungszeit des Tunnels um bis zu 15 Prozent verkürzt werden.<sup>28</sup>

**Bewehrungsmatten:** Bewehrungsmatten werden großteils in der Laibung eingebaut. Falls nötig werden sie zur Sicherung der Ortsbrust ebenfalls eingesetzt. Sie dienen einerseits als Schutz der Arbeiter gegen das Herabfallen loser Gesteinsbrocken und andererseits wirken sie in Kombination mit Spritzbeton als Bewehrung. Normalerweise verwendet man Baustahlgitter welche, bevor sie eingebaut werden, zurechtgeschnitten und anschließend an den Tunnelbögen befestigt werden. Der Einbau kann einlagig oder zweilagig erfolgen.<sup>29</sup>

**Anker:** Als Anker werden laut *ÖNORM B 2203-1* [27] Stäbe, Rohre oder Litzen bezeichnet, welche in das Gebirge eingebaut werden, um die Gebirgseigenschaften zu erhöhen. Ankersysteme sind nach ihrer Wirkungsweise zu unterscheiden. Die auftretenden Zug- bzw. Querkräfte werden mittels Mörtel (Verbundanker), durch Reibung (Reibungsanker) oder mit Hilfe von Spreizkörpern am Ankerfuß (Spreizhülsenanker) in das Gebirge eingeleitet. Der Ort des Einbaues ist zumeist in der Laibung, falls nötig können Anker ebenfalls als Ortsbrustsicherung verwendet werden.

Ebenso wird zwischen Einzelankerung, Mehrfachankerung und Systemankerung unterschieden. Wenn einzelne Blöcke oder Platten gesichert werden müssen, kommt die Einzelankerung zum Einsatz. Der Unterschied zwischen der Mehrfachankerung und der Systemankerung ist jener, dass bei der Systemankerung der Ausbauwiderstand durch Vorspannen erhöht wird und die Mehrfachankerung erhöht die aufnehmbaren Scherkräfte durch Verdübelung von Trennflächen.<sup>30</sup>

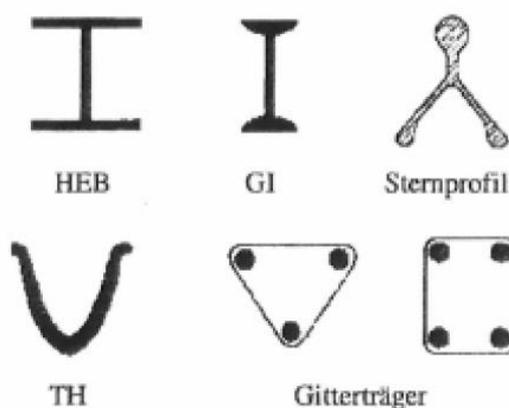
<sup>28</sup>Vgl. [16] Kolymbas, S. 67 f.f.

<sup>29</sup>Vgl. [10] Goger, S. 208

<sup>30</sup>Vgl. [10] Goger, S. 209 f.f.

**Tunnelbögen:** Bei nicht standhaften, nachbrüchigem Gebirge kommen Tunnelausbaubögen zum Einsatz und fungieren nach dem Ausbruch als Abstützung des Gebirges sowie als Schutz von Arbeitsräumen. Ausbaubögen haben mehrere wichtige Funktionen, wie zum Beispiel eine hohe Normalkraftaufnahmefähigkeit oder eine hohe Biegetragfähigkeit. Des Weiteren bieten sie einen guten Verbund zu Spritzbeton oder der Betonschale sowie eine gute Einspritzbarkeit. Wesentlich ist, dass bei Ausbaubögen im Fußbereich eine kräftige Verbindung zum Untergrund stattfindet, damit die Tragfunktion gewährleistet ist. Dies kann beispielsweise mithilfe von Keilen erreicht werden. Sie werden direkt unmittelbar nach dem Lösevorgang installiert und mit Hilfe von Spritzbeton wird ein Verbund zwischen dem Gebirge und den Bögen hergestellt. Die Entscheidung, welche Art von Tunnelbögen verwendet wird, hängt einerseits vom Gebirgsverhalten ab, andererseits haben die Wirtschaftlichkeit und Handhabung eine wichtige Bedeutung. Daher werden die Tunnelbögen in mehrere Segmente aufgeteilt, um eine Gewichtsminderung beim Transport zu erzielen und eine Erhöhung der Handhabung zu gewährleisten. Somit kommen vier unterschiedliche Tunnelbögen zum Einsatz, welche in Abb. 2.7 zu sehen sind:<sup>31</sup>

- Vollwandprofile einsteigig (GI-, HEA-, HEB-Profile)
- Vollwandprofile zweisteigig (U-Profile, TH-Profile)
- Gitterträger
- Sternprofile



**Abb. 2.7:** Profilformen von Tunnelbögen (Quelle: Goger [10, S. 221])

Der Einbau dieser Elemente hat mehrere Vorteile, wie zum Beispiel, dass bei Gebirgskontakt sofort Tragfähigkeit eintritt, dass flexible Erhöhungen des Ausbauwiderstandes möglich sind sowie Vorfertigung und hohe Duktilität. Ferner besteht auch im Nachhinein noch die Option eines zusätzlichen Einbaus für einen erhöhten Ausbauwiderstand. Stahlbögen können zudem auch als Vermessungshilfen dienen. Nachteile mit schwereren Profilen sind, dass damit nicht so leicht umgegangen werden kann und bei Veränderungen des Sollausbruchquerschnittes weniger flexibel reagiert werden kann. Im Falle eines Überprofils sind oftmals große Anpassungen mittels Spritzbeton notwendig und die generellen Bestell- und Lieferzeiten stellen weitere Nachteile dar.

**Vorauselende Sicherungen:** Wenn sich die Geologie als ungünstig darstellt und im Speziellen auch noch Wasser einwirkt, ist der Einsatz einer systematisch vorauselenden Sicherung

<sup>31</sup>Vgl. [7] Girmscheid, S. 239 f.f.

sinnvoll. Dabei finden der abschnittsweise Einbau von Sicherungsmitteln sowie weitere besondere Sicherungsmaßnahmen statt, damit ein gesicherter Vortrieb erfolgen kann. Ziel ist die Sicherung der Ortsbrust sowie des freistehenden Gewölbes. Dabei wird mittels Schirmgewölbesicherungen vor dem Ausbruch die Ortsbrust gesichert. Schirmgewölbesicherungen sind beispielsweise Spieße, Vorpfändungen mit Verzugsblechen und Kanaldielen, Rohr-, Gefrier- sowie DSV-Schirme und Setzungsstabilisierungsinjektionen. Bei festen Gesteinen werden Spieße, Rohrschirme und Klufstabilisierungsinjektionen benutzt, wohingegen im lockeren Gestein Vorpfändungen mit Verzugsblechen und Kanaldielen, Gefrierschirme, DSV-Schirme und Setzungsstabilisierungsinjektionen zum Einsatz kommen. Bei lockerem Gestein mit Geröll oder Einlagerungen von Findlingen weisen Rohrschirme gegenüber DSV-Schirmen den Vorteil auf, dass eine Durchbohrung bei Findlingen ohne Probleme möglich ist und mithilfe von Rohren auch eine Verankerung erfolgen kann.<sup>32</sup>

### 2.1.7 Geotechnische Planung von Untertagebauten nach ÖGG

Die Geotechnische Planung stammend von der ÖGG [23] hat sich zum Ziel gesetzt, die jeweiligen bautechnischen Maßnahmen des anstehenden Projektes aus wirtschaftlicher Sicht optimal bei den gegebenen Gebirgsverhältnissen auszunutzen. Dabei sind alle Sicherheits- und Umweltauflagen zu erfüllen. Schlüsselthema sind die vor Ort angetroffenen Gebirgseigenschaften inklusive dem sich daraus ergebenden Gebirgsverhalten. Um eine ingenieurgerechte Planung im Sinne einer bestmöglichen Anpassung an die jeweiligen Orts- und Gebirgsverhältnisse anstellen zu können, sind laut ÖGG [23] bei der Geotechnischen Planung zwei Phasen notwendig, nämlich Planung und Bauausführung. Diese beiden Phasen werden im Folgenden mit den jeweils zugehörigen Schritten erläutert.<sup>33</sup>

**Phase 1 – Planung:** Die erste Phase beinhaltet eine Geotechnische Planung, die die Basis für etwaige Genehmigungen, Ausschreibungen und Bestimmung der bautechnischen Maßnahmen bei der jeweiligen Baustelle bildet. Dabei werden geologische sowie hydrogeologische Berichte im Vorfeld herangezogen. Als Methodik sollen statistische und/oder probabilistische Methoden Anwendung finden, um Unsicherheiten entgegenzuwirken wie in Abb. 2.8 dargestellt. Die Untersuchungserkenntnisse stellen anschließend die Grundlage für etwaige Risikoanalysen dar. Die erste Phase der Planung unterteilt sich in neun Schritte, die im Nachfolgenden detaillierter beschrieben werden:

**Schritt 1 – Bestimmung der Gebirgsarten:** Mithilfe von geologisch/geotechnischen Erkundungen können Gebirge mit gleichartigen Eigenschaften zu verschiedenen Gebirgsarten zusammengefasst werden. Danach sind die geologischen Merkmale einer jeden Gebirgsart zu analysieren und zu bestimmen. Die Anzahl der Gebirgsarten hängt dabei vom jeweiligen Projekt und den vorgefundenen Gebirgsverhältnissen ab.

**Schritt 2 – Ermittlung der Einflussfaktoren für das Gebirgsverhalten:** Im zweiten Schritt werden die vor Ort aufzufindenden Merkmale bestimmt, die Einfluss auf das Gebirgsverhalten nehmen, wie beispielsweise Bergwasserverhältnisse, primärer Spannungszustand, räumliche Orientierung der Trennflächen hinsichtlich dem Bauwerk sowie Abmessungen, Form und Lage der Bauwerke bzw. der Bauteile.

**Schritt 3 – Bestimmung des Gebirgsverhaltens und Zuordnung zu Gebirgsverhaltenstypen:** Bei jenen Bereichen, welche sowohl die gleiche Gebirgsart, als auch die gleichen Einflussfaktoren aufweisen, erfolgt eine Analyse des Gebirgsverhaltens.

<sup>32</sup>Vgl. [10] Goger, S. 103

<sup>33</sup>Vgl. [23] ÖGG, S. 1 f.

Anschließend kann auf Grundlage der errechneten Gebirgskennwerte die Festlegung von Rechenwerten stattfinden. Diese sind projektabhängig zu bestimmen und auch zu dokumentieren. Das gefundene orts- und projektabhängige Gebirgsverhalten soll danach weiteren übergeordneten Kategorien von Gebirgsverhaltenstypen zugewiesen werden.

**Schritt 4 – Bestimmung des Ortsbrustverhaltens:** Im Allgemeinen wird auch das Verhalten der Ortsbrust – analog dem Gebirgsverhalten – verschiedenen Gebirgsverhaltenstypen zugeordnet.

**Schritt 5 – Wahl des tunnelbautechnischen Konzeptes:** Bei der Auswahl des Tunnelbautechnischen Konzeptes sind die jeweiligen projektspezifischen Anforderungen zu beachten, wie zum Beispiel Lösemethode, Angriffspunkte, Anzahl sowie zeitliche Abfolge der Vortriebe und die Vortriebsrichtung.

**Schritt 6 – Festlegung der bautechnischen Maßnahmen und Ermittlung des Systemverhaltens:** Anschließend sollen die Anzahl und die Art der bautechnischen Maßnahmen bestimmt werden, um auf dessen Basis das Systemverhalten herausfinden zu können.

**Schritt 7 – Vergleich des Systemverhaltens mit den Anforderungen:** In der siebten Phase soll ein Vergleich zwischen dem Systemverhalten und den spezifischen Anforderungen wie beispielsweise Begrenzung des Wasserzutrittes oder Systemverträglichkeit der Stützmittel angestellt werden.

**Schritt 8 – Ermittlung der Vortriebsklassen:** Die Ermittlung der Vortriebsklassen wird im achten Schritt vollzogen, wobei sich diese aus der Bewertung der Baumaßnahmen laut *ÖNORM B 2203-1* [27] angeben lassen.

**Schritt 9 – Erstellung des Geotechnischen Berichtes:** Nach der Durchführung der angegebenen acht Schritte der Geologischen Planung kann zuletzt die Erstellung des Geotechnischen Berichts erfolgen.

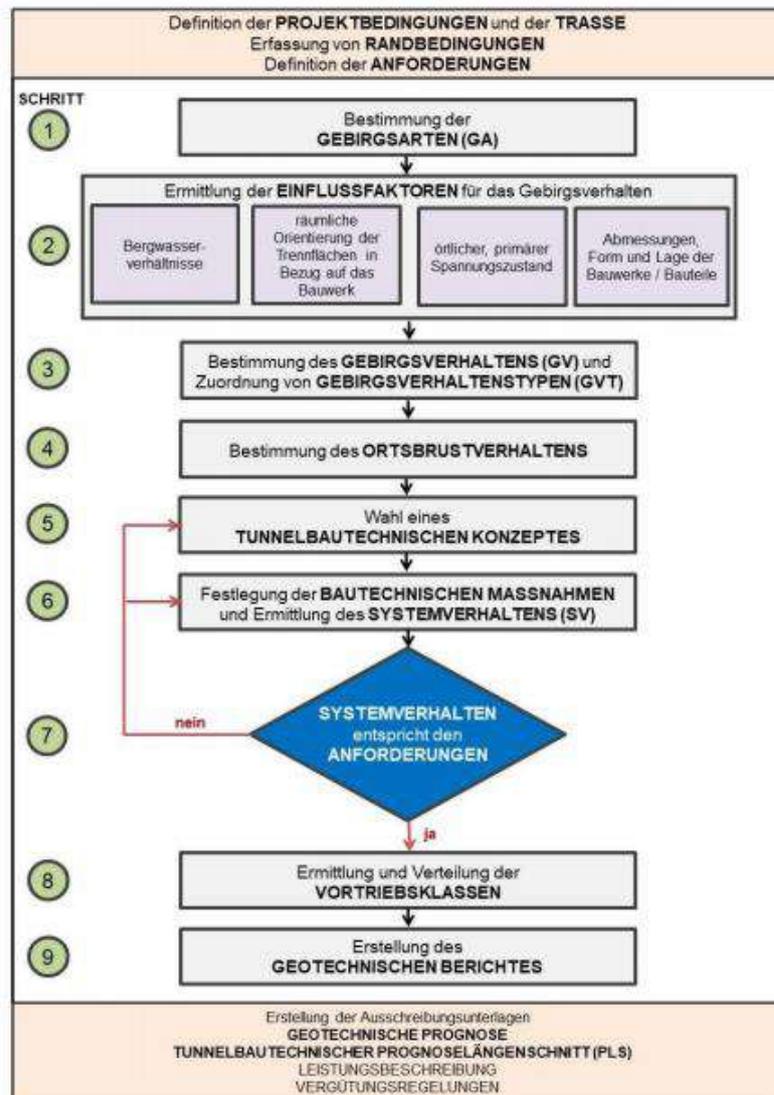


Abb. 2.8: Schematischer Ablauf der Geotechnischen Planung Phase 1 (Quelle: ÖGG [23, S. 13])

**Phase 2 – Bauausführung:** Nachdem die erste Phase abgeschlossen ist, folgt die Bauausführung. Zuallererst wird hierbei die Prognose der Tunnelbautechnik in eine Tunnelbautechnische Rahmenplanung inklusive der Planungsvorgaben übertragen. Während der Bauausführung kann es vorkommen, dass eine Fortschreibung der Prognose bzw. eine Verfeinerung vorgenommen werden muss, weil die tatsächlich vorgefundenen Gebirgsverhältnisse von jenen der vor Baubeginn angenommenen abweichen können. Durch die Bestimmung der tatsächlichen Gebirgsverhältnisse können anschließend die bautechnischen Maßnahmen für das Ausbrechen und die Stützung bestimmt werden. Sinnvoll ist dabei das Beiziehen eines tunnelbauerfahrenen Bautechnikers, vor allem bei anspruchsvollen Hohlraumbauwerken. Im Allgemeinen erfolgt die Bauausführung in folgenden vier Schritten, welche in Abb. 2.9 dargestellt sind:

**Schritt 1 – Bestimmung der aktuellen Gebirgsart und Kurzzeitprognose der Gebirgsverhältnisse:** In diesem ersten Schritt muss die tatsächliche Art des Gebirges bestimmt und in der baugeologischen Dokumentation festgehalten werden. Durch

weitere Erkenntnisse vor Ort können das Baugrundmodell sowie das Erkundungskonzept laufend überarbeitet und ergänzt werden. Damit ist es wiederum möglich, eine kurzzeitige Prognose der Gebirgsverhältnisse zu erstellen.

**Schritt 2 – Festlegung von Ausbruch und Stützung sowie Prognose des Systemverhaltens:** Mithilfe der prognostizierten Verhältnisse des Gebirges sowie unter Bedacht von weiteren Einflussfaktoren kann im zweiten Schritt Ausbruch und Stützung für die folgenden Ausbruchsabschnitte bestimmt werden. Hierbei sind allerdings die vorab getroffenen Annahmen mit den tatsächlich vorgefundenen Gegebenheiten zu vergleichen. Danach kann eine Prognose des Systemverhaltens – immer für die nächste Vortriebsstrecke – inklusive Dokumentation angestellt werden. Der Großteil der bautechnischen Maßnahmen muss vor Ausbruch angegeben werden, auch wenn der Hauptteil dieser auf Prognosen basiert. Danach sollten nur noch geringe Anpassungen vorgenommen werden. Daher spielt die Kurzzeitprognose eine besondere Rolle.

**Schritt 3 – Überprüfung des Systemverhaltens:** Im nächsten Schritt wird anhand von Beobachtungen während dem Ausbruch sowie danach, sowohl visuell als auch mittels Messungen überprüft, ob die Prognosen des Systemverhaltens zutreffend waren. Sofern Abweichungen anzutreffen sind, muss eine Überprüfung der Annahmen über Gebirgsart, Verhalten des nicht beanspruchten Bereiches und der Ortsbrust sowie über Faktoren, welche die Zuordnung der bautechnischen Maßnahmen bestimmen, angestellt werden. Bei Änderungen sind jedenfalls entsprechende Maßnahmen zu treffen.

**Schritt 4 – Bestätigung der bautechnischen Maßnahmen / Freigabe für Innenausbau:** Nach der Überprüfung des Systemverhaltens werden die getroffenen Maßnahmen durch den Planer bestätigt. Dadurch erfolgt die Freigabe des Innenausbaus, welcher durch die Maßnahmen adaptiert wurde.

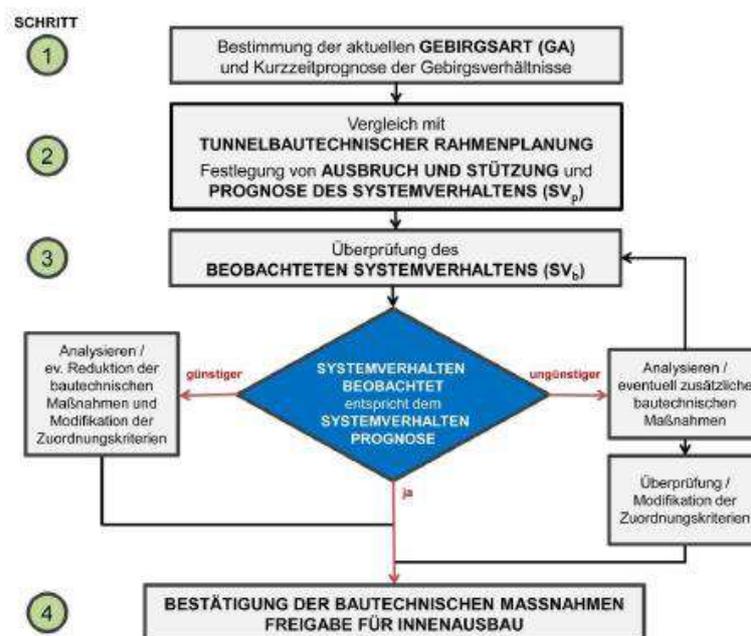


Abb. 2.9: Schematischer Ablauf der Geotechnischen Planung Phase 2 (Quelle: ÖGG [23, S. 31])

### 2.1.8 Ermittlung der Vortriebsklassen im zyklischen Vortrieb

Um während des Baufortschrittes eine entsprechende monetäre Vergütung zu erhalten, ist es notwendig die Ausbruchsarbeiten in Abschnitte zu unterteilen. Dabei ist die Erstellung der sogenannten Vortriebsklassenmatrix ein bedeutender Bestandteil von Tunnelbauverträgen, welche auf der geotechnischen Planung aufbaut. Diese Klassifizierung der Vortriebsklassen ist in der *ÖNORM B 2203-1* [27] geregelt, welche eine Werkvertragsnorm darstellt. Die Vortriebsmatrix im konventionellen Vortrieb besteht aus zwei Ordnungszahlen, die gemeinsam eine sogenannte Vortriebsklasse bilden.<sup>34</sup>

**Erste Ordnungszahl:** Hierbei handelt es sich um die Abschlagslänge von Kalotte, Strosse oder Kalotte mit Strosse wie in Abb. 2.14 zu erkennen ist. Bei der Sohle wird die Öffnungslänge herangezogen.

**Zweite Ordnungszahl:** Die zweite Ordnungszahl wird mittels den benötigten Mengen für den Ausbau, dem Bewertungsfaktor aus Abb. 2.12 und der Bewertungsfläche aus Abb. 2.10 für die Art der Stütz- und Zusatzmaßnahmen ermittelt. Der Bewertungsfaktor spiegelt dabei den Zeitfaktor für den Einbau der Sicherungsmittel wieder. Die Summe der Stützmittel wird letztendlich mit der Bewertungsfläche ins Verhältnis gesetzt. Die Stützmittelzahl wird wie folgt ermittelt:

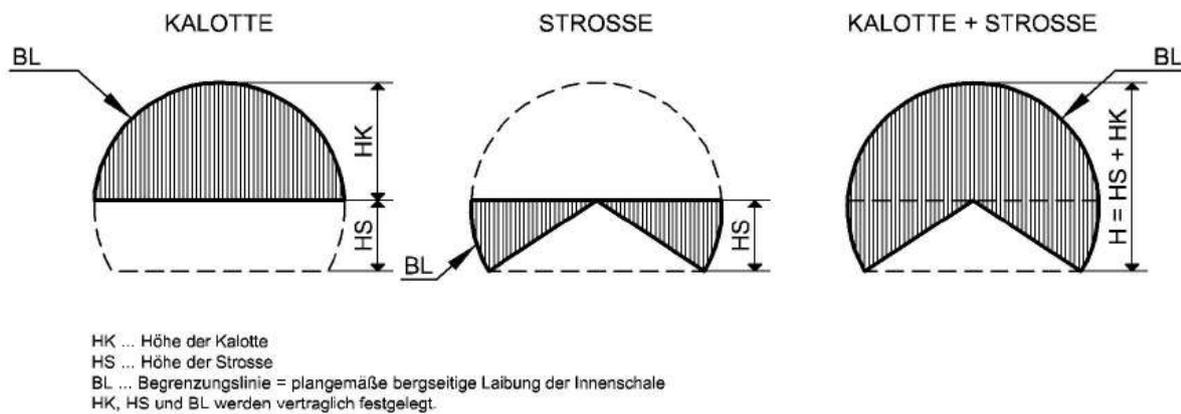
$$sf = \frac{\sum(sq * rf)}{ar} \quad (2.1)$$

$sf$  Stützmittelzahl

$sq$  Menge der Stützmittel pro Tunnelmeter

$rf$  Bewertungsfaktor nach *ÖNORM B 2203-1* [27]

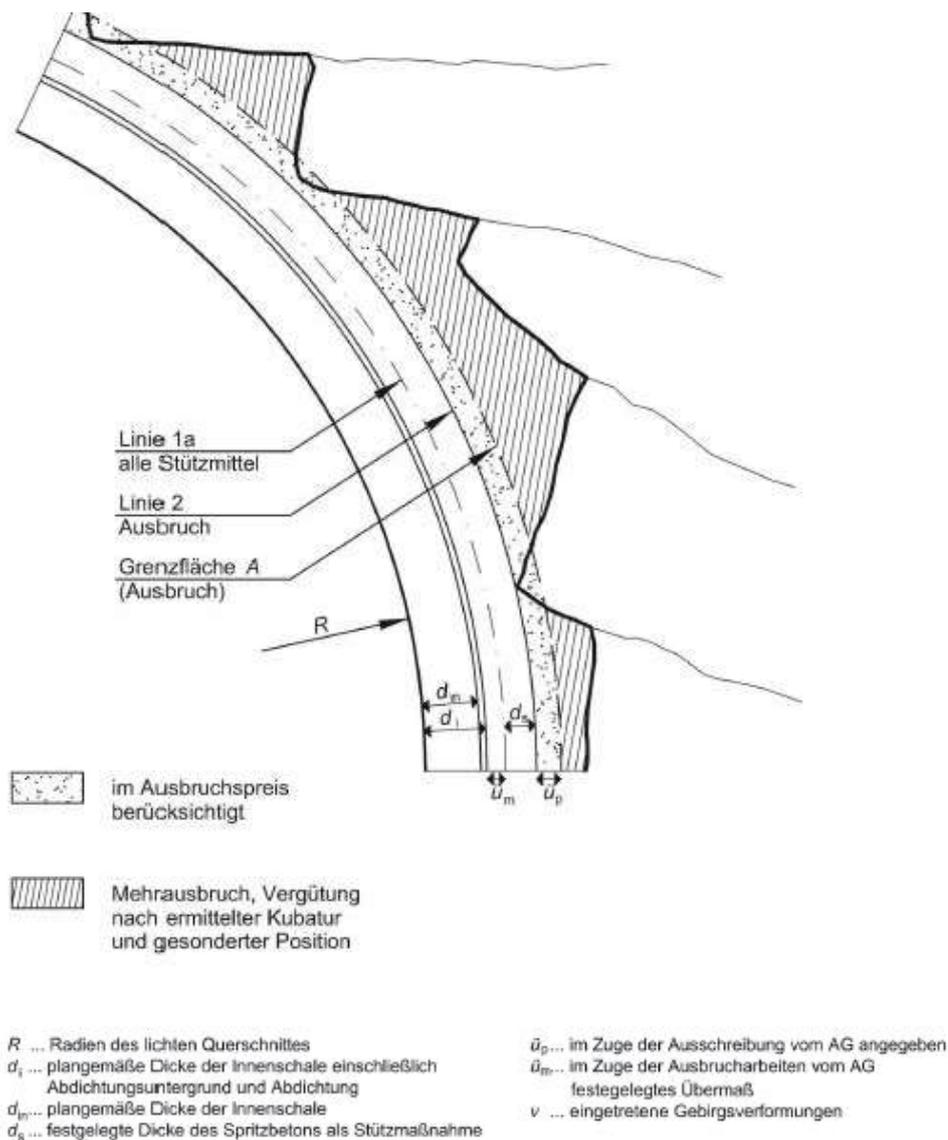
$ar$  Bewertungsfläche nach *ÖNORM B 2203-1* [27]



**Abb. 2.10:** Schematische Darstellung der Bewertungsflächen (Quelle: *ÖNORM B 2203-1: 2001-01* [27, S. 14])

Die Bewertungsfläche ist durch die sogenannte Linie 1a, welche in Abb. 2.11 abgebildet ist, bestimmt und vertraglich zu definieren. Dabei ist das von AG festgelegte Übermaß inkludiert.

<sup>34</sup>Vgl. [10] Goger, S. 31



**Abb. 2.11:** Systemskizze der Abrechnungslinien im konventionellen Vortrieb (Quelle: ÖNORM B 2203-1: 2001-01 [27, S. 16])

Ziel der Vortriebsklassenermittlung ist die Erstellung einer Vortriebsklassenmatrix gemäß Abb. 2.14. Auf der vertikalen Achse ist die Abschlagslänge ersichtlich, ihr werden die ermittelten Stützmittelzahlen mit dazugehörigen Bandbreiten zugeordnet, welche in Abb. 2.13 abgebildet sind. Somit wird der Tunnel in unterschiedliche Ausbauklassen unterteilt.

### Zusammenfassung zyklischer Vortrieb

Der zyklische Vortrieb zeichnet sich dadurch aus, dass die Arbeiten zyklisch und mit Einzelgeräten stattfinden. Welche Vortriebsart gewählt wird, hängt von den geologischen und örtlichen Gegebenheiten ab. Dabei werden die ÖNORM B 2203-1 [27] und die ÖGG [23] zur Planung, Ausführung und schlussendlich für die Abrechnung herangezogen. Durch die im Tunnelbau meist

nicht kontinuierliche Geologie ergeben sich sehr viele Unsicherheiten bezüglich der Vortriebsart und dem Ausbau, welche im Endeffekt in Risiken und Chancen münden.

Stützmittel und Zusatzmaßnahmen		Bewertungsfaktor je Mengeneinheit	Mengen-einheit	Bemerkungen
Anker	Swellex oder gleichwertiges	0,8	m	
	SN Mörtelanker	1,1	m	
	Selbstbohranker	1,7	m	
	Verpressrohranker	2,0	m	
	vorgespannte Mörtelanker	2,5	m	
Ortsbrustanker	Ankeranzahl im Abschlag	8,0	ST	1)
	Verzetzen Ankerplatte ohne Vorspannung	1,7	ST	2)
	Verzetzen Ankerplatte mit Vorspannung	5,0	ST	2)
Spieße	Rammspieße	0,5	m	
	unvermörtelte Spieße	0,6	m	
	vermörtelte Spieße	0,3	m	
	Selbstbohrspieße	1,3	m	
	Verpressrohrspieße	1,6	m	
Verpressungen über 10 kg je m Anker, Spieß, Fußpfahl		0,1	kg	
Baustahlgitter	bergseitig mit Bogen	1,0	m <sup>2</sup>	3)
	hohlraumseitig mit Bogen	1,5	m <sup>2</sup>	3)
	bergseitig ohne Bogen	2,0	m <sup>2</sup>	3)
	Kalottensohle	0,8	m <sup>2</sup>	3)
	Zusatzbewehrung, Ortsbrustbewehrung	2,0	m <sup>2</sup>	3), 4)
Bogen- und Lastverteiler		2,0	m	
Spritzbeton	Kalotte und Strosse	20,0	m <sup>3</sup>	5)
	Kalottensohle, Kalottenfuß	12,0	m <sup>3</sup>	5)
	Ortsbrust	14,0	m <sup>3</sup>	5)
	Auffüllen von Zwickeln und Mehrausbruch	14,0	m <sup>3</sup>	5), 6)
Verformungsschlitze	ohne Stauchelemente	3,5	m	7)
	mit Stauchelementen	5,0	m	7)
Getriebedielen		5,5	m <sup>2</sup>	
Fußpfähle	Fußpfähle $\varnothing \leq 38$ mm	4,5	m	
	Fußpfähle $\varnothing > 38$ mm	5,0	m	
Teilflächen		22,0	ST	8)
Ausbruch Kalottenfußverbreiterung		50,0	m	9)
Abbruch Kalottensohlgewölbe beim Strossenvortrieb		50,0	m	10)

1) Anzahl der vorhandenen Anker beim jeweiligen Abschlag, im Bewertungsfaktor sind Verzetzen, Kötzeln und Erdverwehre beim Lösen berücksichtigt.  
 2) Anzahl der an der jeweiligen Ortsbrust verzetzen Ankerplatten.  
 3) Theoretische Mengen ohne Berücksichtigung der Übergänge in Länge- und Querrichtung.  
 4) Durch die Bewehrung abgedeckte Anschaltfläche - die Anschlussbewehrung Kalotte/Strosse und Strosse/Sohle wird nicht bewertet.  
 5) Theoretische Mengen, ohne Berücksichtigung von Überspritz und Rückspritz.  
 6) Auffüllen von pingemäßen Zwickeln (bei Getriebedielen u.dgl.) oder Auffüllen von anerkannten Mehrausbrüchen bergseitig der Grenzfläche A.  
 7) Laufmeter Schlitzlänge.  
 8) Es werden nur Teilausbrüche als Teilflächen bewertet, die jeweils unmittelbar nach dem Öffnen eine Entsicherung erhalten.  
 9) für beide Kalottenfüße, pro Laufmeter Tunnel.  
 10) Länge des Kalottensohlgewölbes beim jeweiligen Abschlag der Strosse, unabhängig von eventuell erforderlichen Teilabbrüchen.

Abb. 2.12: Bewertungsfaktor der Stützmittel und Zusatzmaßnahmen (Quelle: ÖNORM B 2203-1: 2001-01 [27, S. 13])

Abschlagslänge Kalotte bis	Maximaler Geltungsbereich für die zweite Ordnungszahl (Stützmittelzahl) Kalotte	Abschlagslänge Strosse bis	Maximaler Geltungsbereich für die zweite Ordnungszahl (Stützmittelzahl) Strosse
Keine Vorgabe	$\pm 0,35$	Keine Vorgabe	$\pm 0,45$
4,0 m	$\pm 0,35$		
3,0 m	$\pm 0,45$		
2,2 m	$\pm 0,60$		
1,7 m	$\pm 0,80$		
1,3 m	$\pm 1,00$	2,0 m	$\pm 1,20$
1,0 m	$\pm 1,30$		
0,8 m	$\pm 1,60$		
0,6 m	$\pm 2,10$	1,0 m	$\pm 2,10$

Abb. 2.13: Geltungsbereich für die zweite Ordnungszahl (Quelle: ÖNORM B 2203-1: 2001-01 [27, S. 14])

ERSTE ORDNUNGSZAH	ABSCHLAGSLANGE BIS		ZWEITE ORDNUNGSZAH										
	KALOTTE oder KALOTTE+ STROSSE	STROSSE	STÜTZMITTELZAHL										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	keine Vorgabe	ist projektbezogen festzulegen											
2	4,0 m												
3	3,0 m												
4	2,2 m				▲ 4/2,4	▲ 4/3,6							
5	1,7 m					▲ 5/4,5	▲ 5/6,1						
6	1,3 m						▲ 6/5,5	▲ 6/7,5					
7	1,0 m												
8	0,8 m												
9	0,6 m												

**Abb. 2.14:** Vortriebsklassenmatrix für Vortrieb der Kalotte, der Strosse oder Kalotte mit Strosse (Quelle: ÖNORM B 2203-1: 2001-01 [27, S. 12])

## 2.2 Maschinelles Vortrieb

*Bearbeitet durch Ömer.*

Nach Maidl et al. [20] fand in den letzten zehn Jahren ein „regelrechter Siegeszug“ des maschinellen Tunnelbaus statt, welcher durch den globalen Trend der Mechanisierung schon fast erwartbar war. Bemerkenswert ist die Tatsache, dass selbst in Österreich, dem Heimatland der Neuen Österreichischen Tunnelbaumethode (universeller Vortrieb), der maschinelle Vortrieb einen sehr hohen Stellenwert eingenommen hat. Die Grundlage dafür wurde durch erhöhte Arbeitssicherheit, größere Vortriebsleistungen und geringeren Personaleinsatz, speziell bei Großprojekten, gelegt. Als ein weiteres, grundlegendes Hauptmerkmal für den maschinellen Tunnelbau sieht Goger [10], neben der in Kap. 2 angemerkten arbeitsablauftechnischen Unterscheidung, die Verwendung einer TVM. Hier gibt es weitere Unterscheidungen hinsichtlich Einsatzbereich und Prozessreihenfolge, welche im Nachfolgenden beschrieben werden.

### 2.2.1 Tunnelvortriebsmaschinen (TVM)

Im Laufe der Zeit gab es bereits viele verschiedene Maschinentypen und -arten, eine bildhafte Einteilung der aktuell handelsüblichen TVM bietet DAUB [5] in Abb. 2.15. In Summe werden 14 verschiedene TVM-Typen angeführt und in vier Hauptkategorien gegliedert. Anzumerken ist die große Vielfalt, die in der Kategorie der Schildmaschinen herrscht. In den folgenden Punkten werden sämtliche Maschinenvarianten näher beschrieben und auf deren Einsatzgebiete eingegangen.

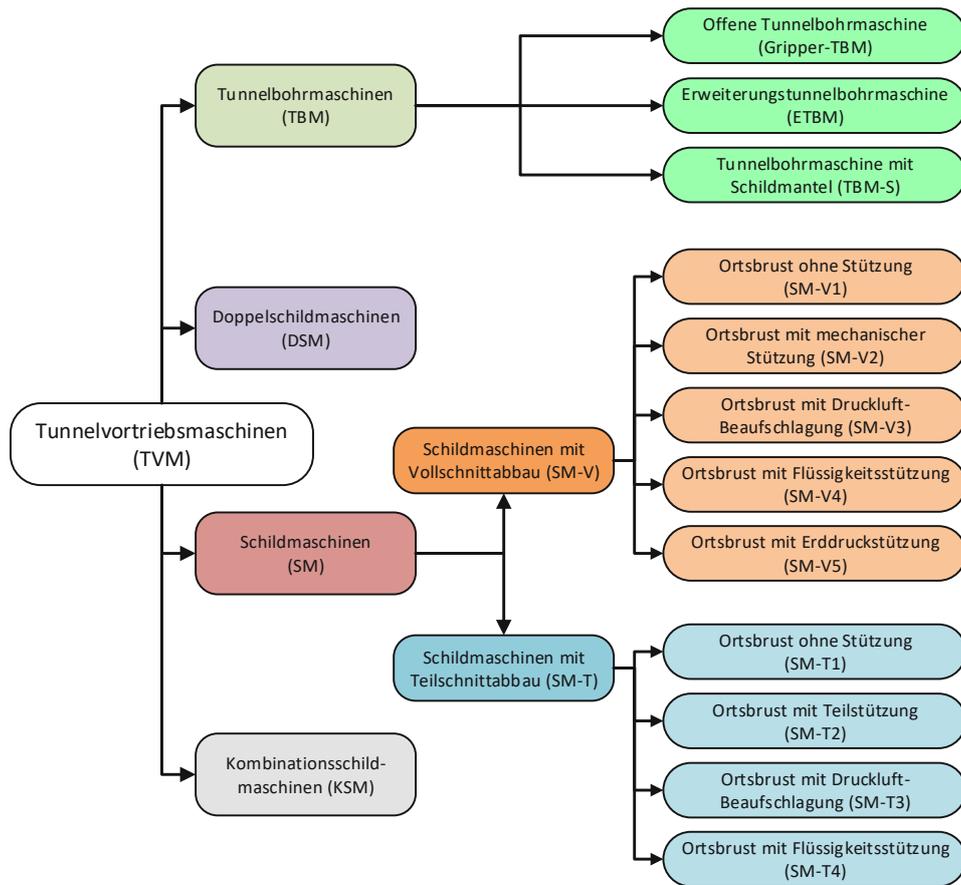


Abb. 2.15: Einteilung der Tunnelvortriebsmaschinen (Quelle: DAUB [5, S. 19])

**Tunnelbohrmaschine (TBM):** Die Tunnelbohrmaschine (TBM) findet ihre Anwendung in Festgestein mit mittleren und darüberhinausgehenden Standzeiten. In der einschlägigen Literatur wird die TBM in offene Tunnelbohrmaschine (TBM-O), Tunnelbohrmaschine mit Aufweitungsbohrkopf (TBM-A) und Tunnelbohrmaschine mit Einfachschild (TBM-S) unterschieden. Die **offene Tunnelbohrmaschine (TBM-O)**, welche in Abb. 2.16 zu sehen ist, wird für Vortriebe mit standfestem Gebirge auf über 80 Prozent der Tunnellänge eingesetzt.<sup>35</sup> Sie besitzt hydraulisch bewegliche Verspannplatten (Gripper), die für eine radiale Verspannung an der Hohlraumwandung des Gebirges sorgen. Mittels der an den Grippern angebrachten hydraulischen Pressen wird der für den Ausbruch benötigte Anpressdruck erzeugt. Der mit Rollenmeißel bestückte, rotierende Bohrkopf sorgt für profilgenauen Ausbruch und schont das umliegende Gebirge. In Bereichen niedriger Standsicherheit des anstehenden Gebirges bedarf es schnell eingebauter Sicherungsmaßnahmen wie Tunnelbögen, Bewehrungsmatten und Anker. Diese Elemente werden meist in den hinteren Bereichen der Maschine eingebracht. Eine etwaige benötigte Spritzbetonsicherung wird anschließend im Bereich der ersten Nachläufer eingebaut.<sup>36</sup>

<sup>35</sup>Vgl. [7] Girmscheid, S. 426

<sup>36</sup>Vgl. [5] DAUB, S. 20 ff.

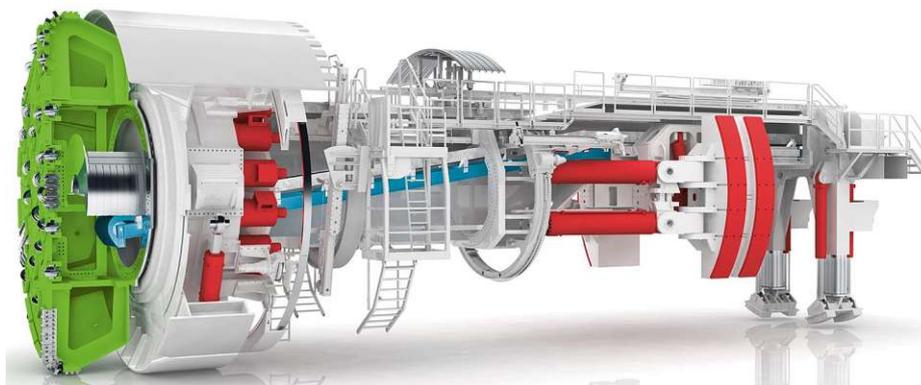


Abb. 2.16: offene Tunnelbohrmaschine (Quelle: Herrenknecht AG [15])

Die **Tunnelbohrmaschine mit Aufweitungsbohrkopf (TBM-A)** ist eine Maschine, welche zur Aufweitung eines bereits bestehenden Tunnels im Festgestein angewendet wird. Auch sie besitzt Gripper, jedoch sind diese im Falle der TBM-A vor dem Bohrkopf, in einem Pilotstollen, angeordnet. Der Vortrieb findet nicht wie bei der TBM-O schiebend, sondern in Richtung der Verspannung ziehend, statt. Der den Grippern nachlaufende Bohrkopf besitzt mehrere werkzeubesetzte Arme, die für die Aufweitung des bestehenden Stollen sorgen. Im Zentrum des Bohrkopfes befinden sich sämtliche, für die Gripper notwendige, Leitungen und ein Persondurchgang, welcher die Wartung der Maschine ermöglicht.<sup>37</sup>

Bei der **Tunnelbohrmaschine mit Einfachschild (TBM-S)** handelt es sich im Vergleich zu den vorangegangenen Maschinen um eine TBM für nachbrüchiges Gebirge. Sie besitzt einen geschlossenen Schildmantel, welcher die gesamte Maschine vor gebräuchtem Gebirge schützt. Gesichert wird mittels Tübbinge, die im Schutz des Schildes eingebaut werden. Infolge dieser Sicherungsmethode besitzt die TBM-S keine Gripper sondern Vorschubpressen. Diese stützen sich in Längsrichtung am zuletztgebauten Tübbingring ab und sorgen so für den benötigten Druck an den Abbaupressen.<sup>38</sup>

**Doppelschildmaschine (DSM):** Eine TVM mit Doppelschild besitzt sowohl Gripper als auch Vorschubpressen und ermöglicht so den Vortrieb in zwei Betriebsmodi. Einerseits wird in Abschnitten mit standfestem Gebirge im Doppelschild-Modus gefahren, andererseits kann beispielsweise in Störungszonen auf den Einfachschild-Modus zurückgegriffen werden. Im **Doppelschild-Modus** stützt sich die Maschine mittels ihrer Gripper an der Hohlraumwandung ab, wobei die Hauptvortriebspresen den Anpressdruck erzeugen. Gleichzeitig wird mit Hilfe der Nebenvortriebspresen der Tübbingeinbau bewerkstelligt. Im Gegensatz dazu wird beim **Einfachschild-Modus** lediglich auf die Nebenvortriebspresen zur Vorschubarbeit zurückgegriffen. Die Hauptvorschubpressen und die Gripper sind dabei zur Gänze eingefahren. Die Möglichkeit, unter guten gebirgstechnischen Gegebenheiten im Doppelschild-Modus zu fahren und dabei sowohl Ausbruch, als auch Tübbingausbau gleichzeitig zu bewerkstelligen, führt in derartigen Abschnitten zu sehr hohen Vortriebsleistungen.<sup>39</sup>

**Schildmaschinen mit Vollschnittabbau (SM-V):** SM finden vor allem im Lockergesteinboden, mit oder ohne anstehendem Grundwasser, Anwendung. Sie verfügen über verschiedene

<sup>37</sup>Vgl. [5] DAUB, S. 21

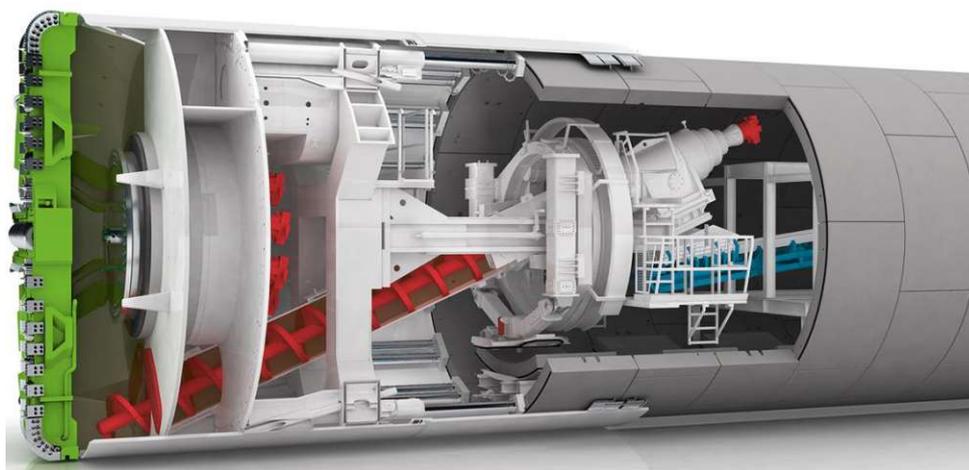
<sup>38</sup>Vgl. [7] Girmscheid, S. 427 ff.

<sup>39</sup>Vgl. [10] Goger, S. 128 ff.

Mechanismen, um die Ortsbrust während des mechanischen Abbaus zu stützen. In Abb. 2.17 ist ein Beispiel mittels Erddruckstützung. Vollschnittmaschinen verfügen über einen Schildmantel und das davor befindliche Schneidrad. Je nach Art der Ortsbruststützung werden folgende Typen unterschieden:<sup>38</sup>

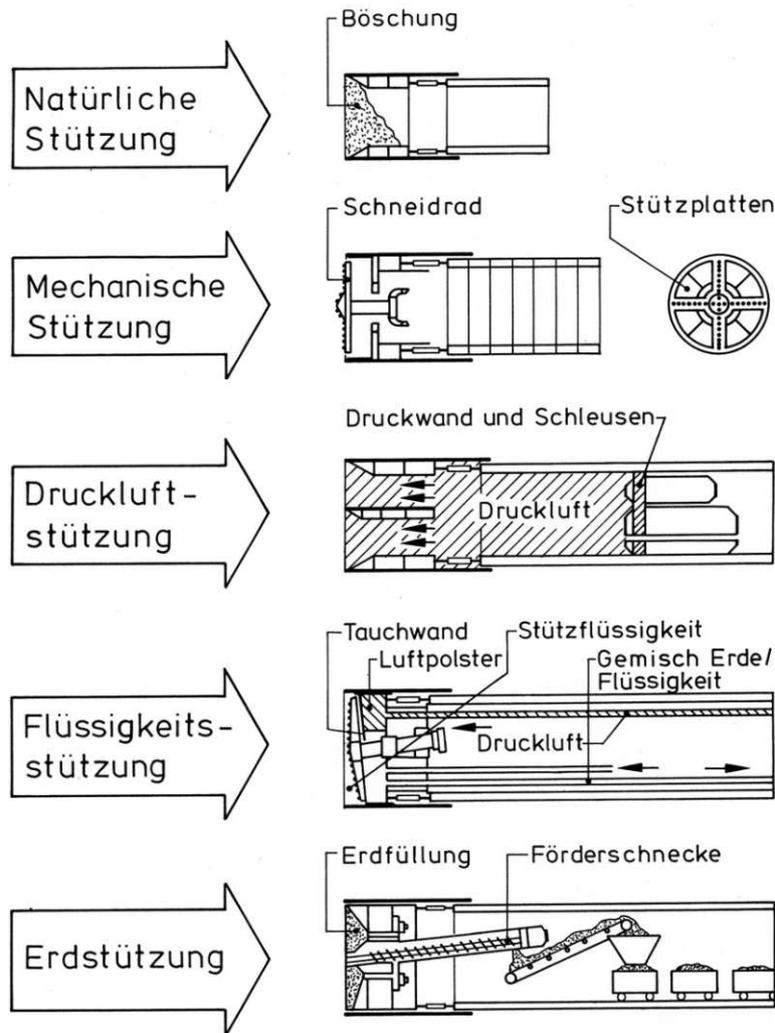
- **Ortsbrust ohne Stützung (SM-V1)**  
Bei dieser Maschine findet keine Ortsbruststützung statt, angewendet wird sie daher in sowohl trockenen, als auch standfesten Schluff- und/oder Tonböden mit stabiler Ortsbrust. Ausgebrochen wird mittels einem werkzeugbestückten Schneidrad, das die Ortsbrust vollflächig bearbeitet. Dabei entstehender Abraum wird über Förder- oder Kratzbänder aus der Abbaukammer transportiert.
- **Ortsbrust mit mechanischer Stützung (SM-V2)**  
Im Falle der mechanischen Ortsbruststützung übernimmt das aus Speichen bestehende Schneidrad die Stützfunktion. Freiräume zwischen den Speichen werden durch adaptierbare Platten teilweise verschlossen, wodurch ein fast vollflächiges Schneidrad entsteht. Eine vollkommene Stützung bei fließfähigen Böden ist jedoch auf Grund der vorhandenen Freiräume im Schneidrad nicht möglich. Setzungen an der Oberfläche können die Folge sein. Potentiell auftretende Findlinge können problematisch werden, da der maximale Korndurchmesser durch die Breite der Materialförderschlitze begrenzt ist. Eine Folge des nahezu vollflächigen Kontakts zwischen Schneidrad und Ortsbrust sind hohe erforderliche Drehmomente.
- **Ortsbrust mit Druckluftbeaufschlagung (SM-V3)**  
Um die Verwendung von SM-V1 oder SM-V2 Maschinen unterhalb eines potentiell vorhandenen Grundwasserspiegels zu ermöglichen bedarf es einer Druckluftbeaufschlagung an der Ortsbrust. Überdruck im Bereich der Ortsbrust verhindert hierbei das Eindringen von Wasser und ermöglicht so einen nahezu ungestörten Abbau. Dafür zwingend erforderlich ist eine hinter der Abbaukammer befindliche Druckwand (Trennung der Abbaukammer vom Rest des Tunnels) oder ein gesamt unter Überdruck stehender Tunnel. Als wirtschaftlich begrenzender Faktor ist hierbei die Luftdurchlässigkeit des Bodens hervorzuheben.
- **Ortsbrust Flüssigkeitsstützung (SM-V4)**  
Analog zur SM-V3 bedarf es auch hier einer Druckwand, welche die Abbaukammer vom Rest der Maschine trennt. In diesem Fall ist jedoch die Abbaukammer mit einer unter Druck stehenden Stützflüssigkeit (oftmals Bentonitsuspension) gefüllt. Die Stützflüssigkeit verhindert das unkontrollierte Einbrechen von Wasser und anstehendem Boden. Der Stützdruck kann über einen hinter einer Tauchwand befindlichen Luftpolster oder mittels der Materialabfuhr aus der Abbaukammer geregelt werden. Keine Anwendung findet dieses Verfahren in Böden mit zu großer Druchlässigkeit, da sich keine Membranwirkung an der Ortsbrust ausbilden kann. Steine oder Findlinge können mittels Diskenmeissel und einem der Förderleitung vorgeschaltetem Brecher bewältigt werden. Gefördert wird über ein geschlossenes Förderleitungssystem, dass durch Kreiselpumpen angetrieben ist. An der Oberfläche erfolgt die Separation und die anschließende Rezyklisierung der Suspension.
- **Ortsbrust mit Erddruckstützung (SM-V5)**  
Wie bei den Maschinentypen SM-V3 und SM-V4 benötigen auch die Earth Pressure Balance Shields (EPB) eine Druckwand. Ein fast geschlossenes, mit Werkzeugen besetztes Schneidrad löst den Boden und leitet ihn in die Abbaukammer. In besagter Abbaukammer wird der Boden, meist unter Zugabe von Konditionierungsmittel (z. B.

Bentonit), zu einem viskosen Erdbrei vermengt. Dieser stützt die Ortsbrust und verhindert unkontrolliertes Eindringen von Wasser und/oder Boden. Gesteuert wird der Stützdruck durch den von den Vortriebspresen ausgeübten Druck und über die mittels Förderschnecke geförderte Breimenge. Die Stützung mittels Erddruck ist prädestiniert für bindige Böden, die bereits Wasser enthalten. Bei fehlendem Wasser kann dieses in der Abbaukammer beigemengt werden.



**Abb. 2.17:** Tunnelbohrmaschine mit Erddruckstützung (Quelle: Herrenknecht [13])

In Abb. 2.18 sind die verschiedenen Varianten der Ortsbruststützung von Schildmaschinen in Vollschnittaufführung ersichtlich.



**Abb. 2.18:** Möglichkeiten zur Gebirgsstützung und Wasserhaltung an der Ortsbrust von Schildmaschinen (Quelle: Sievers [30, S. 347])

**Schildmaschinen mit Teilschnittabbau (SM-T):** Die zweite Kategorie der SM sind die Teilschnittmaschinen. Sie bestehen aus einem konisch geformten Schneidschuh und einem Abbauarm, welcher je nach Gegebenheiten mit verschiedenen Werkzeugen bestückt ist. Analog zu den Vollschnittmaschinen werden diese ebenfalls nach Art der Ortsbruststützung kategorisiert:<sup>38</sup>

- **Ortsbrust ohne Stützung (SM-T1)**

Vergleichbar mit der SM-V1 findet auch bei der SM-T1 keine Stützung der Ortsbrust statt. Es bedarf somit standfester Böden ohne Grundwasseraufkommen. Ausgebrochen wird mittels Abbauarm im Schneidschuh. Dieser manövriert den Abraum zum Förder- oder Kratzband. In Abb. 2.19 ist eine derartige Teilschnittmaschine von Fa. Herrenknecht abgebildet. Darin ersichtlich der konisch geformte Schneidschuh mit einem Rotationsfräβkopf am Abbauarm.

- **Ortsbrust mit Teilstützung (SM-T2)**

Ist der innere Reibungswinkel des angetroffenen Untergrunds für eine stabile Ortsbrust

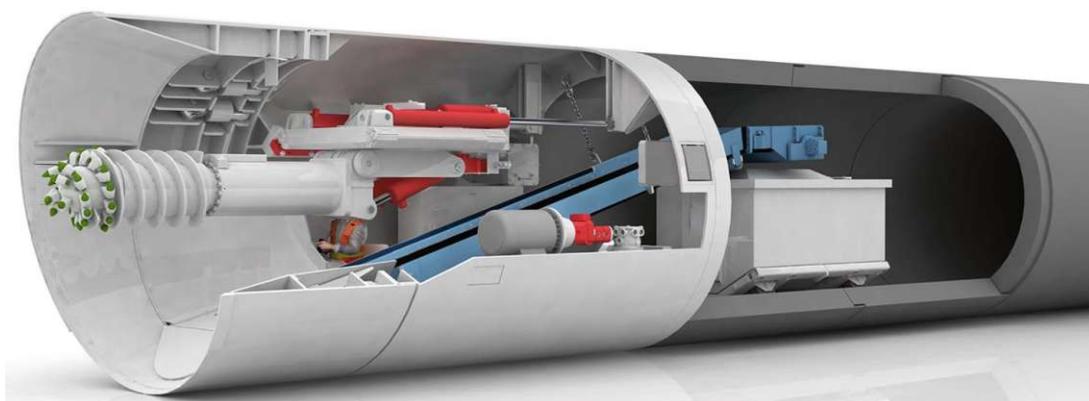
ausreichend, so kann auf die mechanische Stützung mittels sogenannter Bühnen zurückgegriffen werden. Eine Bühne besteht aus mindestens einer horizontalen, den Querschnitt teilenden, Platte. Sie trennt den Querschnitt in einen oberen und unteren Bereich und sorgt so für die Ausbildung von zwei Böschungen, welche im Vergleich zu einer Böschung (ohne Bühne) nicht so weit in den Schneidschuh hineinragen. Eine Setzungskontrolle ist durch diese Methode wenig bis gar nicht möglich. Ausbruch und Schuttern werden analog zur SM-T1 bewerkstelligt.

- **Ortsbrust mit Druckluftbeaufschlagung (SM-T3)**

Ähnlich wie die SM-V3 verfügt die SM-T3 über eine druckluftgestützte Ortsbrust. Dadurch wird unkontrolliertes Eindringen von Wasser verhindert und die Anwendung im Grundwasser ermöglicht. Eine Ausführung auf Basis SM-T1 oder SM-T2 ist möglich. Voraussetzung dafür ist, wie bei der SM-V3, ein Druckluftschott und eine geringe Luftdurchlässigkeit des Untergrunds.

- **Ortsbrust mit Flüssigkeitsstützung (SM-T4)**

Die SM-T4 verfügt über eine flüssigkeitsgefüllte Abbaukammer, welche für Stabilität an der Ortsbrust sorgt. In der Abbaukammer herrschender Überdruck wird über die Förderleistung der Speise- und Förderleitung geregelt. Anwendung findet diese Maschine hauptsächlich in Kies-Sand-Böden unter dem Grundwasserspiegel. Ausgebrochen wird meist mittels eines am Abbauarm angebrachten Rotationsfräskopfes.



**Abb. 2.19:** Teilschnittmaschine (Rohrvortrieb) ohne Stützung Fa. Herrenknecht (Quelle: Herrenknecht [14])

**Kombinationsschildmaschinen (KSM):** Die oftmals auch als Universalschild bezeichnete KSM bietet die Möglichkeit, verschiedene Verfahrenstechniken zur Ortsbruststützung und zum Abbau innerhalb einer Maschine zu vereinen. Speziell bei stark und/oder oft wechselnden Untergrundverhältnissen entlang der Tunneltrasse birgt diese Technik große Vorteile. Es wird zwischen Moduswechsel ohne und mit Adaption der Werkzeuge, des Schneidrades, der Druckhaltung und des Materialaustrags unterschieden. Hinsichtlich Moduswechsel können sich folgende Adaptionen ergeben:<sup>40</sup>

- **Moduswechsel ohne Adaption der KSM**

SM-V4 Flüssigkeitsschild	→	Druckluftschild SM-V3
SM-V5 Erddruckschild	→	Druckluftschild SM-V3

<sup>40</sup>Vgl. [10] Goger, S. 147

• **Moduswechsel mit Adaption der KSM**

- SM-V1 oder SM-V2 → SM-V4
- SM-V1 oder SM-V2 → SM-V5
- SM-V4 → SM-V5
- TBM-S → SM-V4
- TBM-S → SM-V5

**2.2.2 Maschinenauswahl**

Da die in Kap. 2.2.1 vorgestellten Maschinen verschiedene Anwendungsgebiete abdecken, bedarf es eines Schemas für die Auswahl der richtigen Vortriebsmaschine. Eine mögliche Vorgehensweise bietet DAUB [4], dargestellt in Abb. 2.20.

Geo-technische Kennwerte <i>Geotechnical Parameters</i>	Baugrund <i>Subsoil</i>	Fels/Festgestein/ <i>Hard rock/soil</i>		bindig standfest <i>cohesive stable</i>	Boden/Lockergestein/ <i>Soft rock/soil</i>		
		bis nachbrüchig <i>competent to caving in</i>	nachbrüchig bis gebrüch <i>caving in to unstable</i>		bindig nicht standfest <i>cohesive not stable</i>	Wechsellagerung <i>mixed conditions</i>	nicht bindig <i>non-cohesive</i>
Gesteinsfestigkeit $\sigma_D$ [MN/m <sup>2</sup> ] <i>Rock Compressive strength</i>		300 bis 50	50 bis 5	1,0	0,1		
Zugfestigkeit $\sigma_z$ [MN/m <sup>2</sup> ] <i>Tensile strength</i>		25 bis 5	5 bis 0,5				
RQD-Wert <i>RQD value</i>	RQD [%]	100 bis 50	50 bis 10				
Kluftabstand <i>Fissure spacing</i>	[m]	> 2,0 bis 0,6	0,6 bis 0,06				
Kohäsion <i>Cohesion</i>	Cu [kN/m <sup>2</sup> ]			≥ 30	30 bis 5	30 bis 5	
Kornverteilung <i>Grain distribution</i>	< 0,02 [%] < 0,06 [5]			30 ≥ 30	30 ≥ 30	10	
TBM	o.W.						
TBM	m.W.						
TBM-S mit Schild <i>TBM-S with shield</i>	o.W.						
TBM-S mit Schild <i>TBM-S with shield</i>	m.W.						
SM-V1 ohne Stützung <i>SM-V1 without support</i>	o.W.						
SM-V1 ohne Stützung <i>SM-V1 without support</i>	m.W.						
SM-V2 mechan. Stützung <i>SM-V2 mech. support</i>	o.W.						
SM-V2 mechan. Stützung <i>SM-V2 mech. support</i>	m.W.						
SM-V3 mit Druckluft <i>SM-V3 with compressed air</i>	o.W.						
SM-V3 mit Druckluft <i>SM-V3 with compressed air</i>	m.W.						
SM-V4 Flüssigkeitsstützung <i>SM-V4 fluid support</i>	o.W.						
SM-V4 Flüssigkeitsstützung <i>SM-V4 fluid support</i>	m.W.						
SM-V5 Erddruck-Stützung <i>SM-V5 earth pressure balance support</i>	o.W.						
SM-V5 Erddruck-Stützung <i>SM-V5 earth pressure balance support</i>	m.W.						
SM-T1 ohne Stützung <i>SM-T1 without support</i>	o.W.						
SM-T1 ohne Stützung <i>SM-T1 without support</i>	m.W.						
SM-T2 Teilstützung <i>SM-T2 partial support</i>	o.W.						
SM-T2 Teilstützung <i>SM-T2 partial support</i>	m.W.						
SM-T3 mit Druckluft <i>SM-T3 with compressed air</i>	o.W.						
SM-T3 mit Druckluft <i>SM-T3 with compressed air</i>	m.W.						
SM-T4 Flüssigkeitsstützung <i>SM-T4 fluid support</i>	o.W.						
SM-T4 Flüssigkeitsstützung <i>SM-T4 fluid support</i>	m.W.						
Abbauwerkzeug <i>Extraction tool</i>	V	rollend (Diskenmeißel) <i>rolling (cutter disc)</i>	rollend (Diskenmeißel) <i>rolling (disc bit)</i>	schälend (Flachmeißel) <i>stripping (flat bit)</i>	schälend (Flachmeißel) <i>stripping (chisel)</i>	lösend/schälend (Stichel/Flachmeißel) <i>loosening/stripping (cutter/flat bit)</i>	lösend (Stichel) <i>loosening (pick)</i>
	T	ritzend (Spitzmeißel) <i>notching (pick)</i>	ritzend (Spitzmeißel) <i>notching (point bit)</i>	ritzend (Spitzmeißel) <i>notching (point bit)</i>	schälend (Flachmeißel) <i>stripping (flat bit)</i>	schälend (Flachmeißel) <i>stripping (flat bit)</i>	lösend (Stichel) <i>loosening (pick)</i>
o.W. = ohne Grund- bzw. Schichtwasser /without groundwater or underground water							
m.W. = mit Grund- bzw. Schichtwasser /with groundwater or underground water							

**Abb. 2.20:** Einsatzbereiche von Tunnelvortriebsmaschinen (Quelle: DAUB [4, S. 33])

Das Schema nach DAUB [4] bedient sich im ersten Schritt der Kategorisierung in Fels/Festgestein und Boden/Lockergestein. Eine anschließende genauere Unterteilung basiert auf sechs geotechnischen Kennwerten. Zusätzlich zu dieser Gliederung wird zwischen Vortrieben in und außerhalb von Grund- bzw. Kluftwasser unterschieden. Die geotechnischen Kennwerte, welche

wesentlichen Einfluss auf die Maschinenwahl haben, sind:

**Gesteinsfestigkeit:** Die Gesteinsfestigkeit ist als einaxiale Druckfestigkeit des vorliegenden Gesteins zu verstehen. Sie wird größtenteils mittels einaxialem Druckversuch unter unbehinderter Seitendehnung ermittelt. Meist wird sie in  $[\text{MN}/\text{m}^2]$  angegeben. Es ist anzumerken, dass sowohl Festgestein, als auch Lockergestein eine Gesteinsfestigkeit aufweisen.<sup>41</sup>

**Zugfestigkeit:** Die Zugfestigkeit, welche sich nur auf Festgestein bezieht, ist im Allgemeinen viel geringer als die Druckfestigkeit eines Gesteins und wird in  $[\text{MN}/\text{m}^2]$  angegeben. Ermittelt wird sie über den Spaltzugversuch, da der direkte Zugversuch mit erheblichem Aufwand verbunden ist. Meist kommt der Zugfestigkeit von Festgestein keine große Rolle im Tunnelbau zu.<sup>41</sup>

**RQD-Wert:** Der Rock Quality Index beschreibt den Durchtrennungsgrad des Gebirges und wird auf Basis von Bohrkernen bestimmt. Dabei wird die Summe der Länge von Bohrkernstücken größergleich 10 cm (L10) zur Gesamtlänge des Bohrkerns (L) ins Verhältnis gesetzt (L10/L) und so der Durchtrennungsgrad in [%] ermittelt.<sup>41</sup>

**Kluftabstand:** Unter Kluftabstand versteht man die auf die Kluft (Trennfläche im Festgestein) normalstehende Distanz zur nächsten Kluft. Sie wird in [m] oder [cm] angegeben und steht in Zusammenhang mit dem RQD-Wert.<sup>42</sup>

**Kohäsion:** Die Kohäsion ist ein maßgebender Faktor für die Güte von Lockergestein und wird meist in  $[\text{kN}/\text{m}^2]$  angegeben. Sie gilt als ausschlaggebend für die Scherfestigkeit von bindigen Böden. Die Kohäsion umfasst Kräfte aus der Kornbindung (echte Kohäsion) und aus der Wirkung von vorhandenem Wasser im Korngefüge (Kapillarkohäsion).<sup>43</sup>

**Kornverteilung:** Die Kornverteilung ist im Lockergestein der zweite maßgebende Faktor für die Maschinenwahl. Sie beschreibt die im Boden enthaltenen Masseanteile von Feststoffen der Korngrößenbereiche. Zur Veranschaulichung werden meist sogenannte Körnungslinien (Diagramme) verwendet, diese sind auf Basis von Sieb- oder Schlämmanalysen ermittelt.<sup>44</sup>

Nach Maidl et al. [20] bedarf es neben der in Abb. 2.20 dargestellten geotechnischen Parameter weiters der Berücksichtigung von verfahrenstechnischen und umwelttechnischen Aspekten sowie einer projektbezogenen Analyse durch den verantwortlichen Ingenieur. Eine Möglichkeit zur Einbindung eben dieser Faktoren wird in Kap. 2.2.3 aufgezeigt.

### 2.2.3 Geotechnische Planung von Untertagebauten nach ÖGG

Der maschinelle Tunnelbau bedarf im Vergleich zum universellen Vortrieb einiger Modifikationen hinsichtlich verfahrenstechnischer Parameter. Diese sind vorwiegend bereits in der Planung zu behandeln. Einer dieser Aspekte ist die nicht vorhandene Flexibilität der Ausbruch- und Ausbaumethodik in der Ausführung. Diesem Faktum muss in den Vortriebskonzepten und im Speziellen in der geotechnischen Planung mittels Risikoanalysen und Vorsorgekonzepten Rechnung getragen werden. Als Hauptaufgabe gilt die Vorab-Identifizierung wichtiger Punkte. Besonders zu beachten sind laut ÖGG [22] folgende Punkte:<sup>45</sup>

<sup>41</sup> Vgl. [3] Adam, S. 38 ff.

<sup>42</sup> Vgl. [1] Adam, S. 7

<sup>43</sup> Vgl. [2] Adam, S. 11, Kap.2-Untergrund

<sup>44</sup> Vgl. [2] Adam, S. 5, Kap.4-Bodenkenngößen

<sup>45</sup> Vgl. [22] ÖGG, S. 7

- Tunnelbautechnische Konzepte sind in der Bauausführung nur sehr begrenzt adaptierbar.
- Ausbau und Sicherung erfolgt, abhängig vom Typ der TVM, räumlich und zeitlich getrennt vom Ausbruch.
- Handelt es sich um eine TVM mit Schild, so können auch Grenzbereiche ohne ausreichender Hohlraumstabilität durchfahren werden.
- Potentiell notwendige Voraussicherungsmaßnahmen sind in der Regel mit sehr großem Aufwand verbunden.
- Im Falle geschlossener Maschinen kann mittels Stützmedium das anstehende Gebirge stabilisiert werden.
- Es muss das Systemverhalten unter Berücksichtigung des durch die TVM erstellten Hohlräume ermittelt werden.
- Klassische Verschiebungsmessungen sind abhängig vom Typ der TVM nur begrenzt möglich. Zur Kompensation können Messdaten der TVM herangezogen werden.
- Sondervorkommnisse wie beispielweise das Betreten der Abbaukammer, Verkleben der Abbauprodukte, fehlende Stabilität an der Ortsbrust, etc. sind zu berücksichtigen.

Mit fortschreitender Planungsdauer nimmt der Informationsstand stetig zu. Eine präzisere Planung wird sowohl möglich, als auch notwendig. Speziell beim Übertritt in die nächste Planungsphase ergeben sich immer detailliertere Frage- und Problemstellungen. Diese sind durch das Hinzuziehen geeigneter Fachleute aus den verschiedenen Gebieten der Ingenieurgeologie, Hydrogeologie, Geotechnik, Bau- und Maschinentechnik bewältigbar. Infrastrukturplanungen und die Planung von Untertagebauwerken im Speziellen gliedern sich in folgende Planungsstufen:<sup>46</sup>

1. Machbarkeitsstudie
2. Vorentwurf
3. Einreichung
4. Ausschreibung
5. Ausführung

Eine Vorgehensweise zur geotechnischen Planung und die darin befindlichen Arbeitsschritte liefert ÖGG [22]. Das Hauptaugenmerk wird dabei auf die wirtschaftliche und ablauftechnische Optimierung von sowohl bau-, als auch maschinentechnischen Maßnahmen gelegt. Dabei berücksichtigt werden die zum Zeitpunkt des jeweiligen Schrittes prognostizierten Parameter hinsichtlich Geologie, Hydrologie und Umwelt. Folgende drei Phasen werden unterschieden:<sup>47</sup>

**Phase 1 – Planung:** In dieser Phase enthalten sind geotechnische Maßnahmen, wie die Feststellung der zu erwartenden Gebirgseigenschaften, das Kategorisieren nach Gebirgsarten und die Zuweisung zu Gebirgsverhaltenstypen (GVT). Auf Basis dieser geotechnischen Randbedingungen werden bauliche/maschinentechnische Maßnahmen gesetzt sowie eine Prognose des Systemverhaltens erstellt und die Vortriebsklassen (VKL) nach *ÖNORM B 2203-2* [28] ermittelt. Dabei getroffene Annahmen, Abschätzungen und Randbedingungen sind

<sup>46</sup>Vgl. [22] ÖGG, S. 7

<sup>47</sup>Vgl. [22] ÖGG, S. 8 ff.

schlüssig zu dokumentieren. Vorab müssen Parameter wie z. B. Trasse, Überbauung, Grundwasserverhältnisse, etc. erfasst und die an das zukünftige Bauwerk gestellten Anforderungen hinsichtlich Lebensdauer, Verformungen, etc. festgelegt werden. Bereits im Zuge der Trassenwahl ist das gesamte Projektgebiet betreffend geologischer und hydrologischer Parameter zu kartieren und in ein detailliertes Untersuchungsprogramm überzuführen. Das Untersuchungsprogramm muss ausgeführt und ausgewertet werden. Mit Hilfe dieser Informationen ist es möglich, das in Abb. 2.21 ersichtlichen Flussdiagramm nach ÖGG [22] anzuwenden und so die geotechnische Planung Schritt für Schritt abzuwickeln. Es folgt eine detaillierte Beschreibung der Schritte eins bis sieben.

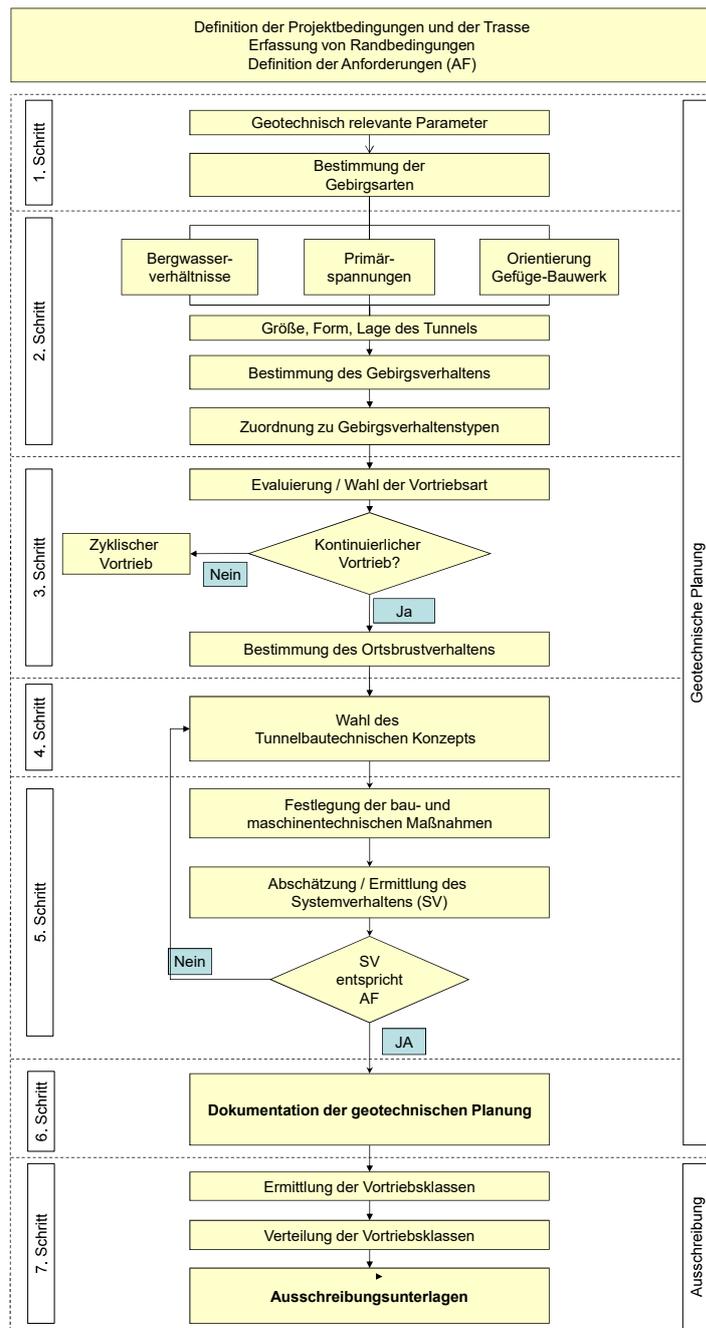


Abb. 2.21: Flussdiagramm geotechnische Planung Phase 1 (Quelle: ÖGG [22, S. 15])

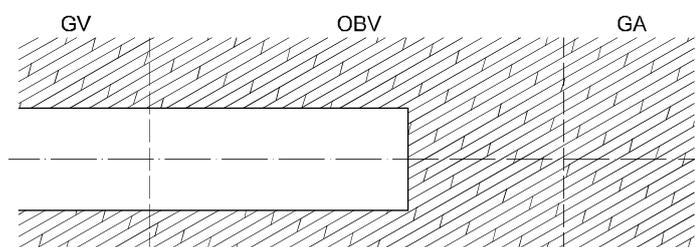
- 1. Schritt – Bestimmung der Gebirgsarten:** Unter Verwendung der im Zuge des Untersuchungsprogramms gesammelten Daten ist ein geologisches Modell zu erstellen, welches nun zur Bestimmung relevanter geotechnischer Eigenschaften jeder Gebirgsart herangezogen wird. Gebirge gleicher Beschaffenheit werden in Gebirgsarten zusammengefasst.
- 2. Schritt – Bestimmung des Gebirgsverhaltens, Zuordnung zu Gebirgsverhaltenstypen:** Nach erfolgter Einteilung in Gebirgsarten werden lokale Einflussfaktoren, wie etwa Bergwasserhältnisse, Trennflächenparameter, Spannungszustände und eventuell zusätzliche Faktoren zu den einzelnen Gebirgsarten ergänzt. Dabei primär relevant sind Einflüsse auf das Gebirgsverhalten. In weiterer Folge wird das Gebirgsverhalten für all jene Bereiche analysiert, die nach ihrer Gebirgsart und ihren Eigenschaften gleich sind. Beschrieben wird jenes Verhalten des Gebirges, das sich ohne den Einfluss von Baumaßnahmen, wie etwa TVM-Typ, Vortriebsrichtung, Ausbau, Ortsbruststützung, Bauhilfs- und Voraussicherungsmaßnahmen im Gesamtquerschnitt einstellen würde. Die ermittelten Gebirgsverhalten werden anschließend den in Abb. 2.22 dargestellten, generell gültigen, Gebirgsverhaltenstypen zugeordnet. Sollten diese GVT nicht ausreichen, so können projektspezifische Änderungen, Definitionen oder Unterteilungen vorgenommen werden.

Übergeordnete Kategorien von Gebirgsverhaltenstypen		Beschreibung des Gebirgsverhaltens (ohne bautechnische Maßnahmen)
1	Standfestes Gebirge	Standfestes Gebirge mit dem Potenzial zum schwerkraftbedingten Herausfallen oder Herausgleiten von kleinvolumigen Klutkörpern
2	Gefügebedingte Ausbrüche	Großvolumige gefüge- und schwerkraftbedingte Ausbrüche, vereinzelt lokales Überschreiten der Scherfestigkeit an Trennflächen
3	Hohlraumnahe Überbeanspruchung	Spannungsbedingte Entfestigung bzw. Plastifizierung des Gebirges in Hohlraumnähe, ev. in Kombination mit gefügebedingten Ausbrüchen
4	Tiefreichende Überbeanspruchung	Spannungsbedingte tiefreichende Entfestigung bzw. Plastifizierung im Gebirge mit großen Deformationen
5	Bergschlag	Schlagartige Ablösungen von Gesteinsplatten verursacht durch Spröbruch
6	Schichtknicken	Knicken von schlanken Schichtpaketen, häufig in Kombination mit Scherversagen
7	Firstniederbruch durch Scherversagen	Großvolumige Ausbrüche überwiegend im Firstbereich mit progressivem Scherversagen
8	Rolliges Gebirge	Ausrieseln von kohäsionsarmem, gering verzahntem, trockenem bis feuchtem Gebirge
9	Fließendes Gebirge	Ausfließen von kohäsionsarmem, gering verzahntem Gebirge mit hohem Wassergehalt oder Wasserzufluss
10	Quellendes Gebirge bzw. Schwellendes Gebirge	Zeitabhängige Volumszunahme des Gebirges vorwiegend im Sohlbereich durch physikalisch-chemische Reaktion von Gebirge und Wasser in Kombination mit Entspannung bzw. durch chemisch-kristallographische Vorgänge
11	Gebirge mit kleinräumig wechselnden Verformungseigenschaften	Kombination mehrerer GVT bei kleinräumiger, starker Änderung von Spannungen und Deformationen über längere Strecken, bedingt durch heterogenen Gebirgsbau (z. B. Block-Matrix Struktur, heterogene Störungszonen, tektonische Melange)

Abb. 2.22: Übergeordnete Kategorien von Gebirgsverhaltenstypen (Quelle: ÖGG [22, S. 19])

**3. Schritt – Evaluierung / Wahl der Vortriebsart:** In Schritt 3 wird die Machbarkeit eines maschinellen Vortriebs in Abhängigkeit der GVT evaluiert. Dabei werden die den Vortrieb und das Verfahren bestimmenden Einflüsse einbezogen. Als Beispiele für diese Faktoren führt ÖGG [22] Tunnellänge, Ausbruchquerschnitt, geographische/topographische Lage, Erschütterungen, Querschnittsänderungen und dergleichen an. Parameter wie z. B. Verwertung/Deponierung des Ausbruchs, Verkarstungen des Gebirges, extreme Temperaturen, Gasvorkommen, chemische Vorgänge, etc. müssen einbezogen werden. Folglich sind auch spezifische Anforderungen an den Vortrieb und das damit verbundene System zu bestimmen. Diese Informationen bilden die Entscheidungsgrundlage für oder gegen einen maschinellen Vortrieb. Fällt die Wahl auf den maschinellen Tunnelbau und eines seiner Vortriebsverfahren, so wird für jeden Abschnitt, der hinsichtlich Gebirgsart und Einflussfaktoren homogen ist, das Ortsbrustverhalten ermittelt. Analog zum 2. Schritt wird das abschnittsweise analysierte Ortsbrustverhalten nun den übergeordneten, generell gültigen Verhaltenstypen in Abb. 2.22 zugeordnet. Um eine klare Trennung zwischen Gebirgsart, Ortsbrustverhalten und Gebirgsverhalten zu schaffen ist eine räumliche Differenzierung, welche anschließend beschrieben wird und in Abb. 2.23 abgebildet ist, nötig.

- GA Bereich-Gebirgsarten – unbeeinflusstes Gebirge auf Tunnelniveau
- OBV Bereich-Ortsbrustverhalten – vom Ortsbrustverhalten beeinflusstes Gebirge
- GV Bereich-Gebirgsverhalten – vom Ortsbrustverhalten unbeeinflusstes, bereits aufgefahrener Gebirge



**Abb. 2.23:** Bestimmungsbereiche für das Gebirgs- und Ortsbrustverhalten (Quelle: ÖGG [22, S. 13])

**4. Schritt – Wahl des tunnelbautechnischen Konzepts:** Das tunnelbautechnische Konzept enthält sowohl Auswahl, als auch eine Beschreibung des Masschinentyps und kann auf Basis des 3. Schritts und z. B. nach dem in Kap. 2.2.2 aufgezeigten Schema von DAUB [4] erfolgen. Hinzu kommen Festlegungen hinsichtlich Ausbau, Regel-, Zusatz- und Sondermaßnahmen.

**5. Schritt – Ermittlung des Systemverhaltens:** In Schritt 5 findet eine Präzisierung der in Schritt 4 getroffenen Maßnahmen statt. Für die in Abb. 2.24 dargestellten Bereiche wird das Systemverhalten abgeschätzt. Sollte das Systemverhalten nicht den Anforderungen entsprechen so bedarf es Variationen in Schritt 4 und 5.

Kurzbezeichnung	TVM-Bereich
I	Bohrkopfbereich / Schneidradbereich
II	Schildbereich / Bohrkopfträger & Firstschild
III	Einbaubereich
IV	Bereich fertiger Ausbau bis Endzustand
V	Sonderbereiche (Anfahren, Ausfahren, Öffnung für Querschläge, Querschnittsaufweitungen, etc.)

Abb. 2.24: TVM-Bereiche (Quelle: ÖGG [22, S. 14])

**6. Schritt – Dokumentation der geotechnischen Planung:** Im Anschluss an die Schritte eins bis fünf werden nun im Zuge der geotechnischen Planung Vortriebsabschnitte gebildet und dokumentiert. Die Dokumentation der Planungsschritte hat nach ÖGG [22] folgende Elemente zu umfassen:

- Geotechnischer Bericht einschließlich tunnelbautechnischem Rahmenplan
- Geotechnische Risikoanalysen
- Geotechnischer Sicherheitsmanagementplan
- Störfallanalyse und Maßnahmen
- Maschinentechnische Anforderungen

**7. Schritt – Ermittlung der Vortriebsklassen:** Im 7. und letzten Schritt der geotechnischen Planung gilt es die VKL nach *ÖNORM B 2203-2* [28] zu ermitteln. Sie werden auf Basis der in den Vortriebsabschnitten nötigen Baumaßnahmen erstellt und dienen primär der Vergütung im weiteren Projektverlauf. Eine detaillierte Erklärung zur Ermittlung der VKL ist in Kap. 2.2.4 zu finden.

**Phase 2 – Planung TVM für Bauausführung:** Die im Zuge der Bauausführung notwendige Planung der Maschinentechnik muss bereits bei der Angebotserstellung bedacht und gestartet werden. Den Ergebnissen der geotechnischen Planung und der Ausschreibung folgend werden die maschinentechnischen Maßnahmen in zwei zeitlich getrennte Schritte unterteilt. Schritt 2 ist für die Baeterminplanung zu berücksichtigen.

**1. Schritt – Konzeptplanung TVM für die Angebotserstellung:** Mit Hilfe der Ausschreibungsunterlagen und der vorgegebenen maschinentechnischen Randbedingungen wird vom Bieter ein bau-/maschinentechnisches Konzept erstellt.

**2. Schritt – Detailplanung TVM für die Bauausführung:** Das in der geotechnischen Planung ausgearbeitete Baugrundmodell des AG dient dem AN nun als Grundlage für die von ihm vorzunehmende Maschinendetailplanung. Der durch einen Optimierungsprozess in sowohl technischer, als auch wirtschaftlicher Hinsicht definierte TVM-Typ muss mit dem AG abgestimmt werden und bildet die Basis für die maschinentechnische Detailplanung. Gemäß dem geotechnischen Sicherheitsplan wird eine Matrix zur Entscheidungsfindung erstellt. Darin beinhaltet sind detaillierte Festlegungen für Maschinenparameter und Betriebsweisen sowie Festlegungen für den Einsatz von Zusatz- und Sondermaßnahmen und deren Kriterien in Verbindung mit den Betriebsweisen der tatsächlich zum Einsatz kommenden TVM. Sämtliche Pläne und Analysen sind in Abstimmung mit dem AG zu erstellen und regelmäßig während der Bauausführung auf notwendige Adaptierungen zu prüfen.

**Phase 3 – Bauausführung:** Der in der Bauausführung stetig steigende Informationsgrad bezüglich der tatsächlich angetroffenen Geologie ermöglicht eine Präzisierung des geotechnischen Modells und sorgt so für Anpassungen bei bau- und maschinentechnischen Maßnahmen wie z. B. Werkzeugbestückung, Betriebsweise, Zusatz- und Sondermaßnahmen oder Ausbau. Eine weitere Möglichkeit zur Verbesserung des Baugrundmodells bieten Vorauserkundungen.

### 2.2.4 Ermittlung der Vortriebsklassen im maschinellen Tunnelbau

Um eine den Umständen und Aufwänden entsprechende Vergütung zu ermöglichen ist es notwendig den Vortrieb unter Berücksichtigung der in Kap. 2.2.3 vorgenommenen Charakterisierung des Gebirges in Vortriebsabschnitte und darin enthaltenen Vortriebsklassen zu unterteilen. Zu diesem Zweck werden zwei Ordnungsgruppen eingeführt. Die erste Ordnungszahl (Vortriebsabschnitte) ist hauptsächlich vom Löseverhalten abhängig. Als für das Löseverhalten maßgebende Parameter werden Gesteinsart, Mineralbestand, Zerlegungsgrad, Penetration und Verschleiß angesehen. Die Einteilung der Vortriebsabschnitte kann jedoch neben dem Löseverhalten auch vom Gebirgsverhalten und den damit verbundenen GVT abhängig gemacht werden. Zur Bestimmung der zweiten Ordnungszahl werden leistungsbestimmende Maßnahmen verwendet. Diese sind überwiegend vom TVM-Typ abhängig. Dies führt zu einem, durch den TVM-Typ geprägten, Ermittlungsverfahren.<sup>48</sup>

**Erste Ordnungsgruppe:** Die Unterteilung des Vortriebs mittels erster Ordnungszahl dient einerseits der Unterscheidung von Bereichen mit stark unterschiedlichen Löse- oder Gebirgsverhalten. Andererseits dienen die so entstehenden Teilabschnitte der Eingrenzung potenziell auftretender Abweichungen der Prognosen. Vortriebsabschnitte besitzen eine minimale Länge von mindestens einem Vielfachen der in diesem Bereich möglichen, täglichen Vortriebsleistung, alternativ kann die Mindestlänge nach projektspezifischen Zweckmäßigkeiten gewählt werden. Den Vortriebsabschnitten zugeordnete Parameter sind mit Bandbreiten anzugeben.

**Zweite Ordnungsgruppe – TBM-O, TBM-A:** Handelt es sich um einen konventionellen Ausbau mit klassischen Stützmittel, so ist das maßgebende Kriterium die Stützmittelzahl. Die Berechnung beinhaltet sowohl Menge, als auch einen Bewertungsfaktor für den Ort des Einbaus und die Art des Stützmittels. Die Summe aller Stützmittel wird letztendlich mit der Bewertungsfläche ins Verhältnis gesetzt. Die Bewertungsfaktoren können Abb. 2.25 entnommen werden. Nachfolgend findet sich die Formel zur Berechnung der Stützmittelzahl nach Maidl [19].<sup>48</sup>

$$sf = \frac{\sum(sq * rf)}{ar} \quad (2.2)$$

*sf* Stützmittelzahl

*sq* Menge der Stützmittel pro Tunnelmeter

*rf* Bewertungsfaktor nach ÖNORM B 2203-2 [28] *Tabelle 2*

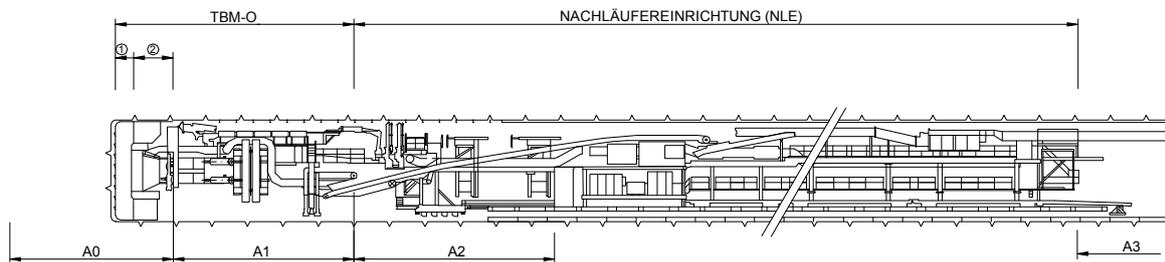
*ar* Bewertungsfläche nach ÖNORM B 2203-2 [28] *Bild 1*

<sup>48</sup>Vgl. [28] ÖNORM B 2203-2: 2005-01-01, S. 13 ff.

Stützmittel		Bewertungsfaktoren nach Arbeitsbereichen		Mengen- einheit	Bemerkung
		Arbeits- bereich A1	Arbeits- bereich A2		
Anker	Gefalteter Rohrreibungsanker	3,0	1,6	m	
	SN-Mörtelanker	4,0	2,5	m	
	Selbstbohranker	6,0	3,5	m	
	Verpressanker	6,0	4,0	m	
	Vorgespannte Mörtelanker	10,0	5,0	m	
Verpressungen über 10 kg je m Anker		0,3	0,2	kg	
Baustahl- gitter	bergseitig ohne Bogen	4,0	2,5	m <sup>2</sup>	
	bergseitig mit Bogen	3,0	2,0	m <sup>2</sup>	
	hohlraumseitig	3,0	2,0	m <sup>2</sup>	
Bogenteile kürzer als halber Umfang		2,5	2,5	m	
Bogenteile länger als halber Umfang		5,0	—	m	
Bogen geschlossen		4,0	—	m	
Liner plates		10,0	—	m <sup>2</sup>	
Spritzbeton	Laibung	70,0	20,0	m <sup>3</sup>	theoretische Massen nach Nennstärke und Abrechnungs- linie
	Auffüllen von Zwickeln und Mehrausbrüchen	50,0	14,0	m <sup>3</sup>	
Dielen	Verzugsdielen	15,0		m <sup>2</sup>	eingebaute Dielen
	Getriebedielen	20,0		m <sup>2</sup>	eingebaute Dielen

**Abb. 2.25:** Bewertung der Regelstützmittel für kontinuierlichen Vortrieb mit Tunnelbohrmaschinen TBM-O, TBM-A (Quelle: ÖNORM B 2203-2: 2005-01-01 [28, S. 15])

Die Zuordnung der Stützmittel zu den in Abb. 2.25 ausgewiesenen Arbeitsbereichen A1, A2 folgt den Gegebenheiten der Vortriebsmaschine und wird nachfolgend in Abb. 2.26 anhand einer TBM-O näher beschrieben. Die in Arbeitsbereich 1 höheren Bewertungsfaktoren ergeben sich aus den deutlich anspruchsvolleren Arbeitsbedingungen und den damit höheren Aufwänden für den Einbau in diesem Bereich.<sup>48</sup>



**Abb. 2.26:** Systemskizze TBM-O (Quelle: ÖNORM B 2203-2: 2005-01-01 [28, S. 32])

- 1 Bohrkopf
- 2 Bohrkopfträger und Firstschild
- A0 über und vor dem Bohrkopfträger und Firstschild
- A1 im Bereich der TBM

A2 im vorderen Bereich der Nachläufereinrichtung

A3 hinter der Nachläufereinrichtung

Die Bewertungsfläche ist durch den nominalen Bohrdurchmesser bestimmt und vertraglich zu definieren. Wird ein Überbohrmaß ausgeführt so bleibt die Bewertungsfläche davon unbeeinflusst. Die Ermittlung der Bewertungsfläche bezieht sich meist auf die Linie 1a. Eine vereinfachte, graphische Darstellung des konventionellen Ausbaus mit Linie 1a im TVM-Vortrieb ist in Abb. 2.27 zu sehen.<sup>48</sup>

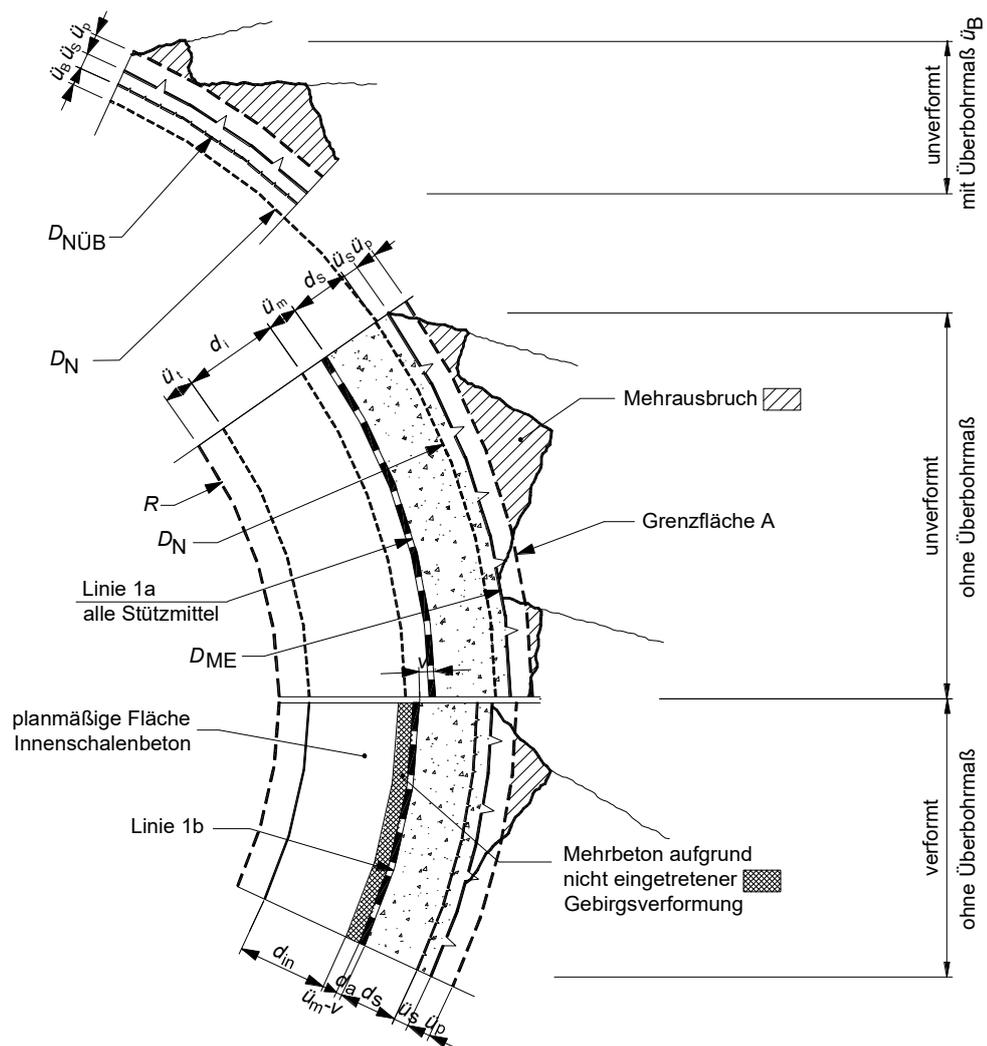
Ziel der Vortriebsklassenermittlung ist die Erstellung einer Vortriebsklassenmatrix nach dem in Abb. 2.28 gezeigten Muster. Auf vertikaler Achse sind die festgelegten Vortriebsabschnitte ersichtlich, ihnen werden die ermittelten Stützmittelzahlen (2. Ordnungszahl) mit dazugehörigen Bandbreiten (Gültigkeitsbereiche) zugeordnet. Grenzen für die jeweiligen Gültigkeitsbereiche sind in der Vortriebsklassenmatrix festzulegen.<sup>48</sup>

**Zweite Ordnungsgruppe – TBM-S/TBM-DS:** Für Tunnelbohrmaschinen mit Schild oder Doppelschild erfolgt die Unterteilung bei der zweiten Ordnungszahl abgestuft nach den leistungstechnisch maßgebenden Merkmalen des Vortriebssystems. Merkmale mit Einfluss auf die Vortriebsleistung können sein:<sup>48</sup>

- Verspannbarkeit (volle bzw. teilweise Verspannung im Gebirge)
- Art der Abstützung (Vollabstützung bzw. Teilabstützung am Ausbau)
- Art des Ausbaus
- Ortsbruststützung [erforderlich bzw. nicht erforderlich]

Die Unterteilung der zweiten Ordnungsgruppe bietet die Möglichkeit auf das Löseverhalten nicht einflussnehmende Faktoren zusammenzufassen und Gruppen zu definieren. Ist eine derartige Unterteilung nicht zweckmäßig, so kann sie entfallen und es wird lediglich die erste Ordnungsgruppe für die VKL herangezogen.<sup>48</sup>

**Zweite Ordnungsgruppe - Schildmaschinen:** Bei Schildmaschinen erfolgt die Unterteilung der zweiten Ordnungsgruppe nach den primär leistungsbestimmenden Merkmalen. Als Beispiel für ein solches Merkmal kann das Vortriebsverfahren genannt werden.<sup>48</sup>



- $R$  ... Radius des lichten Querschnitts  
 $u_t$  ... in der Ausschreibung vorgegebenes Maß zur Kompensation von TVM-Vortriebsabweichungen und Schalungstoleranzen; vom AG vorgegeben  
 $d_i$  ... plangemäße Dicke der Innenschale einschließlich Abdichtungsuntergrund und Abdichtung ( $d_i = d_{in} + d_a$ )  
 $d_{in}$  ... plangemäße Dicke der Innenschale  
 $d_a$  ... plangemäße Dicke des Abdichtungsuntergrundes und der Abdichtung  
 $v$  ... eingetretene Gebirgsverformung  
 $d_s$  ... festgelegte Dicke des Spritzbetons als Stützmaßnahme  
 $u_s$  ... Überschneidung aus der Sphäre des AN für Werkzeugabnutzung, Kurvenfahrt u.a.; vom AN anzugeben

- $u_p$  ... im Zuge der Ausschreibung vom AG angegeben und vom AN gemäß seiner Einschätzung zu berücksichtigendes Überprofil bis zur Grenzfläche A  
 $u_B$  ... Überbohrmaß  
 $u_m$  ... Übermaß für die Aufnahme der erwarteten Gebirgs- und Ringverformungen; im Zuge der Ausschreibung vom AG festzulegen  
 $D_N$  ... Nominaler Bohrdurchmesser vom AG vorgegeben;  $D_N = 2(R + u_t + d_i + u_m + d_s)$   
 $D_{NÜB}$  ... Nominaler Bohrdurchmesser mit Überbohrmaß;  $D_{NÜB} = D_N + 2 u_B$   
 $D_E$  ... effektiver Bohrdurchmesser (veränderlich)  
 $D_{ME}$  ... max. effektiver Bohrdurchmesser mit nicht abgenutzten Bohrwerkzeugen  
 $A$  ... Grenzfläche, bestimmt durch  $D_{ME} + u_p$

Abb. 2.27: Systemskizze TVM-Vortrieb mit konventionellem Ausbau (Quelle: ÖNORM B 2203-2: 2005-01-01 [28, S. 17])

ERSTE ORDNUNGSGRUPPE	VORTRIEBSABSCHNITTE (VA) gemäß 4.3.2.2	VA	ZWEITE ORDNUNGSGRUPPE											
			Stützmittelzahl gemäß 4.3.2.3											
			Maximaler Geltungsbereich											
			1	2	3	5	7	9	13	17	21	27	33	39
			± 0,5			± 1,0			± 2,0			± 3,0		
		1	1 / 0,5	1 / 1,5	1 / 2,5	1 / 4	1 / 6	1 / 8	1 / 11	1 / 15	1 / 19	1 / 24	1 / 30	1 / 36
2		2 / 1,5	2 / 2,5	2 / 4	2 / 6	2 / 8	2 / 11							
3	3 / 0,5	3 / 1,5	3 / 2,5	3 / 4										
n-1														
n														

Abb. 2.28: Vortriebsklassenmatrix TBM-O, TBM-A (Quelle: ÖNORM B 2203-2: 2005-01-01 [28, S. 14])

ERSTE ORDNUNGSGRUPPE	VORTRIEBSABSCHNITTE (VA) gemäß 4.3.2.2	VA	ZWEITE ORDNUNGSGRUPPE				
			Leistungsbestimmende Merkmale gemäß 4.3.2.4, 4.3.2.5				
			M 1	M 2	M 3	M (n-1)	M n
		1	1 / 1	1 / 2	1 / 3		
		2	2 / 1	2 / 2	2 / 3		
		3					
n-1							
n							

Abb. 2.29: Vortriebsklassenmatrix TBM-S, TBM-DS, SM (Quelle: ÖNORM B 2203-2: 2005-01-01 [28, S. 16])

**Zusammenfassung maschineller Vortrieb**

Der maschinelle Vortrieb zeichnet sich dadurch aus, dass die primären Vortriebsarbeiten mittels einer einzigen Maschine stattfinden. Zusätzlich werden auf längeren Vortriebsstrecken höhere Leistungen als beim zyklischen Vortrieb erreicht. Welche Maschinenart gewählt wird, hängt von den Parameter, die in den vorigen Kapiteln beschrieben sind, ab. Wie beim zyklischen Vortrieb wird die ÖNORM B 2203-2 [28] und die ÖGG [22] zur Planung, Ausführung und schlussendlich auch für die Abrechnung herangezogen. Durch die im maschinellen Tunnelbau meist sehr langen Tunnellängen ergeben sich sehr viele Unsicherheiten, welche im Endeffekt in Risiken und Chancen münden.

## 2.3 Zusammenfassung universeller und maschineller Vortrieb

*Bearbeitet durch Ömer und Schulter.*

Der Tunnelbau ist ein sehr kostenintensives Gewerk im Ingenieurwesen, welches durch lange Baudauern und Unsicherheiten bzgl. örtlichen und geologischen Gegebenheiten gekennzeichnet ist. Aus diesem Grund muss im Vorhinein großer Wert auf eine möglichst genaue Planung gelegt werden, denn Tunnelbaukonzepte sind im Nachhinein nur begrenzt adaptierbar. Eine Adaptierung ist meist mit erhöhten Kosten verbunden. Voraussetzung für die Wahl der Vortriebsart sind Kenntnis der geologischen Beschaffenheit und die Festigkeit des Untergrundes. Grundsätzlich wird zwischen zyklischen und maschinellen Vortrieb unterschieden. Für die Planung eines Tunnels wird einerseits die *ÖNORM B 2203-1* [27] für den zyklischen Vortrieb und andererseits die *ÖNORM B 2203-2* [28] für den maschinellen Vortrieb herangezogen. Diese Normen enthalten Verfahrens- und Vertragsbestimmungen zur Ausführung von Tunnelbauwerken und in diesen wird auf die ÖGG Richtlinien für die geotechnische Planung verwiesen. In Kap. 3 werden die Phasen, welche zur Kostenberechnung der Bauleistungen auf Seiten des AG und des AN von Nöten sind, näher beschrieben. Im Rahmen der Ausführung unterscheiden sich die jeweiligen Vortriebsarten sehr stark und weisen spezielle Attribute auf. So ist der zyklische Vortrieb als sehr flexibel und gut anpassbar anzusehen. Dem gegenüber steht der etwas unflexible, jedoch leistungsstärkere maschinelle Vortrieb.

## Kapitel 3

# Prozessanalyse relevanter Tätigkeiten der Kostenermittlung für den Datenauswertungsprozess

Im ersten Teil des folgenden Kapitels werden die im Laufe eines Tunnelbauprojekts auftretenden Projektphasen hinsichtlich der Kostenermittlung aus Sicht von Auftraggeber und Auftragnehmer näher beleuchtet. Im zweiten Teil wird auf dabei auftretende, wichtige Elemente näher eingegangen und von den Autoren versucht die wissenschaftliche Grundlage für den in Kapitel 4 durchgeführten, empirischen Teil dieser Arbeit zu legen. Aus Gründen der Nachvollziehbarkeit wird für die Strukturierung eine chronologische Reihenfolge gewählt und somit die Kostenermittlung aus Sicht des Auftraggebers zuerst behandelt. Als Grundlage für die Prozessanalyse aus Auftraggebersicht dient die *Richtlinie für die Kostenermittlung für Projekte der Verkehrsinfrastruktur* der ÖGG [24]. Um eine den zur Verfügung gestellten Daten entsprechende Grundlage zu schaffen wird für die Prozessanalyse aus Sicht des Auftragnehmers die Richtlinie *Common Project Standards (CPS)* der Strabag SE [40] als Referenz angewendet. Von Seiten des Auftraggebers werden fünf, bis zur Ausführungsphase auftretende Planungsphasen, näher beleuchtet. Seitens Auftragnehmer wird mit der Angebotsphase gestartet und der Verlauf bis zum Projektende beschrieben. Ziel ist es einen Vergleich zwischen Auftraggeber- und Auftragnehmerseite zu ziehen. Potentiell auftretende Unterschiede in der Methodik zur Kostenermittlung sollen aufgezeigt werden.

### 3.1 Stufen der Kostenermittlung in der Planungsphase aus Sicht des Auftraggebers

*Bearbeitet durch Ömer.*

Projektkosten sind auf Basis des jeweils herrschenden Wissensstands in den verschiedenen Planungsphasen unter Einbezug gegebener Risiken und Unsicherheiten zu ermitteln. Dabei nehmen die in der Planungsphase notwendigen Genehmigungen und der Planungsstand den größten Einfluss auf die Kostenermittlung. Entscheidend in dieser Phase ist es, potentielle Projektrisiken realistisch und sachgemäß zu bewerten und zusätzlich bislang unbekannte Kosteneinflüsse bereits vor dem Eintreten dieser einzubeziehen. Die nun folgenden Ausführungen nach ÖGG [24] können für Tunnelbauwerke (offene, geschlossene Bauweise), Freilandstrecken und Brücken angewendet werden. Laut ÖGG [24] weisen im Speziellen Projekte der Verkehrsinfrastruktur folgende, herausfordernde Merkmale auf:<sup>49</sup>

- lange Projektphasen
- viele Projektbeteiligte

---

<sup>49</sup>Vgl. [24] ÖGG, S. 7 ff.

- Abhängigkeit von der Finanzierbarkeit
- Abhängigkeit von der Gesetzeslage
- Abhängigkeit vom politischen Umfeld
- fehlende Vergleichbarkeit mit vergangenen Projekten

**Tab. 3.1:** Projektplanungsphasen von Verkehrsinfrastruktur, adaptiert nach ÖGG [24, S. 7]

	Projektplanungsphase				
	Projektstartphase	Projektentwicklungsphase	Vorprojektsphase	Genehmigungsphase	Ausschreibungsphase
<b>Planung</b>	Konzeptplanung	Grundlagenplanung	Vorplanung	Entwurfs- und Genehmigungsplanung	Ausschreibungsplanung
<b>Meilensteine d. Projekts</b>	Projektziele, Projektstart	Lastenheft	Variantenentscheidung	Einreichgenehmigung	Veröffentlichung
<b>Meilensteine d. Kostenermittlung</b>		Kostenrahmen	Kostenschätzung	Kostenberechnung	Kostenanschlag
<b>Methoden d. Kostenermittlung</b>		Kennwertmethode	Kennwert- und Elementmethode	Elementmethode	Positionsmethode

### 3.1.1 Projektphasen

Projekte der Verkehrsinfrastruktur sollten zeitlich unterteilt, mit Meilensteinen der Planung versehen und mit Methoden der Kostenermittlung ausgestattet werden. Eine Übersicht der in einer Planung auftretenden Projektphasen und den dazugehörigen Elemente bietet Tab. 3.1. Darin ersichtlich sind die fünf vor der Ausführungsphase auftretenden Projektphasen, welche im Folgenden näher erläutert werden.<sup>49</sup>

**Projektstartphase:** Im Zuge der Projektstartphase werden erste Projektziele formuliert sowie eine Konzeptplanung gestartet. Als Basis gilt die am Start eines jeden Projekts stehende Projektidee. Elemente der Kostenermittlung sind in dieser Phase noch nicht zu finden.<sup>49</sup>

**Projektentwicklungsphase:** In der Projektentwicklungsphase ist das primäre Ziel die Erstellung des Lastenhefts, welches Leistungs-, Kosten- und Terminziele enthält. Die Informationsgrundlage bilden Machbarkeitsstudien, Kosten-Nutzenrechnungen, Bedarfs- und Standortanalysen sowie Projektkonzeptionen. In dieser Phase findet erstmals eine Ermittlung von Kosten statt. Berechnet wird der Kostenrahmen mit Hilfe der Kennwertmethode.<sup>49</sup>

**Vorprojektsphase:** Ziel der Vorprojektsphase ist die Variantenentscheidung, dabei werden unterschiedliche Trassen ermittelt, analysiert und bewertet. Im Zuge dieser Planungsphase werden Kostenschätzungen mittels Kennwert- oder Elementmethode durchgeführt.<sup>49</sup>

**Genehmigungsphase:** Die Genehmigungsphase ist in zwei Stufen gegliedert. Zuerst werden Entwurfs- und Genehmigungsplanung für die Einreichung erstellt. Potentiell notwendige Genehmigungen aus folgenden Rechtsgebieten können auftreten:

- Umweltrecht
- Straßenrecht
- Eisenbahnrecht
- Wasserrecht

Der zweite Schritt umfasst die Einreichung der Unterlagen bei den zuständigen Behörden und deren Prüfung. Die Genehmigungsphase endet mit Erteilung der Genehmigung, einer Beanstandung oder der Absage durch die Behörde. Der in dieser Phase sehr hohe Informationszuwachs wirkt sich vermindern auf notwendige Risikozuschläge aus und erlaubt erstmals eine Kostenermittlung mit hohem Detaillierungsgrad. Angewendet wird dies in der Kostenberechnung, welche mittels Elementmethode durchgeführt wird. Ergeben sich Auflagen von Seiten der Behörden, so ist eine Anpassung der Kostenberechnung notwendig.<sup>49</sup>

**Ausschreibungsphase:** In dieser Phase werden die Ausschreibungsunterlagen erstellt. Der Detaillierungsgrad ist dabei von der Art des angestrebten Bauvertrages abhängig. Im Zuge der Angebotsprüfung sind erstmals Marktpreise zur Beurteilung der Kosten vorhanden. Das Zustandekommen des Vertrags markiert das Ende der Ausschreibungsphase und somit auch der Projektplanungsphase. Nachfolgend findet der Übertritt in die Ausführungsphase statt, in welcher AG und AN mit der tatsächlichen, baulichen Umsetzung des Projekts beginnen.<sup>49</sup>

### 3.1.2 Kostenstrukturierung

Basierend auf der Projektstruktur ergibt sich eine der betreffende Projektphase entsprechende Kostenstruktur. Mittels des Projektstrukturplans wird das Projekt in organisierbare, auf das Controlling zugeschnittene Einheiten (z. B. Aufgaben und Teilaufgaben) sowie in Arbeitspakete zerlegt. Diese Pakete werden zur weiteren Planung und Projektsteuerung herangezogen. Im Projektstrukturplan sind Zusammenhänge der einzelnen Elemente eines Projekts klar geregelt. Eine Kategorisierung der jeweiligen Elemente kann laut ÖGG [24] nach drei verschiedenen Kriterien vorgenommen werden:<sup>49</sup>

**nach Realisierungsstufen:** Bei Realisierungsstufen handelt es sich um zeitlich oder schlüssig festgelegte Projektabschnitte.

**nach Objekten:** Wird nach Objekten gegliedert, so werden Gruppen von Bauteilen nach ihrer Zusammengehörigkeit erstellt.

**nach organisatorischer Funktion:** In der Gliederung nach organisatorischen Funktionen wird abhängig von den beauftragten Beteiligten und nach Fachbereichen strukturiert. Fachbereiche können z. B. Fachabteilung Grundeinlöse, Ausrüstung oder Neubau sein.

Sämtliche Elemente des Projektstrukturplans müssen neben der Kostenstrukturierung auch Kostengruppen zugeordnet werden. Mögliche Kostengruppen können laut ÖGG [24] sein:<sup>49</sup>

- Projektmanagement
- Grunderwerb
- Planungsleistungen
- Monitoring und Beweissicherung
- Dienstleister Bauphase

- Bautechnische Anlage
- Ausrüstungstechnische Anlagen
- Umweltrelevante Maßnahmen
- Inbetriebnahme
- Eigenleistungen
- Öffentlichkeitsarbeit

Um eine Fortschreibung der Kostenermittlungen zu ermöglichen müssen diese nachvollziehbar erstellt werden. Im Kap. 3.1.3 sind die Kostenbestandteile zur Kostenermittlung näher beschrieben.<sup>49</sup>

### 3.1.3 Zerlegung der Projektkosten in Kostenbestandteile

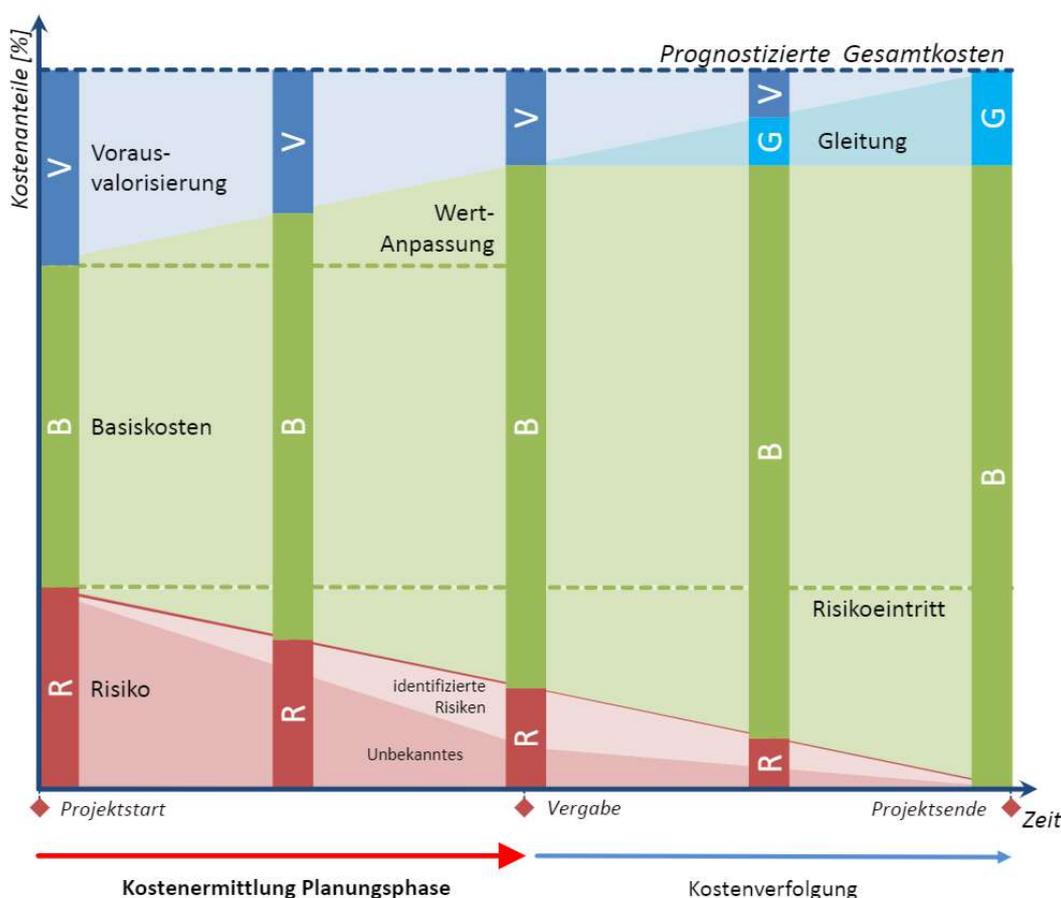
Auf Basis der facheinschlägigen Literatur aus der *Richtlinie für die Kostenermittlung für Projekte der Verkehrsinfrastruktur* von ÖGG [24] können die Projektkosten nach folgendem Schema gegliedert werden.<sup>50</sup>

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

Nachfolgende Grafik (Abb. 3.1) zeigt die zeitliche Verteilung und das Auftreten der oben genannten Kostenanteile. Der Darstellung liegen ein bestimmter Projektablauf sowie eine bestimmte Preisentwicklung am Markt zugrunde. Potentielle Änderungen des Projekts werden über einen Risiko-Aufschlag auf die Basiskosten berücksichtigt. Mit fortschreitendem Detailierungsgrad der Planung und damit einhergehender Festlegungen gehen immer mehr, dem Risiko zugeordnete Kosten, in Basiskosten über. Maßgeblichen Anteil daran haben die immer besser abschätzbareren Grundstücksablösen, die Eingrenzung potentiell anwendbarer Vortriebsarten und entlang der Trasse benötigte Kunstbauten. Ein sich, in Folge durchgeführter Bodenaufschlüsse, immer weiter verdichtendes Bodenmodell verstärkt diesen Effekt noch zusätzlich. Gleichzeitig treten vorab berücksichtigte Vorausvalorisierungen ein und gehen als Wertanpassungen in die Basiskosten über. Am Planungsbeginn ermittelte Risikokosten bestehen fast zur Gänze aus Unbekanntem, dies ändert sich mit fortschreitendem Planungsstand. Eine detaillierte Erklärung der abgebildeten Kostenbestandteile findet auf den nachfolgenden Seiten statt.<sup>50</sup>

---

<sup>50</sup>Vgl. [24] ÖGG, S. 11



**Abb. 3.1:** Schematische Darstellung der Kostenbestandteile zur Ermittlung der prognostizierten Gesamtkosten (Quelle: ÖGG [24, S. 11])

### Basiskosten

Basiskosten bilden jenen Teil der erwarteten Kosten ab, der aus dem bekannten Projektinhalt und dazugehöriger Termine entsteht. Sie werden auf eine Preisbasis bezogen und beinhalten u.a. Folgendes:<sup>51</sup>

- Grunderwerb und Aufschließung
- Dienst- und Bauleistungen
- Ausrüstung und Inbetriebnahme des Bauwerks
- Eigenleistungen des AG

Ermittelt können sie je nach Projektphase mittels Kennwertmethode, Elementmethode oder Positionsmethode werden. Diese unterscheiden sich nach ihrem Detaillierungsgrad und finden somit in unterschiedlichen Projektphasen Anwendung. Sämtliche Methoden bilden das Projekt nicht allumfassend ab, daher werden Kosten für Unberücksichtigtes vorgesehen. Bei allen Methoden bestehen die Kosten aus Mengen und dazugehörigen Kostenkennzahlen, jedoch gibt es die Möglichkeit, Eingangswerte nach zwei verschiedenen Verfahren zu ermitteln:<sup>51</sup>

<sup>51</sup>Vgl. [24] ÖGG, S. 12 ff.

**deterministisches Verfahren:** Beim deterministischen Verfahren sind Mengen- und Kostenkennzahlen als feste Größen definiert. Die Kosten errechnen sich aus dem Produkt von Menge und zugehöriger Kostenkennzahl. Sie stellen sich somit als fixe Größen dar.

**probabilistisches Verfahren:** Analog zum deterministischen Verfahren werden auch im probabilistischen Verfahren die Kosten aus dem Produkt von Menge und Kostenkennzahl ermittelt. Für die Ermittlung der Eingangswerte werden jedoch Verteilungen zur Berücksichtigung von Unsicherheiten angesetzt. Demzufolge ergibt sich bei dieser Variante eine Bandbreite der prognostizierten Projektkosten in Form einer Verteilung von Kosten mit zugehöriger Wahrscheinlichkeit.

Als Grundlage für Kostenkennzahlen können vergleichbare Projekte oder Preisdatenbanken herangezogen werden. Sind keine Referenzwerte verfügbar, so ist eine Kostenkalkulation erforderlich. Je nach Phase des Projektstandes können verschiedene Methoden der Kostenermittlung angewandt werden. In Frage kommen dabei im Wesentlichen die folgenden drei Methoden:<sup>51</sup>

**Kennwertmethode:** Bei der Kennwertmethode werden Projekte auf Basis ihres Hauptbestandteils und dazugehöriger Bezugsgrößen, beispielsweise [lfm] Tunnel oder [m<sup>2</sup>] Brücke, mit Kostenkennzahlen versehen und bewertet. Über Prozentsätze oder Pauschalen können untergeordnete Kostengruppen berücksichtigt werden. Die Kennwertmethode findet primär bei der Ermittlung des Kostenrahmens ihre Anwendung, kann jedoch auch für eine Kostenschätzung in der Vorprojektsphase herangezogen werden.<sup>51</sup>

**Elementmethode:** Diese Methode zerlegt Bauwerke in ihre primären Bestandteile (Elemente) und ordnet diesen Bezugsgrößen zu. Als Beispiele können [m<sup>2</sup>] Innenschale oder [lfm] Ausbruchsklasse angeführt werden. Anschließend werden dazugehörige Kostenkennwerte gewählt und die Produkte gebildet. Eine Unterscheidung hinsichtlich Detailierungsgrad ist mittels der kleinsten gewählten Einheit möglich, so werden in der Vorprojektsphase Grobelemente und in der Genehmigungsphase Feinelemente verwendet.<sup>51</sup>

**Positionsmethode:** In der Ausschreibungsphase zur Berechnung des Kostenanschlages findet die Positionsmethode ihre Anwendung. Als Basis dienen Positionen eines Leistungsverzeichnisses die beispielsweise [m<sup>3</sup>] Innenschalenbeton oder [Stück] Anker enthalten können. Für die monetäre Bewertung dieser Positionen werden Einheitspreise aus z. B. vergangenen Projekten herangezogen. Risikokosten werden in Leistungsverzeichnissen meist über Positionen für Regiearbeiten, Stilliegetage und Vortriebsunterbrechungen berücksichtigt.<sup>51</sup>

Um auch Projektbestandteile zu erfassen, die mit dem vorhandenen Planungsstand nicht abschätzbar sind, bedarf es eines Zuschlags. Mit fortschreitendem Planungsstand nimmt dieser ab und kann in der Ausschreibungsphase für den Kostenanschlag entfallen.<sup>51</sup>

### Wertanpassung und Gleitung

Marktpreisentwicklungen, die zukünftig **ab einem Stichtag** eintreten, nennt man Vorausvalorisierung (V). Das Gegenstück dazu wären Wertanpassung und Gleitung (G). Per Definition versteht man unter Wertanpassung und Gleitung jene Kosten, die infolge einer **bis zu einem Stichtag** eingetretenen Marktpreisentwicklung, entstehen. Die Höhe dieser zeitabhängigen Kostenanteile wird maßgebend von der Meilensteinvergabe im Projekt bestimmt. Die vom AG definierten Meilensteine entsprechen den eben erwähnten Stichtagen und definieren somit die Abgrenzung zwischen Wertanpassung und Gleitung.<sup>51</sup>

In der Kostenprognose sind nach ÖGG [24] folgende Kostenänderungen infolge Valorisierung zu unterscheiden:

**Wertanpassung:** Vor Vertragsabschluss entstehende Preisänderungen, durch z. B. Inflation oder die Marktsituation. Diese werden mittels Wertanpassung berücksichtigt.

**Gleitung:** Nach Vertragsabschluss entstehende Preisänderungen werden, sofern vertraglich geregelt, meist über Preisumrechnungen berücksichtigt. Als Berechnungsgrundlage dienen, in der Regel vorab vereinbarte Kostenindizes oder objektbezogene Warenkörbe.

Die Wertanpassung wird zwischen dem Bezugszeitpunkt der vorliegenden Basiskostenermittlung und dem aktuellen Stichtag berechnet. Sie wird auf die Basiskosten aufgeschlagen. Für die Höhe der notwendigen Wertanpassung können Marktpreisänderungen herangezogen werden. Ein die Marktänderungen abbildendes Mittel sind die von diversen Statistikinstituten herausgegebenen Preisindizes der jeweiligen Branchen. Die Gleitung bezieht sich auf den Zeitraum zwischen vertraglich vereinbarter Preisbasis und Stichtag. Sie besteht aus zwei Teilen und kann laut ÖGG [24] folgendermaßen berechnet werden:

$$\text{Gleitung} = G_{\text{ist}} + G_{\text{Prognose}} \quad (3.1)$$

$G_{\text{ist}}$  deckt die zwischen Preisbasis und Stichtag eingetretenen Änderungen für bereits erbrachte Leistungen ab.  $G_{\text{Prognose}}$  bezieht sich auf zukünftige, ab dem Stichtag zu erbringende Leistungen und muss prognostiziert werden. Maßgebend für die Gleitung sind Kostenindizes und somit in weiterer Folge die Änderung der Selbstkosten des AN.<sup>51</sup>

### Risiken

Risiken beinhalten Gefahren sowie Chancen, in der Regel werden sie mit steigender Kenntnis der Projektrahmenbedingungen besser kalkulierbar. Über die Kostenvorsorge müssen sie bereits in den prognostizierten Projektkosten berücksichtigt werden. Wird ein kalkuliertes Risiko tatsächlich angetroffen, welches in der Kostenprognose enthaltenen ist, so müssen die entsprechenden Kostenanteile in die Basiskosten übergeführt werden. Generell muss bei der Betrachtung von Risiken laut ÖGG [24] in Identifiziertes und Unbekanntes unterschieden werden. Das zeitliche Auftreten der beiden Anteile ist in Abb. 3.1 schematisch dargestellt.<sup>52</sup>

$$\text{Risikokosten}(R) = \text{identifizierte Risiken} + \text{Unbekanntes} \quad (3.2)$$

In den identifizierten Risiken beinhaltet sind auf Grundlage der vorliegenden Projektphase bekannte, bewertete Einzelrisiken. Maßgebenden Einfluss auf die Genauigkeit der identifizierten Risiken nehmen Projektkenntnis und Umfang der Risikoanalyse. Eine weitere Unterteilung des Unbekanntes hinsichtlich Identifizierbarkeit ist nach ÖGG [24] möglich.<sup>52</sup>

$$\text{Unbekanntes} = \text{nicht identifizierte Risiken} + \text{nicht identifizierbare Risiken} \quad (3.3)$$

Analog zu den identifizierten Risiken sind auch die nicht identifizierten Risiken maßgebend von der Projektkenntnis und dem Umfang der Risikoanalyse abhängig. Nicht identifizierbare Risiken können nicht vorab erfasst werden und sind erst ab ihrem Eintritt quantifizierbar. Risikokosten können mittels dreier Verfahren berechnet werden.<sup>52</sup>

**Richtwertverfahren:** Das Richtwertverfahren verwendet einen pauschalen Zuschlag auf die Basiskosten um Risiken zu berücksichtigen. Der Zuschlag wird nach Projektphasen und Baugrundeinfluss differenziert gewählt. Eine Bewertung von Einzelrisiken ist nicht vorgesehen. Die ÖGG [24] weist drei Aspekte zur qualitativen Projektbewertung aus:<sup>53</sup>

<sup>52</sup>Vgl. [24] ÖGG, S. 15 ff.

<sup>53</sup>Vgl. [24] ÖGG, S. 19 ff.

- Komplexität des Projekts
- Projektprofil
- Erfassung von identifizierten Einzelrisiken ohne quantitative Bewertung

Auf Basis dieser Parameter werden die den Projektphasen und Projektparametern entsprechenden Risikozuschläge nach Abb. 3.4 gewählt.

**Einzelrisikobetrachtung:** Die Vorgehensweise zur Bewertung von Einzelrisiken nach ÖGG [24] folgt den Grundsätzen der ÖNORM ISO 31000. Um die Vorgehensweise zu veranschaulichen wird ein fiktives Einzelrisiko angenommen und nach besagtem Schema abgewickelt. Bei den in diesem Beispiel genannten Zeitwerten handelt es sich nicht um empirisch oder planerisch abgeschätzte Werte sondern lediglich um Annahmen der Autoren.

- Identifikation des Einzelrisikos  
Festfahren der TVM
- Zuordnung des identifizierten Einzelrisikos  
Das Festfahren der TVM kann durch Baugrundverhältnisse, höhere Gewalt oder Missmanagement seitens des AN eintreten. Es ergeben sich somit drei Zuordnungsmöglichkeiten, alle drei müssen beachtet werden. Eine Möglichkeit zur Risikostrukturierung bietet ÖGG [24, 18 ff.].
- Vorklassifizierung von Risikoszenarien  
In diesem Schritt wird über die weitere Berücksichtigung des gegenständlichen Risikos entschieden. Das Festfahren der TVM kann erheblichen Einfluss auf den Projektverlauf nehmen und wird somit weiter behandelt.
- Qualitative Bewertung der Risiken ohne Berücksichtigung von Maßnahmen  
Mittels eines Datenblatts für die qualitative Analyse werden dem behandelten Einzelrisiko Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadenspotentiale zugewiesen. Ein derartiges Datenblatt für das gegenständliche Beispiel wird in Abb. 3.2 dargestellt.

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

Risiko hat bei Eintritt Auswirkungen auf ...

Qualitative Analysis	Auswirkungen					
	Gebrauchstauglichkeit / Qualität	Termine	Bereitliege / Anwesen	Sicherheit (Safety / Security)	Reputation / Öffentliche Wahrnehmung	Natur
keine			X	X		X
gering	X					
moderat						
hoch		X				
sehr hoch						

Eintrittswahrscheinlichkeit

Monetäre Auswirk.	Eintrittswahrscheinlichkeit								Relevanz zeitliches Eintreten
	sehr unwahrscheinlich	unwahrscheinlich	durchaus möglich	möglich	sehr möglich	wahrscheinlich	sehr wahrscheinlich	äußerstwahrscheinlich	
gering									
moderat									
hoch					X				
sehr hoch									X

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

beobachten   
  behandeln / beobachten   
  umgehend behandeln

Risiko wird quantitativ bewertet  NEIN

Abb. 3.2: Datenblatt für Einzelrisiko für die qualitative Analyse ohne Maßnahmen (Quelle: ÖGG [24, S. 40])

- Maßnahmen setzen und neuerliche Bewertung  
Das Setzen von Maßnahmen und die anschließende Neubewertung mittels des in

Abb. 3.2 dargestellten Datenblatts ist der nächste Schritt. Da das Festfahren einer TVM meist durch menschliches Versagen oder Missinterpretation der angetroffenen Geologie verursacht wird, bieten Reserven in Termin- und Kostenplanung die beste Möglichkeit der Risikominderung. Die Eintrittswahrscheinlichkeit bleibt davon unbeeinflusst, die Auswirkung auf terminliche Ziele wird abgeschwächt und potentiell entstehende Mehrkosten können in der Kostenplanung berücksichtigt werden. Abb. 3.3 zeigt eine Neubewertung unter Berücksichtigung von Zeit- und Kostenreserven für das gegenständliche Beispiel.

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

Risiko hat bei Eintritt Auswirkungen auf ...

Qualitative Analysis	Auswirkungen					
	Gebrauchstauglichkeit / Qualität	Termine	Bereitigte / Avancer	Sicherheit (Safety / Security)	Reputation / Öffentliche Wahrnehmung	Natur
keine	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
gering	<input checked="" 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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
hoch	<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"/>

Eintrittswahrscheinlichkeit

Monetäre Auswirk.	Eintrittswahrscheinlichkeit						Relevanz zeitliches Eintreten	
	sehr unwahrscheinlich 0% - 5%	unwahrscheinlich 5% - 15%	durchaus möglich 15% - 30%	möglich 30% - 50%	sehr möglich 50% - 70%	wahrscheinlich 70% - 85%		sehr wahrscheinlich 85% - 95%
gering	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
moderat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
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"/>
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"/>

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

beobachten  behandeln / beobachten  minimales Ziel  umgehend behandeln

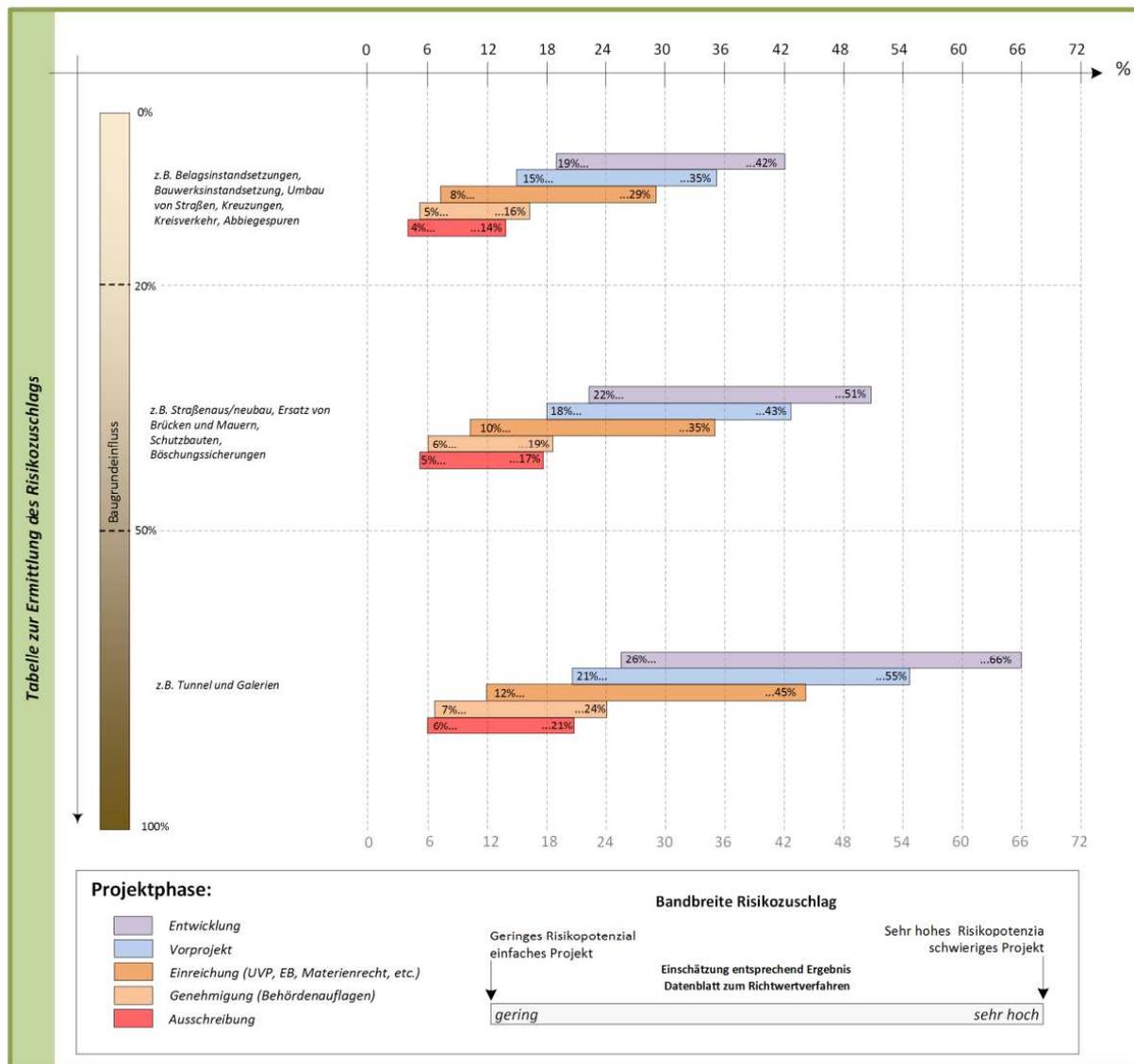
Risiko wird quantitativ bewertet  NEIN  JA

Abb. 3.3: Datenblatt für Einzelrisiko für die qualitative Analyse mit Maßnahmen (Quelle: ÖGG [24, S. 40])

- Quantitative Bewertung

Unter Berücksichtigung aller potentiell auftretender Szenarien sollte nun das Bestcase- und Worstcase-Szenario ermittelt werden. Dadurch ermittelte Bandbreiten bilden die Grundlage für ein probabilistisches Berechnungssystem. Für das gegenständliche Beispiel der festgefahrenen TVM können für das Befreien der Maschine 14 Arbeitstage (AT) im besten Fall und 65 AT im schlechtesten Fall angenommen werden. Versetzt man diese Zeitwerte nun mit einer monetären Bewertung und den Eintrittswahrscheinlichkeiten, so liegen sämtliche Eingangsparameter für die probabilistische Risikokostenermittlung vor. Im Falle einer festgefahrenen TVM müssen bei der monetären Bewertung die zeitgebundene Kosten (ZGK) der Baustelle und einmalig durch das Freiarbeiten der Maschine entstehende Kosten berücksichtigt werden.

**Kombination aus Richtwertverfahren & Einzelrisikobetrachtung:** Bei dieser Methode werden die eben erklärten Vorgehensweisen aus Richtwertverfahren und Einzelrisikobetrachtung zusammengeführt.



**Abb. 3.4:** Bestimmung des pauschalen Risikozuschlags im Richtwertverfahren (Quelle: ÖGG [24, S. 21])

Die Wahl einer Methode zur Risikokalkulation ist maßgeblich von den Projektgegebenheiten abhängig. Dabei sind speziell die Höhe der prognostizierten Kosten, Projektkomplexität, öffentliche Wahrnehmung und die vorhandene Datengrundlage ausschlaggebend.

### Vorausvalorisierung

Verkehrsinfrastrukturprojekte weisen meist eine große Projektdauer auf. Diese Tatsache lässt dem Kostenanteil der Vorausvalorisierung große Bedeutung zukommen. Der wesentliche Unterschied zu Wertanpassung und Gleitung ist, dass es sich bei der Vorausvalorisierung um Kosten zur Berücksichtigung von, ab einem Stichtag bis zum Projektende anfallender, Marktpreisentwicklungen handelt. Vorausvalorisierungen können in zwei Teile gegliedert werden. Einerseits sollen damit künftige Preisentwicklungen am Markt für noch nicht vergebene Leistungen berücksichtigt werden. Andererseits wird mittels Vorausvalorisierung versucht, Entwicklungen der Selbstkosten des AN abzudecken. Kommt es zu zeitlichen Veränderungen im Projektlauf, so hat das Einfluss

auf die Kosten der Vorausvalorisierung und eine Überarbeitung ist nötig. Für die Ermittlung der Vorausvalorisierung bedarf es eines zeitlichen Ablaufplans der Leistungserbringung und einer Einteilung nach Perioden, wobei für jede Periode eine Abschätzung der Marktentwicklung erforderlich ist. Für längere Projekte können konstante Prozentsätze über alle Kostengruppen zweckmäßig sein. Die Bestimmung des angewandten Prozentsatzes ist eine Aufgabe des AG und kann auf Basis von Inflation/Deflation erfolgen.<sup>54</sup>

### Zusammenführung der Kostenbestandteile

Um die prognostizierten Projektkosten zu ermitteln, bedarf es nun einer Zusammenführung aller Kostenbestandteile. Demnach werden die folgenden Kostenanteile vereinigt:

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

$$BGRV(\text{prognostizierte Projektkosten}) = B + G + R + V \quad (3.4)$$

Die Art der Zusammenführung ist vom Ermittlungsverfahren der Einzelbestandteile abhängig. Wurden sämtliche Anteile deterministisch, also als fixe Einzelwerte, ermittelt, so reicht eine simple Addition der Anteile, um auf die Projektkosten zu kommen. Jedoch erlaubt diese Endsumme keinen Rückschluss darauf, unter welchen Bedingungen und mit welcher Wahrscheinlichkeit sie auftritt. Unterliegt jedoch ein Kostenanteil einer probabilistischen Ermittlung, so bedarf es in der Aggregation ebenfalls einer probabilistischen Methode. Das Ergebnis eines solchen Verfahrens ist eine Wahrscheinlichkeitsverteilung für die prognostizierten Projektkosten. Darin ablesbar sind Unter- und Überschreitungswahrscheinlichkeiten für mögliche, prognostizierte Projektkosten. Eine derartige Verteilung wird in Abb. 3.5 gezeigt. Mittels des VaR-Wertes (Value at Risk) wird die Kostensicherheit der probabilistisch ermittelten Kostenanteile angegeben. Er entspricht der Unterschreitungswahrscheinlichkeit von prognostizierten Projektkosten in Prozent. Dadurch kann abgeschätzt werden mit welcher Wahrscheinlichkeit die berechneten Projektkosten unter- bzw. überschritten werden. Der Nutzen des AG liegt in der Darstellung einer Bandbreite von Projektkosten. Auf Basis der Verteilung können beispielsweise Budgetplanungen, die Bildung von Reserven oder auch Variantenentscheidungen verantwortet werden. Ein zusätzlicher Effekt ist die bildhafte Darstellung der vorhandenen Risiken und die Wahrnehmung dieser durch alle Projektbeteiligten.<sup>55</sup>

<sup>54</sup>Vgl. [24] ÖGG, S. 23

<sup>55</sup>Vgl. [24] ÖGG, S. 24

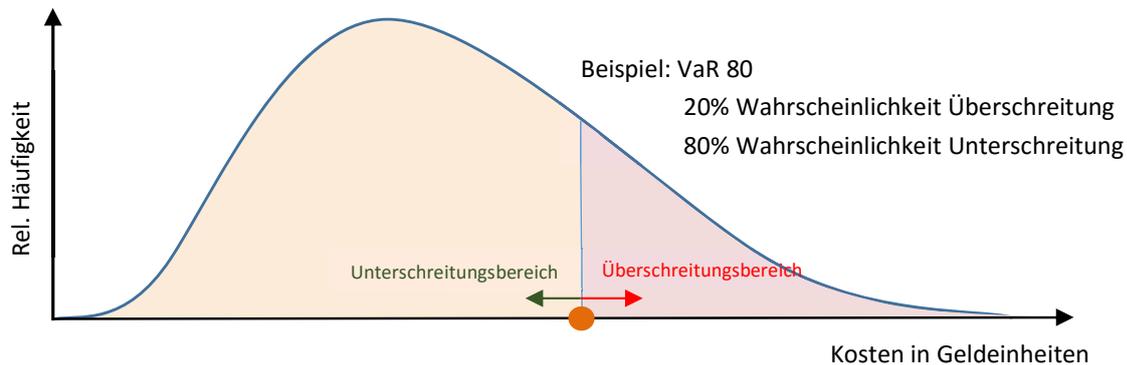


Abb. 3.5: Darstellung einer Kostenverteilung mit VaR 80 (Quelle: ÖGG [24, S. 24])

## 3.2 Stufen der Kostenermittlung und -fortschreibung aus Sicht des Auftragnehmers

Bearbeitet durch Schulter.

Die Strabag SE ist das größte Bauunternehmen Österreichs und in allen Bereichen des Bauwesens international tätig. Um negative Ergebnisse bei Bauprojekten bestmöglich zu vermeiden sind konzernweit geltende Mindeststandards für die Beschaffung und Ausführung von Bauprojekten eingeführt worden – die sogenannten Common Project Standards (CPS). Sie bilden dabei die Rahmenbedingungen für die organisationsübergreifende und international durchgängige Zusammenarbeit aller Beteiligten eines Projekts und gelten als Konzernrichtlinie, welche für sämtliche Bauprojekte verbindlich eingehalten werden müssen.<sup>56</sup>

Als Baupreis wird die in Geldeinheiten ausgedrückte Summe im Gegenzug für eine erbrachte Bauleistung bezeichnet. Vereinfacht gesagt bedeutet das, dass der Unternehmer die Produktionsmittel bereitstellt und den Bau realisiert während der Auftraggeber ihm dafür den Baupreis erstattet. Als Preis gelten gemäß *ÖNORM B 2061* [26] die Kosten (Herstellkosten) plus Gesamtschlag. Dabei ist je nach Bauphase zu differenzieren zwischen dem Angebots-, dem Vertragspreis und der Abrechnungssumme. Kosten entstehen dabei im Zuge des Ressourcenverbrauches. Der Verbrauch an Ressourcen (Personal, Material, Geräte, etc.) wird im Unternehmen durch die Baukalkulation abgebildet. Nachfolgende Phasen, welche vom zeitlichen Projektstand abhängig sind, gilt es bei der Baukalkulation zu differenzieren:<sup>57</sup>

- Nullkalkulation
- Angebotskalkulation
- Auftragskalkulation
- Arbeitskalkulationen
- Nachkalkulation

Im Zuge dieser Diplomarbeit werden die für ein Bauunternehmen wichtigen Abschnitte der Prozessdokumentation und der jeweiligen Kostenkalkulationen erläutert. Um diese besser zu verstehen werden nachfolgend die wichtigsten Bestandteile einer Kalkulation beschrieben.

<sup>56</sup>Vgl. [40] Strabag SE, S. 6 f.

<sup>57</sup>Vgl. [17] Kropik, S. 1 f.

### 3.2.1 Kalkulationsbestandteile und Kostenarten

Um in jeder Phase eine nachvollziehbare Vorgehensweise sicherzustellen, ist eine einheitliche Betrachtungsweise der Kalkulationsbestandteile erforderlich, welche in Abb. 3.6 abgebildet sind. Sie setzen sich aus den Einzelkosten der Teilleistungen (EKT), den Baustellengemeinkosten (BGK), den Allgemeinen Geschäftskosten (AGK) und dem Gewinn/unternehmerischen Wagnis bzw. dem Ergebnis zusammen.<sup>58</sup>

**Herstellkosten:** Unter den Herstellkosten werden jene Kosten verstanden, welche direkt dem Projekt zuordenbar sind. Darunter fallen die EKT, die BGK sowie die identifizierten und bewerteten Chancen bzw. Risiken zuzüglich der Summe aller Pauschalkosten.<sup>59</sup>

**Allgemeine Geschäftskosten:** AGK können nicht direkt dem Bauprojekt zugerechnet werden und müssen deshalb anhand einer Umlage aufgeschlagen werden. Darunter fallen jene Kosten, welche in den zentralen Einheiten eines Konzerns entstehen, wie zum Beispiel Mieten, Gehälter, Betriebskosten, Kosten für Weiterbildungen, etc.<sup>58</sup>

**Selbstkosten:** Die Summe der Mengen mal den Einheitskosten aller Leistungspositionen plus der Summe der Pauschalkosten zuzüglich den AGK ergeben die Selbstkosten. Sie beinhalten alle Kosten der Einzelleistungen, sowie Sonderkosten, welche in der Kostenrechnung gesondert ausgewiesene Kosten darstellen, Gerätekosten, zeitgebundene Baustellengemeinkosten und die Baustelleneinrichtung bzw. -räumung.<sup>60</sup>

**Gewinn:** Der Gewinn wird mittels eines Prozentsatzes auf die Selbstkosten hinzugerechnet. Der Gewinnzuschlag wird vom Management festgelegt und soll eine angemessene Kapitalverzinsung für das Unternehmen erwirtschaften.<sup>58</sup>

**Angebotssumme/Auftragssumme:** Aus der Summe der Selbstkosten, des Gewinns und des unternehmerischen Wagnisses entsteht die Angebotssumme. Beim Erlangen des Auftrages ist diese sinngemäß die Auftragssumme, wobei noch etwaige Anpassungen, beispielsweise aus Verhandlungen, getätigt werden können. Dabei ist zu beachten, dass die Umsatzsteuer noch zu berücksichtigen ist.<sup>58</sup>

**Ergebnis:** Unter dem Ergebnis ist die Differenz der Angebotssumme/Auftragssumme und den Selbstkosten zu verstehen. Somit ist das Ergebnis der Erlös exklusive den Selbstkosten.<sup>58</sup>

**Deckungsbeitrag:** Der Deckungsbeitrag ist die Differenz des Erlöses und der Herstellkosten. Er kann als jener Betrag angesehen werden, der zur Deckung der Fixkosten eines Unternehmens zur Verfügung steht.<sup>58</sup>

**unternehmerisches Wagnis:** Das unternehmerische Wagnis wird analog zum Gewinn mittels eines Prozentsatzes auf die Selbstkosten hinzugerechnet. Risiken, die aus der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung entstehen können, werden mittels dem unternehmerischen Wagnis abgegolten. Dieses ist kein eigener Kostenbestandteil, sondern im Gewinnzuschlag enthalten. Im Gegensatz zum projektspezifischen Wagnis ist das unternehmerische Wagnis nicht Bestandteil der Herstellkosten.<sup>58</sup>

**Unterscheidung unternehmerisches Wagnis und Chancen und Risiken:** Die im Rahmen der Preiskommission erstellte Chancen- und Risikoliste behandelt spezifische Projektscenarien

<sup>58</sup>Vgl. [40] Strabag SE, S. 57 ff.

<sup>59</sup>Vgl. [9] Goger, S. 27

<sup>60</sup>Vgl. [17] Kropik, S. 3

die positiven oder negativen Einfluss auf das Ergebnis nehmen können. Dem gegenüber nimmt der Wagniszuschlag eine allgemeine Rolle in Bezug auf unternehmerische Risiken ein. Beide Elemente verfolgen das gleiche Ziel und ermöglichen daher eine risikotechnische Redundanz.

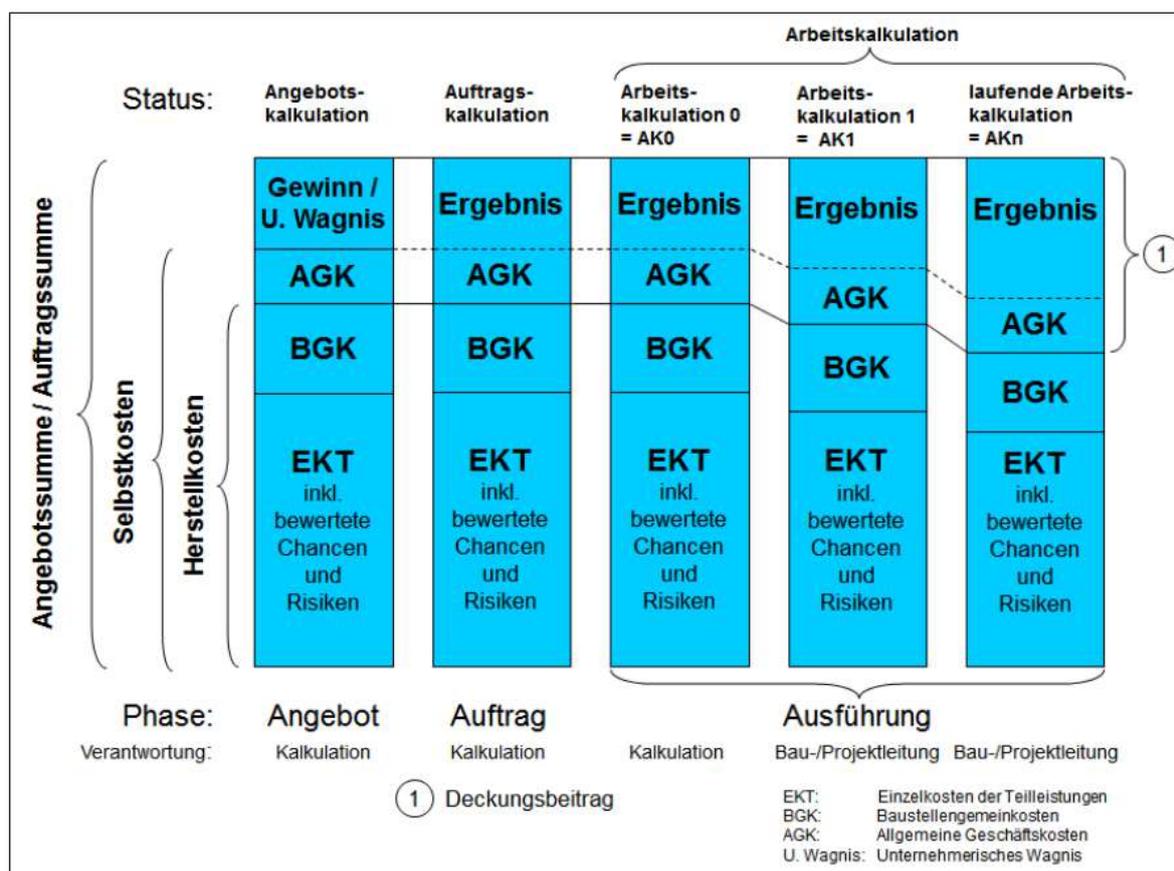


Abb. 3.6: Übersicht Kalkulationsstatus (Quelle: Strabag SE [40, S. 59])

**Kostenarten:** Bei jedem Bauprojekt müssen die Kosten konzernweit hierarchisch in neun Hauptkostenarten verteilt werden. Die ersten acht Hauptkostenarten beinhalten neben Herstellkosten auch die AGK und spiegeln die Kontenklassen für die Finanzbuchhaltung wieder. In die neunte Kostenart werden Leistungen des Konzerns gebucht, welche keine AGK-Zuschläge beinhalten. Im folgenden wird ein Überblick über die einzelnen KOA gegeben:<sup>61</sup>

- Kostenart 1 (KOA 1): Lohn
- Kostenart 2 (KOA 2): Baugeräte
- Kostenart 3 (KOA 3): Baumaterial
- Kostenart 4 (KOA 4): Schalung – Rüstung – Verbau
- Kostenart 5 (KOA 5): Nachunternehmer
- Kostenart 6 (KOA 6): Baustellen- und Betriebsstättenausstattung
- Kostenart 7 (KOA 7): Gehalt und sonstige Baukosten

<sup>61</sup>Vgl. [40] Strabag SE, S. 59 f.

- Kostenart 8 (KOA 8): Erlöse und Erträge
- Kostenart 9 (KOA 9): Konzern/Intern

Um während des Bauablaufes einen SOLL/IST-Vergleich erstellen zu können, werden die Hauptkostenarten in Buchungskonten untergliedert. Diese bestehen aus einer 5-stelligen Nummer, bei der die erste Stelle die Hauptkostenart widerspiegelt. Alle weiteren Spalten stellen Buchungskonten dar, damit jede Leistung/jeder Artikel genau zugeordnet werden kann. Dadurch ist die Ermittlung der Herstellkosten (EKT und BGK) möglich.

**Ermittlung der Einzelkosten der Teilleistungen (EKT):** Als Einzelkosten der Teilleistungen (EKT), die die Basis einer jeden Berechnung darstellen, gelten jene Positionen, welche den genannten Teilleistungen einerseits unmittelbar und andererseits verursachungsgerecht hinzugerechnet werden können, wobei bei deren Erfassung Detailberechnungen anzustellen sind. Diese gliedern sich in:<sup>62</sup>

- Einzelpersonalkosten
- Einzelmaterialkosten
- Einzelgerätekosten

**Ermittlung der Baustellengemeinkosten (BGK):** Die BGK, die sich in zeitabhängige und zeitunabhängige Kosten aufteilen lassen, beinhalten jene Kosten der jeweiligen Baustelle, welche nicht konkret einer Teilleistung zugewiesen werden können, wie beispielsweise Aufwendungen für den Baustellenbetrieb. Basis für die Kalkulation stellt die in der Angebotsbearbeitung geplante Baustellenorganisation dar. Zu den Baustellengemeinkosten zählen unter anderem Kosten für die Baustelleneinrichtung bzw. -räumung, das Projektteam, Vorhaltegerätschaften, wie zum Beispiel Baustellencontainer und provisorische Hilfsmaßnahmen wie Baustraßen oder Lagerplätze. Bei jenen Kosten, die als zeitabhängig gelten, erfolgt die Berechnung der Bauzeit mittels Bauzeitenplan. Sobald in dem vom AG zur Verfügung gestellten Leistungsverzeichnis des jeweiligen Projektes BGK gelistet sind, müssen diese auch berechnet werden. Sonstige Baustellengemeinkosten sind in einem separaten Leistungsverzeichnis (BGK-LV) aufzuzeichnen und sind gleich wie normale Positionen auf Grundlage der geplanten Baustellenorganisation zu berechnen. Allerdings verweilen diese als interne Kosten, welche keinen Einheitspreis erhalten.<sup>63</sup>

**Ermittlung der Umlagen:** Alle BGK-Positionen und Zuschläge (AGK, Gewinn und unternehmerisches Wagnis, Zuschlag für Verhandlungsreserven, Nachlass und Skonto) werden anhand einer Umlage auf die Positionen im Leistungsverzeichnis anteilig der Kostenarten aufgeteilt. Eine grafische Darstellung der Umlagen ist in Abb. 3.7 ersichtlich. Dabei ist darauf zu achten, dass es bei der Umrechnung zu keiner Unterdeckung, bei der die SOLL-Kosten kleiner als die IST-Kosten sind, kommt.<sup>64</sup>

<sup>62</sup>Vgl. [26] ÖNORM B 2061: 2020-05-01, S. 14 f.

<sup>63</sup>Vgl. [17] Kropik, S. 14 f.f.

<sup>64</sup>Vgl. [40] Strabag SE, S. 64



### 3.2.3 Angebotskalkulation

Der Angebotsprozess findet in vier verschiedenen Phasen statt, beginnend mit der Akquisitionsphase, über die Angebotsphase, hin zur Angebotsabgabe bis zur abschließenden Vertragsverhandlungsphase. Die Grenzen der einzelnen Phasen verschwimmen dabei. Das organisatorische Angebotsmanagement leitet den Angebotsbearbeitungsprozess, welcher das entscheidende Verfahren für die Auftragsgewinnung darstellt. Während der vier Phasen sind verschiedene Meilensteine maßgeblich, nämlich die Entscheidung über die Angebotsbearbeitung, über die Angebotsabgabe und über den Vertragsabschluss nach Verhandlungen. In der Praxis bilden hierbei Mitglieder der Unternehmensgeschäftsführung und langjährige Mitarbeiter ein sogenanntes Angebotskomitee, das die genannten Entscheidungen enorm beeinflusst.

Nach Auswahl des für die jeweilige Organisation passenden Projektes und Einholung der Ausschreibungsunterlagen, bildet anschließend eine umfangreiche Analyse dieser die Basis für die Angebotsbearbeitung inklusive Bonitätsprüfung. Es erfolgt eine gesamtheitliche Chancen-Risiken-Bewertung des Baustellenprojektes von einer temporären Angebotsprojektgruppe, die für die Angebotserstellung folgende Parameter kennen muss:

- Vertrag samt aller Vertragsbedingungen
- Pläne
- Leistungsverzeichnis
- sonstige relevante Dokumente wie beispielsweise Bodengutachten

Anhand mittels Vertragsprüfung beurteilten Bauzeiten, Garantien, Abrechnungs-, Zahlungs- sowie Haftungsbedingungen, sollen Unstimmigkeiten aufgedeckt werden (außergewöhnliche Nebenleistungen bzw. Anforderungen, weitere noch nicht vermerkte Risiken und/oder widersprüchliche Dokumente). Des Weiteren muss die Reihenfolge der Gültigkeit von Unterlagen sowie rechtliche Grundlagen ermittelt werden. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse fließen dann in die Kalkulation mit ein.<sup>66</sup> Die Angebotskalkulation besteht aus der Nullkalkulation, der Entwurf-Angebotskalkulation, der Angebotskalkulation sowie der Abgabeversion der Angebotskalkulation (Urkalkulation).

#### Nullkalkulation

Der erste Schritt im Kalkulationsprozess ist die Erstellung der Nullkalkulation. Sie stellt die Herstellkosten des Bau-SOLL dar und beinhaltet die EKT, die BGK und die AGK. Dabei sind alle Annahmen zu dokumentieren. Die analysierten Chancen und Risiken sind in dieser Phase noch kein Teil der Herstellkosten und müssen somit gesondert erfasst werden. Erst nach erfolgreicher Angebotsschlussbesprechung bzw. Preiskommission fließen diese in die Kalkulation ein. Aufbauend auf die Nullkalkulation erfolgt im nächsten Schritt der Entwurf der Angebotskalkulation.<sup>67</sup>

#### Entwurf Angebotskalkulation

Die Entwurf-Angebotskalkulation baut auf der Nullkalkulation auf. Jede Veränderung zur Nullkalkulation muss nachvollziehbar dokumentiert sein. Bei dieser Phase der Kalkulation werden die ersten Optimierungen und erste Ansätze der Kostenbewertung vorgenommen. Ebenso ist eine Beurteilung der identifizierten Chancen und Risiken gemäß einer Risikocheckliste einzuarbeiten. Diese Checkliste ist schon bei der Begutachtung der Ausschreibungsunterlagen zu erstellen. Sie ist in verschiedene Risikokategorien unterteilt, wie externe Risiken, betriebliche und technische Risiken, Personalrisiken, Umweltschutz, rechtliche Risiken, politische Risiken usw. Dadurch

<sup>66</sup>Vgl. [8] Girmscheid, S. 53 f.f.

<sup>67</sup>Vgl. [40] Strabag SE, S. 57

entsteht eine Minderung der nicht identifizierten Risiken und führt somit zu einer deutlichen Steigerung der Sicherheit in der Ausführungsphase. Die AGK müssen in vollem Ausmaß angenommen werden und es kann ebenso ein Zuschlag für Gewinn und dem unternehmerisches Wagnis empfohlen werden. Bei einem Verhandlungsverfahren soll eine Annahme für sonstige Zuschläge bzgl. Nachlass und Skonto getroffen werden. Die endgültige Entscheidung der getroffenen Annahmen obliegt dem zuständigen Management bzw. der Preiskommission. Aufbauend auf dem Entwurf der Angebotskalkulation erfolgt im nächsten Schritt der Entwurf Angebotskalkulation mit gesonderter Darstellung der Chancen und Risiken.<sup>68</sup>

### **Entwurf Angebotskalkulation mit gesonderter Darstellung der Chancen und Risiken**

Die Grundlage für die Preiskommission ist der Entwurf der Angebotskalkulation mit allen gewählten Annahmen sowie den nicht bewerteten Chancen und Risiken. Dabei muss jede Abweichung und Kostenveränderung zur Nullkalkulation nachvollzogen werden können. Sie bildet die Entscheidungsgrundlage für die Preiskommission, wobei ebenso die Nullkalkulation mit den gesonderten Chancen und Risiken herangezogen wird.<sup>69</sup>

### **Preiskommission**

Die Preiskommission leistet vor allem in der Angebotsphase einen wichtigen Beitrag für ein vollständiges Risikomanagement und stellt zudem wesentliche Informationen für das jeweilige Projekt bereit. In der Preiskommission sind kaufmännische und technische Leitung der bearbeitenden Unternehmenseinheit und weitere Spezialisten, unter anderem Projektanalysten.

Bei sehr großen Projekten sind Prozessverantwortliche im Bereich des Beschaffungswesens sowie Vertreter aller einbezogenen Zentralbereiche ebenfalls involviert. Der Termin für eine Preiskommission erfolgt idealerweise kurz vor Angebotsabgabe. Bei Sonderrisiken im Tunnelbau sowie anderen nicht üblichen Projekten weicht in der Regel mindestens einer der nachfolgenden Parameter im Vergleich zu üblichen Projekten ab:

- Kunde
- Leistungsumfang
- Vertragstyp
- Land
- Technik
- Ressourcen

Zu den Hauptaufgaben der Preiskommission zählen einerseits eine wettbewerbsrechtliche Überprüfung, ob alle involvierten Arbeitnehmer vor und während der Angebotsphase rechtens agieren. Andererseits ist die Preiskommission für die Kontrolle aller eingereichten Dokumente verantwortlich. Sollten sich dabei wettbewerbswidrige Auffälligkeiten ergeben, sind Untersuchungen anzustellen sowie anschließend zu dokumentieren. Ferner sind in der Preiskommission Chancen- und Risikobewertungen abzuhandeln sowie in der Angebotsberechnung zu belegen, warum diese entweder zu berücksichtigen oder nicht zu berücksichtigen sind. In der Preiskommission werden alle Annahmen, Chancen und Risiken beurteilt und schlussendlich entschieden. Sofern Nachverhandlungen angestellt werden müssen, liegt die Angabe des Verhandlungsrahmens ebenso in der Verantwortung der Preiskommission. Ergeben sich nach einer abgehandelten Preiskommission maßgebliche Änderungen, wie zum Beispiel weitreichende Veränderungen des Leistungsumfanges,

<sup>68</sup>Vgl. [40] Strabag SE, S. 66

<sup>69</sup>Vgl. [40] Strabag SE, S. 69

muss das jeweilige Management informiert werden, um die weitere Verfahrensweise zu bestimmen. Bei erfolgreichem Erhalt des Auftrages beginnt die Auftragskalkulation.<sup>70</sup>

### 3.2.4 Auftragskalkulation

Die Auftragskalkulation wird auf Grundlage der Angebotskalkulation bzw. der Urkalkulation erstellt. In dieser werden die Resultate der Verhandlung mit dem AG eingearbeitet. Dabei sind die Preisnachlässe, Pauschalierungen, Mengenänderungen, Leistungsänderungen, mögliche Nebenangebote sowie der Austausch von Normalpositionen gegen Wahlpositionen zu berücksichtigen. Nach Fertigstellung der Auftragskalkulation sind alle Positionspreise und Umlagen fixiert, das bedeutet die Preise können nicht mehr verändert werden. Diese Kalkulation repräsentiert somit den Vertrag. Bei allfälligen Mehrkostenforderung (MKF) an den AG wird diese als Grundlage herangezogen.<sup>70</sup>

### 3.2.5 Kalkulation in der Bauausführung

Die Bearbeitung der Arbeitsvorbereitung (AVOR) sowie die Erstellung der Arbeitskalkulation beginnen nach dem Erteilen des Auftrages. Davor wird die Baustellenführung beschlossen. Der Fokus der Arbeitskalkulation, bei welcher Zielleistungen und Kostenvorgaben neu berechnet werden müssen, liegt auf der wirtschaftlichen Optimierung der Kosten aus Angebots- und Auftragskalkulation. Die Arbeitskalkulation stellt demnach einen wichtigen Steuerungsmechanismus der Bauausführung dar. Außerdem gibt sie die Ziel-Leistungen und die obere Grenze der Kosten vor und gilt als wesentlich beim Bauproduktionscontrolling. Zudem findet in dieser eine Weiterführung jener Baustellenkosten, die in der Angebots- sowie Auftragskalkulation angegeben wurden, statt.

Heutzutage bildet die Arbeitskalkulation sogar den bedeutendsten Faktor für die Bauproduktion hinsichtlich Vorgabe und Steuerung der Leistung. Während der Arbeitskalkulation muss die Angebotskalkulation dahingehend vorbereitet werden, dass Veränderungen beim Vergabeprozess einbezogen werden und in der Angebotskalkulation entstandene Fehler beseitigt werden können. Ferner muss sie „reale“ Materialeinkaufspreise miteinbeziehen und so aufbereitet werden, dass aus den Leistungsvorgaben für Baustellenjobs Zielwerte entstehen und Vergabepakete für Subleistungen anhand von Richtwerten ermittelt werden können.<sup>71</sup>

#### Arbeitskalkulation 0 (AK0)

Auf Basis der Auftragskalkulation wird die Arbeitskalkulation 0 (AK0) erstellt. Sie dient als Referenzkalkulation, um die Ergebnisse im Zuge des Controllings zu ermitteln. Sie enthält alle EKT, welche für die Ausführung benötigt werden, wobei die Annahmen, welche durch die Preiskommission getroffen wurden, verbindlich sind und die bewerteten Chancen und Risiken aufrecht bleiben. Falls in der Urkalkulation einige Kosten in den Zuschlag einbezogen worden sind, werden diese in die Herstellkosten überführt. Festgelegte Skonti mindern den zu erwarteten Erlös. Jegliche Änderungen in der AK0 müssen transparent und verständlich dokumentiert werden. Auf dieser Kalkulation erstellt die Bau- bzw. Projektleitung die Arbeitskalkulation 1 (AK1).<sup>72</sup>

#### Arbeitskalkulation 1 (AK1)

Aufbauend auf die AK0 wird die AK1 erstellt. In diesem Schritt der Kalkulation sind die Erkenntnisse, welche in der Arbeitsvorbereitung gewonnen werden konnten, in die Herstellkosten einzuarbeiten und dem Projektcontrolling zu übermitteln. Dabei bleiben die Kalkulationsansätze

<sup>70</sup>Vgl. [40] Strabag SE, S. 70 f.

<sup>71</sup>Vgl. [8] Girmscheid, S. 389 f.f.

<sup>72</sup>Vgl. [40] Strabag SE, S. 96 f.

und die Annahmen, welche in der Preiskommission getroffen worden sind und die sonstigen bewerteten Chancen und Risiken in den Herstellkosten, unverändert. Zu klären ist, ob BGK, Baustelleneinrichtung, Hauptleistungen und Bruttomittelohn angepasst werden müssen. Ebenso sind die LV-Mengen mit den voraussichtlichen Ausführungsmengen (VA-Mengen) der Kalkulation durch die Projektleitung zu kontrollieren und anzupassen. Alle Unterschiede zwischen der AK0 und der AK1 müssen transparent dokumentiert werden. Bei einer Änderung der Bauzeit ist das Management in Kenntniss zu setzen und eine etwaige Genehmigung einzuholen.<sup>73</sup>

### **Laufende Arbeitskalkulation (AKn)**

Auf Basis der AK1 wird im regelmäßigen Abstand die laufende Arbeitskalkulation (AKn) gebildet. Sie stellt das derzeit geplante Ergebnis der Baustelle dar und ist die Basis für die periodische Leistungsmeldung, Erfolgsrechnung sowie den SOLL/IST-Vergleich. Ebenso dient die AKn zur Aktualisierung des Bauzeitplans. Dabei werden die Erkenntnisse während der Ausführung eingearbeitet, besonderes Augenmerk bekommen jene Leistungen, welche das Ergebnis des Projekts beeinflussen bzw. verändern.

Bei der laufenden Arbeitskalkulation sollen zum einen VA-Mengen aktualisiert werden und im Anlassfall müssen Berechnungsansätze sowie Bauverfahren dementsprechend abgeändert werden. Zusätzlich sind relevante Infos bzw. Erkenntnisse aus der Abwicklung des Projektes, aus der Vergabe an Nachunternehmer/Lieferanten, Nachträge an diese aufzunehmen. Ebenfalls gehen zu erwartende Vergabeverluste oder -gewinne und sonstige Leistungen bzw. Leistungen Dritter an Auftraggeber in die AKn ein. Ferner sollen nachträglich auftretende Chancen und Risiken miteinbezogen werden und bisher eruierte, überprüft und gegebenenfalls aktualisiert werden. Bei Nachträgen sind nur jene einzuarbeiten die vom AG genehmigt wurden. Alle nicht genehmigten Nachträge sind in den Erwartungen zwar zu berücksichtigen, jedoch hat das noch keinen Effekt auf das Baustellenergebnis. Eine gepflegte und korrekte Arbeitskalkulation ist die Grundlage für das Baustellencontrolling, welches rechtzeitig Fehlentwicklungen erkennt und gegebenenfalls Maßnahmen entwickelt. Ebenso dient sie als Grundlage für die Ermittlung der Ausgangsrechnungen an den Bauherrn.<sup>74</sup>

### **3.2.6 Projektabschluss**

Der Projektabschluss gliedert sich in vier Schritte und beinhaltet die Abnahme durch die interne Zustandsfeststellung und jene durch den Auftraggeber. des Weiteren beinhaltet sie die Schlussrechnung, das Projektschlussgespräch sowie das Mängelmanagement, welche nachfolgend näher beschrieben werden.

#### **Schlussrechnung**

Nach dem Projektende erstellt die Projekt-/Bauleitung innerhalb eines Zeitrahmens, welcher vertraglich abgestimmt wurde, die Schlussrechnung. Diese muss die gesetzlichen Rahmenbedingungen einhalten und beinhaltet die Mehrwertsteuer. Als Basis gilt die Summe der ausgeführten Leistung. Falls der AG die Summe der ausgeführten Leistung nicht in voller Höhe bezahlt oder nicht akzeptiert, muss ein schriftlicher Vorbehalt angemeldet werden. Im Bauvertrag sind die Fristen bezüglich der Aufstellung, Einreichung, Prüfung und der Zahlung geregelt. Nach erfolgreichem Abschluss des Bauprojekts muss ein Abschlussgespräch organisiert werden, welches kurz nach der Schlussrechnung durchgeführt werden soll.<sup>75</sup>

<sup>73</sup>Vgl. [40] Strabag SE, S. 101 f.f.

<sup>74</sup>Vgl. [40] Strabag SE, S. 124 f.

<sup>75</sup>Vgl. [40] Strabag SE, S. 162

### Projektschlussgespräch

Beim Projektschlussgespräch werden vom Management die benötigten Teilnehmer festgelegt. Für zukünftige Bauvorhaben soll jedenfalls die Kalkulation bei diesem Meeting anwesend sein. Die Basis dieses Gespräches sind die Unterlagen der Kalkulation und der Projektabwicklung. Anhand einer umfassenden Analyse sind einige wesentliche Fragen abzuhandeln. Zu diesen zählen zum Beispiel:<sup>76</sup>

- Ob das Projektziel (zeitlich, kostentechnisch und qualitativ) verwirklicht werden konnte?
- Ob sich Vertragsgrundlagen positiv oder negativ entwickelt haben?
- Ob eine korrekte Beurteilung der in der Angebotsphase bestimmten Chancen und Risiken stattgefunden hat bzw. wie die Entwicklung dieser verlaufen ist?
- Welche in der Angebotskalkulation angegebenen Leistungsansätze höher oder geringer eingetreten sind?
- Ob und welche relevanten Ergebnismotive positiver oder negativer Natur festgestellt wurden?
- Welche Abänderungen von Leistung und Termin auch ein differenziertes Ergebnis geliefert haben?
- Ob eine Verbesserung der Baustellenorganisation erfolgen hätte können und wenn ja, welche?
- Welche Controllinginstrumente benötigt wurden und ob damit eine erfolgreiche Baustellensteuerung ermöglicht wurde?
- Ob die Arbeitssicherheitsmaßnahmen umfangreich genug waren?
- Ob die Eliminierung auftretender Abnahmemängel rasch stattgefunden hat?
- Welche Erkenntnisse seitens Bau-/Projektleitung gewonnen werden konnten bzw. was zukünftig optimiert werden könnte?

Die Ergebnisse des Projektschlussgesprächs werden in einem standardisierten Formular niedergeschrieben und an die jeweiligen Beteiligten übergeben. Ebenso werden die Erkenntnisse in ein internes System hochgeladen. Dadurch soll eine stetige Verbesserung bei zukünftigen Bauvorhaben erzielt werden.

### Mängelmanagement

Jegliche festgestellte und durch den AG angezeigten Mängel in der Bauausführung müssen in ihrer Gesamtheit dokumentiert sowie im Laufe des Baufortschrittes aktualisiert werden. Somit müssen sie erfasst, kategorisiert, zugewiesen und dokumentiert werden. Dies geschieht mittels datenbankbasierter Systeme. Dabei ist vor der Sanierung der Mangel zu prüfen, ob ein berechtigter Anspruch auf Behebung besteht. Mängel werden nach dem zeitlichen Auftreten unterschieden, darunter fallen:<sup>77</sup>

**Mängel während der Bauausführung:** Diese Mängel treten im Laufe der Bauausführung auf und müssen noch vor der Abnahmebegehung behoben werden.

<sup>76</sup>Vgl. [40] Strabag SE, S. 169

<sup>77</sup>Vgl. [40] Strabag SE, S. 170

**Abnahmemängel:** Dies sind Mängel, die während der Abnahme durch den AG erfasst werden. Selbst verschuldete Mängel müssen umgehend behoben werden, wenn die Instandsetzung nicht unwirtschaftlich ist. Ansonsten kann der AN dem AG eine Preisminderung anbieten.

**Gewährleistungsmängel:** Darunter versteht man jene Mängel, die innerhalb der Verjährungsfrist entstanden sind. Sie müssen bis zum Ende der Gewährleistungsfrist behoben werden.

Die erfolgreiche Sanierung der Mängel ist schriftlich anzuzeigen. Um eine Verbesserung für zukünftige Bauvorhaben zu gewährleisten, werden alle Mängel dokumentiert, gesammelt und analysiert. Dadurch soll eine Reduktion von immer wieder auftretenden Mängeln erfolgen.

Jedes Bauunternehmen durchläuft somit im Laufe des Projektverlauf verschiedene Phasen bei der Kostenermittlung bzw. Preisermittlung. Um eine möglichst genaue Kostenermittlung zu gewährleisten sollten die Ausschreibungsunterlagen so präzise wie möglich sein. Wichtig im Prozesslauf der Ermittlung der Kosten im Bauunternehmen ist, dass keine Phasen ausgelassen oder übersprungen werden.

### 3.3 Zusammenfassung Kostenermittlung

*Bearbeitet durch Ömer und Schulter.*

Gegenständliches Kapitel zeigt die verschiedenen Stufen der Kostenermittlung aus Sicht des AG und Seitens des AN. Beginnend mit dem AG in Kap. 3.1 liegt der Fokus zuerst auf den verschiedenen Projektphasen nach ÖGG [24]. Mit den verschiedenen Projektphasen gehen unterschiedliche Berechnungsmethoden für Kosten, Risiken und Meilensteine einher. Anschließend findet eine Zerlegung der Projektkosten in differenzierte Kostenbestandteile Eingang. Dabei wird zwischen Basiskosten, Gleitung und Wertanpassung, Risikokosten und Vorausvalorisierung unterschieden. Anzumerken ist, dass vom AG berücksichtigte Risiken in den Basiskosten des AN wiederzufinden sind, dieser jedoch eigene Risikozuschläge einbringt. In Kap. 3.2 wird die Vorgehensweise der Kostenermittlung aus Sicht des AN erläutert. Dabei liegt der Fokus zuerst auf den verschiedenen Kalkulationsbestandteilen sowie den dafür herangezogenen Kostenarten. Im Rahmen der Kostenermittlung auftretende Kalkulationsschritte und damit einhergehende Kalkulationsarten werden mit Blick auf die im analytischen Teil dieser Arbeit benötigten Prozesse erläutert. Betrachtet man nun diese Kapitel als zwei Teile die im Falle der Vergabe an den AN bei einem Projekt aufeinander treffen, so stellt sich die Frage nach der tatsächlichen Kalkulierbarkeit von Chancen und Risiken für den AN. Wie soll es dem AN möglich sein Risiken differenziert und genau abzuschätzen, wenn selbst der AG, mit meist besserer Projektkenntnis, diese als pauschalen Zuschlag nach Abb. 3.4 berücksichtigt. Im Falle eines Tunnelprojekts liegt dieser pauschale Zuschlag bei 6 bis 21% für das Stadium der Ausschreibung. Hinzu kommt, dass der vom AG angesetzte Risikozuschlag dem AN in der Regel nicht bekannt ist. Es stehen sich somit zwei von einander unabhängige Ansätze des Risikomanagements gegenüber. Für den AG unerwartete bzw. im Vorfeld unberücksichtigte Kostensteigerungen können somit, neben Änderungen der Projektgegebenheiten und Dergleichen, durchaus auf Diskrepanzen im Risikomanagement der beiden Projektpartner zurückgeführt werden. Für den AN ergibt sich folgende Situation. Neben sämtlichen kalkulatorischen Annahmen und Ansätzen bedarf es Seitens des AN einer genauen Chancen- und Risikoabschätzung die optimalerweise jener des AG ähnlich ist und sich quantitativ deckt. Zusätzlich darf auf den Aspekt der Wettbewerbsfähigkeit eines vom AN gelegten Angebots nicht vergessen werden. Ist die soeben angemerkte Ähnlichkeit nicht vorhanden und mehrere Risiken realisieren sich, kommt es zu, für den AG unerwarteten, Kostensteigerungen die in weiterer Folge bei klassischen Einheitspreisverträgen zu einer Nachtragsthematik führen.

# Kapitel 4

## Projekt 0

Im folgenden Kapitel ist das für die detaillierte Betrachtung gewählte Projekt 0 zuerst näher beschrieben und anschließend analysiert. Im Zuge der Projektbeschreibung wird im Speziellen auf generelle Projektinformationen, Vortriebsart, Querschnitt, Geologie sowie neben dem Vortrieb anfallende Arbeiten, eingegangen. Anschließend findet eine Analyse des gegenständlichen Projekts hinsichtlich Kostenveränderungen im Zuge der Arbeitskalkulationsfortschreibung statt. Dabei werden die zur Verfügung gestellten Daten ausgehend von einer Kostenübersicht bis hin zu detaillierten Einzelfallbetrachtungen beleuchtet. Ziel ist die Identifizierung eingetretener Risiken, die zu einer Prognoseveränderung der Projektkosten führten.

Das Projekt 0 wurde in Abstimmung mit der Strabag AG gewählt. Begründet ist diese Wahl durch eine exzellente Datenstruktur, die sehr detaillierte Analysen erlaubt. Des weiteren bildet das gegenständliche Projekt einen großen Teil des tunnelbautechnischen Spektrums ab und eignet sich somit hervorragend für eine exemplarische Ausarbeitung. Neben den vor Projektbeginn bekannten Chancen und Risiken war im Vorfeld dieser Analyse bereits bekannt, dass sich infolge unerwarteter Ereignisse maßgebliche Änderungen im Bauablauf realisierten. Daher ist eine nachträgliche Betrachtung von großem Interesse.

### 4.1 Projektbeschreibung

*Bearbeitet durch Ömer.*

Dieses in Kanada befindliche Projekt umfasst, wie in Tab. 4.1 ersichtlich, in Summe 6.255 m Tunnel und dient zur Ableitung von in einer Kläranlage aufbereitetem Abwasser in den nahegelegenen Lake Ontario. Dabei werden 4.085 m Tunnel onshore (am Festland) und 2.170 offshore (im Seeboden) aufgeföhren. Im Zuge des Ausbaus der Kläranlage wurde auch dieses Projekt realisiert und umgesetzt. Speziell hervorzuheben sind die sehr geringe Überdeckung von 15,00 m – 50,00 m und das Unterfahren von Verkehrseinrichtungen, bewohntem Gebiet und des Seebodens. Gestartet wird aus einem vertikalen Startschacht mit einer Tiefe von 63 m. Nach dem 4.085 m langen onshore-Abschnitt teilt ein zur Inspektion gebauter Zwischenschacht die Vortriebsstrecke, anschließend folgt der 2.170 m lange offshore-Abschnitt im Seeboden. Entlang der letzten 300 m im offshore-Abschnitt wurden 18 vertikale Bohrungen zwischen Seegrund und Tunnelfirste hergestellt. Diese dienen der Wasserübergabe zwischen Tunnel und See.<sup>78 79</sup>

---

<sup>78</sup>Vgl. [34] Strabag AG, S. 1

<sup>79</sup>Vgl. [11] Hatch et al., S. 55 ff.

**Tab. 4.1:** Parameterübersicht Projekt 0 [34]

Bezeichnung	Parameter
Tunnellänge	6.255 m
Onshore	4.085 m
Offshore	2.170 m
Innendurchmesser	2,60 m
Außendurchmesser	3,60 m
Vortrieb	TBM-O
Überdeckung	15,00 m – 50,00 m

#### 4.1.1 Vortriebsart

In den Ausschreibungsunterlagen finden sich für das Projekt betreffende Vorgaben hinsichtlich angewandter Vortriebsmethode und damit einhergehende geometrische und prozesstechnische Spezifikationen:<sup>80</sup>

- Es ist kein Sprengvortrieb zulässig.
- Der Tunnel ist mit Hilfe einer TBM herzustellen, zusätzlich muss die verwendete Vortriebsmaschine Schutz vor losem und gebrächen Gestein bieten.
- Der Tunnel muss mittels sofortiger Stützmaßnahmen vor Bewegungen im Gebirge geschützt werden.
- Der Innendurchmesser muss mindestens 2,60 m betragen.
- Der Ausbruchdurchmesser muss mindestens 3,60 m betragen.
- Das Durchfahren enger Kurvenradien von bis zu 130 m muss möglich sein.
- Es ist mit Gaseinschlüssen zu rechnen.

Um diese Ansprüche zu erfüllen wurde eine gebrauchte TBM-O der US-amerikanischen Firma Robbins mit den geforderten Spezifikationen eingesetzt. Die in den Schächten benötigten Blindtunnel für Montage und Demontage der TBM-O wurden mittels Teilschnittmaschine, ausgehend von den Schächten, hergestellt.<sup>78</sup>

#### 4.1.2 Querschnitt

Der geplante Querschnitt weist einen Innendurchmesser von mindestens 2,60 m auf und ist durch eine 40 cm dicke Ortbetoninnenschale gestützt. Zum Schutz vor Verbruch war zwischen den Tunnelbögen eine Holzverkleidung geplant, an der anschließend die Innenschale kraftschlüssig betoniert werden sollte, siehe dazu Abb. 4.1. Im Zuge der Ausführung wurde jedoch in Absprache zwischen AG und AN auf eine Innenschalenkonstruktion ohne Holzverkleidung, dafür eine Sicherung mit Bereichsweise Spritzbeton, Anker und Baustahlgitter umgestellt.<sup>79</sup>

<sup>80</sup>Vgl. [12] Hatch et al., S. 9

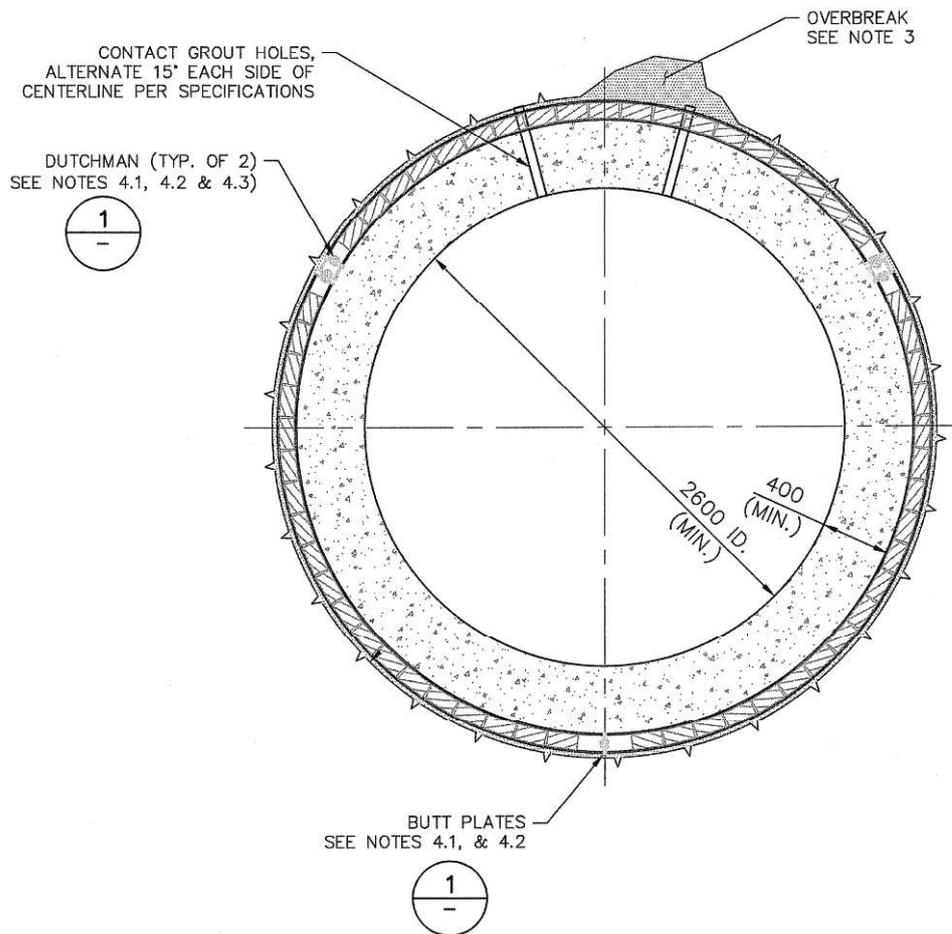


Abb. 4.1: Innenschale (Quelle: Hatch et al. [11, S. 55])

### 4.1.3 Geologie

Laut Hatch et al. [12] liegt das Projektgebiet primär in der Georgian Bay Formation, lediglich im Bereich des Startschachtes wird auch die der Georgian Bay Formation überlagerte Queenston Formation baulich angetroffen. Eine Darstellung dieser Situation ist Abb. 4.2 zu entnehmen. Bei der Georgian Bay Formation handelt es sich um schwachen bis mittelstarken Schiefer, welcher von starken bis sehr starken Kalkstein- und Schluffschichten durchsetzt ist. Die darüber befindliche Queenston Formation besteht aus homogenem Schiefer, welcher vereinzelt Schluff- und Kalksteinschichten aufweist. Im Bereich des Tunnels weist die Georgian Bay Formation eine einaxiale Druckfestigkeit von 22,70 MPa auf, der RQD Index ist mit einem Mittelwert von 96,30 % ausgewiesen. Betrachtet man die Bergwasserverhältnisse so zeigt sich ein für die Tunnelachse konstantes Bild. Auf der gesamten Vortriebslänge liegt der Grundwasserspiegel maximal 10 m unter Geländeoberkannte mit einer jährlichen Schwankungsbreite von  $\pm 3$  m und somit immer weit über der Tunnelfirste. In einigen wenigen Abschnitten wurde artesisch gespanntes Grundwasser angetroffen, diese Tatsache ist speziell für die Errichtung der beiden Schachtbauwerke von erheblicher Wichtigkeit.

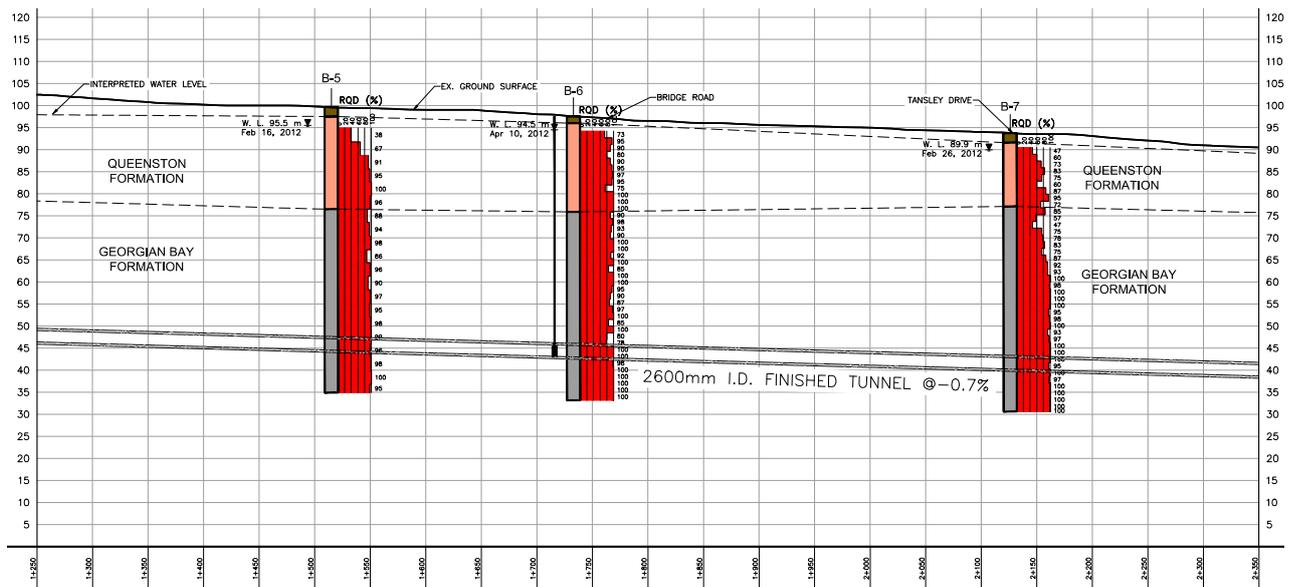


Abb. 4.2: Georgian Bay / Queenston Formation (Quelle: Hatch et al. [12, S. 57])

#### 4.1.4 Ergänzende Arbeiten zum Tunnelbau

Neben den maßgebenden Tunnelarbeiten bringt das gegenständliche Projekt umfassende Arbeiten in Zusammenhang mit den zwei vertikalen Schächten, dem Ausbau dieser und den 18 im offshore-Abschnitt notwendigen Bohrungen mit sich. Eine Übersicht über die maßgebenden Arbeiten gibt Tab. 4.2. Darin aufgelistet finden sich auch die Arten des vertikalen Verbaus sowie Tiefe und Innendurchmesser der beiden Schächte.<sup>78</sup>

Tab. 4.2: andere Arbeiten

Bauwerk	Tiefe	Innendurchmesser	Verbau Lockergestein (oberer Teil)	Verbau Festgestein (unterer Teil)
Startschacht	63 m	12 m	Aussteifung + Spritzbeton	Spritzbeton + Felsdübel
Zwischenschacht	55 m	6 m	Bohrpfähle überschnitten	Spritzbeton + Felsdübel

Bauwerk	Länge	Durchmesser
18 Vertikalbohrungen	~17 m	500 mm

## 4.2 Risikomanagement Projekt 0

Bearbeitet durch Ömer.

Die nun folgenden Punkte beschäftigen sich mit der generellen Vorgehensweise im Zuge der Risiko- bzw. Chancenidentifikation und Risiko- bzw. Chancenbeurteilung eines Tunnelbauprojekts der Strabag SE. Um den gesamten durchgeführten Prozess abzubilden, wird mit den von der Strabag SE festgelegten Ursachenkategorien begonnen, anschließend wird die im Zuge der Angebotsbearbeitung erstellte Risiko- und Chancenliste für das gegenständliche Projekt behandelt. In Abb. 4.3

ist der schematische Ablauf des Risikomanagement dargestellt. Die darin beinhalteten Elemente werden auf den folgenden Seiten näher erläutert.

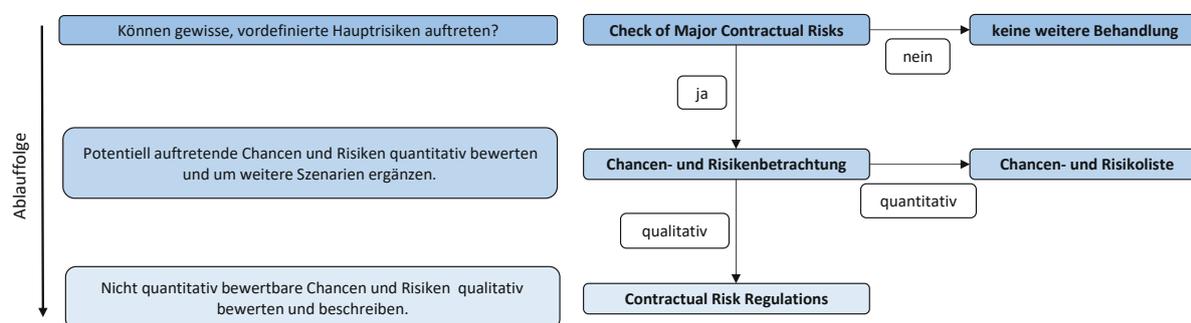


Abb. 4.3: Ablaufdiagramm Risikomanagement

### 4.2.1 Risikoursachenkategorien

Im Zuge des in der Strabag SE durchgeführten Risikomanagements werden sämtliche Risiken und Chancen in sogenannte Ursachenkategorien eingeteilt. Diese dienen primär der Übersicht und der gezielten Maßnahmensetzung. Sämtliche Ursachenkategorien können diversen Unterkategorien (1 – 11) und vier Hauptkategorien (A,B,C,D) zugeordnet werden.<sup>81</sup>

- A Kostenermittlung
  - 1 Bau-Soll
    - \* 01A Prüfung / Erfassung des technischen Leistungsumfangs
  - 2 Kalkulationsansätze
    - \* 02A Landesspezifische Rahmenbedingungen
    - \* 02B Ortsbesichtigung
    - \* 02C Auswahl Bauverfahren / Bauweisen
    - \* 02D Kostenansatz Baustellengemeinkosten
    - \* 02E Kostenansatz Nachunternehmer
    - \* 02F Kostenansatz Material
    - \* 02G Kosten- und Leistungsansatz gewerbliches Personal
    - \* 02H Kosten- und Leistungsansatz Geräte und Betriebsstoffe
- B Preisbildung
  - 3 Bewertung Bau-Soll und Kalkulationsansätze
    - \* 03A Bewertung Bau-SOLL
    - \* 03B Bewertung Kostenansatz Baustellengemeinkosten und sonstige Kostenansätze
    - \* 03C Bewertung Kostenansatz Nachunternehmer
    - \* 03D Bewertung Kostenansatz Material

<sup>81</sup>Vgl. [39] Strabag SE, S. 1

- \* 03E Bewertung Kosten- und Leistungsansatz gewerbliches Personal, Geräte und Betriebsstoffe
- 4 Bewertung sonstiger Chancen und Risiken
  - \* 04A Bewertung Auftraggeber, (ARGE-) Partner extern und sonstiger vertraglicher Bedingungen
  - \* 04B Bewertung sonstiger Angebotsüberlegungen
- 5 Festlegung Zuschläge, Nachlass, Skonto
  - \* 05A Bewertung Allgemeine Geschäftskosten
  - \* 05B Verhandlungsreserve, Nachlass, Skonto
  - \* 05C Zuschlag für Gewinn und U. Wagnis
- C Projektabwicklung
  - 6 Arbeitsvorbereitung
    - \* 06A Festlegung Baustellenorganisation / Baustellengemeinkosten
    - \* 06B Änderung Bauverfahren/ Bauweisen / Bau-SOLL
  - 7 Planungsmanagement
    - \* 07A Durchführung, Steuerung, Kontrolle Ausführungsplanung
  - 8 Beschaffung Nachunternehmer / Material
    - \* 08A Auswahl / Vergabe Nachunternehmer und Lieferanten / Material
  - 9 Projektsteuerung
    - \* 09A Nichteinhaltung gesetzlicher/ behördlicher Anforderungen, nicht versicherte Schadensfälle
    - \* 09B Planung, Steuerung, Kontrolle gewerbliches Personal
    - \* 09C Planung, Steuerung, Kontrolle Geräte und Betriebsstoffe
    - \* 09D Anzeige / Dokumentation von Leistungsabweichungen, Leistungsabrechnung / Nachtragsgestaltung
    - \* 09E Planung, Steuerung, Kontrolle Nachunternehmer und Lieferanten / Material
- D Projektabschluss
  - 10 Gewährleistung
    - \* 10A Mängelbehebung nach Abnahme
  - 11 Nachträge
    - \* 11A Kosten aus Nachträgen
    - \* 11B Aktivierte Erlöse und „Erlöserwartung“ aus nicht geregelten Nachträgen
    - \* 11C Erlöse aus geregelten Nachträgen

In der Risiko- und Chancenbeurteilung werden sämtliche Ursachenkategorien monetär bewertet. Negative Werte stellen demnach ein Risiko, positive eine Chance dar. Addiert man nun alle Risiken, so ergibt sich das prognostizierte Gesamtrisiko des Projekts. Ist es nicht möglich eine Ursachenkategorie monetär zu bewerten, wird diese lediglich als „identifiziert“ vermerkt.<sup>81</sup>

### 4.2.2 Risikoliste der Angebotserstellung zu Projekt 0

Im Zuge der Angebotserstellung für ein Bauvorhaben werden durch die Preiskommission, neben den klassischen Aufgaben, Risiken und Chancen zuerst erneut qualitativ und anschließend quantitativ weiter abgestimmt. Sämtliche nun folgende, das gegenständliche Projekt betreffende, Informationen wurden *Preis Komission Projekt 0 Tunnel Revision 2* [35] entnommen und sind aus datenschutzrechtlichen Gründen nicht mit Geldbeträgen versehen.

**Check of Major Contractual Risks:** Beginnend mit der Überprüfung sämtlicher Hauptrisiken, die sich durch den Bauvertrag ergeben, werden die in Tab. 4.3 dargestellten immer gleichen Fragestellungen evaluiert. Die für das gegenständliche Projekt festgelegten Antworten sind direkt beinhaltet und in Spalte 2 angeführt.

**Tab. 4.3:** Check of Major Contractual Risks [35]

Fragestellung	Beantwortung
<b>Contractual Basis</b>	
Is there an unusual governing law or place of jurisdiction?	not defined
Has the Contractor to accept unlimited liability?	not defined
Does the interpretation of the Employer prevail in case of contradictions or ambiguities in the contract?	NO
<b>Obligations of the Parties</b>	
Is the Contractor required to assure strict criterias (e.g. date of completion, price, quality)?	YES
Fit-for-purpose risk: Has Contractor's design and product to be fit-for-purpose?	not defined
Is it at Contractor's risk to be responsible for missing work items, not included in the Employer's requirements?	not defined
Does the Employer provide any payment guarantees or other forms of securities?	NO
Building permit risk: Is it Contractor's obligation to obtain the building permit?	NO
Design risk: Is the accuracy of the design or schematic design provided by the Employer at Contractor's risk?	NO
Are there any unusual technical standards to be met?	NO
Is the required technical state-of-the-art subject to change until final taking over without Contractor's entitlement to additional remuneration?	not defined
Can the Employer unilaterally enter into contracts with subcontractors or suppliers?	NO
Has the Contractor to coordinate third parties, which he has no contractual relationship with (advisors, tenants, neighbours, etc.)?	NO
Are there any warranty periods exceeding 10 years?	NO
<b>Interaction of the Parties</b>	
Have the works to be 100% (!) free of defects or shortcomings to achive taking over?	NO
<b>Deviation Management</b>	
Soil risk: Are unforeseeable adverse soil conditions at Contractor's risk?	NO
Is particularly contaminated soil at Contractor's risk?	NO
Do the areas handed over by the Employer contain any risk for the Contractor such as existing structures, foundations?	YES
Are changes in legislation at Contractor's risk?	not defined

Fortsetzung auf der nächsten Seite

**Tab. 4.3:** Check of Major Contractual Risks (Fortsetzung)

Fragestellung	Beantwortung
Is <i>force-majeure</i> at Contractor's risk?	partially
In case of approved extension of time: Is there a compensation of related cost?	partially
In case of amendments, variations, or change orders: Are there any limitations regarding the compensation of Contractor's cost?	NO
Has the Contractor to accept liquidated damages above 15% of the contract price or even without any limit?	YES
Has the Contractor to provide any liabilities, regardless of the party at fault (e.g. penalty or liability for damages to adjacent assets)?	NO
In case of outstanding work or defects: Is the Employer allowed to carry out remedial measures without prior instruction to correct?	NO
<b>Conflict Management</b>	
Are disputes decided under unusual arbitration conditions (e.g. local arbitration comitee)?	NO
In case of termination for convenience by the Employer: Is there a compensation of all related Contractor's cost?	not defined
Can the Contractor terminate the contract if the Employer fails to perform his obligations under the contract (e.g. delayed payment)?	YES

**Chancen und Risiken Betrachtung:** Nach der erfolgten Durchführung des *Check of Major Contractual Risks* werden die mit YES beantworteten Punkte um weitere potentielle Szenarien ergänzt. Daher werden diese näher beleuchtet und wenn möglich wahrscheinlichkeitstechnisch sowie monetär bewertet. Dabei ergeben sich unbewertete und bewertete Beträge. Unbewertete Geldbeträge berücksichtigen keinerlei Eintrittswahrscheinlichkeit, dem gegenüber ergeben sich bewertete Beträge aus dem Produkt von Eintrittswahrscheinlichkeit und unbewertetem Betrag.

$$\text{Bewertet} = \text{Eintrittswahrscheinlichkeit} * \text{Unbewertet} \quad (4.1)$$

Das Ergebnis dieser Vorgehensweise ist die Risiko- und Chancenliste. Die durch die Preiskommission der Strabag AG erarbeitete Liste für das gegenständliche Projekt ist in Tab. 4.4 ersichtlich. Sämtliche Geldbeträge werden in dieser Darstellung aus datenschutzrechtlichen Gründen mit CAD ersetzt. Dabei steht CAD für kanadische Dollar und repräsentiert die Landeswährung.

**Tab. 4.4:** Chancen- und Risikoliste [35]

<b>Chancen</b>	<b>Eintrittswahrscheinlichkeit</b>	<b>Unbewertet</b>	<b>Bewertet</b>
Substituierung des Schachtausbaues mit Fertigteilen (Innenschale)	10%	CAD	0,10 x CAD
Preisnachlass TBM	100%	CAD	1,00 x CAD

<b>Risiken</b>	<b>Eintrittswahrscheinlichkeit</b>	<b>Unbewertet</b>	<b>Bewertet</b>
Stahlring mit 100% Holzbausbau (Erhöhung der Erstsicherungsmaßnahmen)	25%	CAD	0,25 x CAD
Nicht gedeckelte Vertragsstrafe; 5,000 \$/AT	10%	CAD	0,10 x CAD
Szenario starker Wasserzutritt in Tunnel (500 L/min)	25%	CAD	0,25 x CAD
Forcierung der Leistung durch Samstagsarbeit	30%	CAD	0,30 x CAD
Unvorsehbares Ereignis	10%	CAD	0,10 x CAD

Nach erfolgtem *Check of Major Contractual Risks* und der *Chancen und Risiken Betrachtung* werden die *Contractual Risk Regulations* betrachtet. Dabei findet eine qualitative Bewertung der in der zugrundeliegenden Richtlinie beinhalteten Fragestellungen statt. Folgende Punkte finden dabei Anwendung:

- Unforeseeable sub surface conditions, underground installations
- Contamination, Waste Management Act
- Archaeology
- Exceptional weather, flooding
- Interests of neighbours and citizens
- Intellectual property rights, patents
- Risk of completeness
- Special additional services
- Preliminary work
- Pre-construction design work
- Function risk
- Change of Law – Clause
- (technical) parameters
- Contradictions in the contract
- Risk assumption / acts of God (Force Majeure)
- Risk assumption for third parties
- Changes to taxes and duties
- Start of operations before operational handover
- Particular legal risk

- Client's legal successor
- Contesting the contract
- Possibility for withdrawal and termination and the consequences
- Due-diligence and duty to warn
- Scheduling risks for agreed upon deadlines
- Client's right to inspection and of participation
- Other unusual clause

Sämtliche bereits in der Risiko- und Chancenliste berücksichtigten Punkte werden nicht näher qualitativ betrachtet.

Das nun vollständig abgebildete Risikomanagement der Strabag SE beginnt also mit der grundsätzlichen Frage, ob gewisse Risiken, aber auch Chancen, überhaupt auftreten können (Check of Major Contractual Risks). Im nächsten Schritt wird versucht die potentiell vorhandenen Chancen und Risiken mittels der Chancen und Risiken Betrachtung quantitativ zu bewerten und um weitere Szenarien zu ergänzen. Gelingt diese quantitative Bewertung nicht, so werden identifizierte Punkte in den *Contractual Risk Regulations* qualitativ betrachtet und beschrieben.

### 4.3 Grobanalyse Projekt 0

*Bearbeitet durch Schulter.*

*Anmerkung der Autoren: Da die zur Verfügung gestellten Daten und Informationen nicht sämtliche Fragestellungen restlos aufklären, werden an derartigen Stellen von den Autoren Schlussfolgerungen und Interpretationen angestellt.*

Die in diesem Kapitel behandelten Übersichtsdiagramme sind auf Basis von der Strabag AG zur Verfügung gestellten Daten erstellt worden. Dabei werden IST- (tatsächlich aufgetretene Kosten) und SOLL-Kosten (kalkulatorisch ermittelte Kostenprognose) verglichen. Es findet jeweils eine Unterscheidung in die bereits in Kapitel 3.2.1 beschriebenen Kostenarten statt. Eine positionsweise Betrachtung nach dem Leistungsverzeichnis bzw. ein Vergleich auf Basis von Gewerken oder einzelnen Bauwerken würde eine durchgängige, konsistente Betrachtung unmöglich machen. Des Weiteren ist anzumerken, dass in die Diagramme der Kalkulationsverläufe lediglich Werte und Daten der AKn eingehen und der Ausgangswert der AK0 darin nicht ersichtlich ist. Diese strikte Trennung zwischen AK0 und AKn wurde im Sinne der Lesbarkeit von Diagrammen und Abbildungen gewählt. Außerdem sehen die Autoren die AK0 als eigenständigen Kalkulationsschritt, der als Basis für die AKn dient.

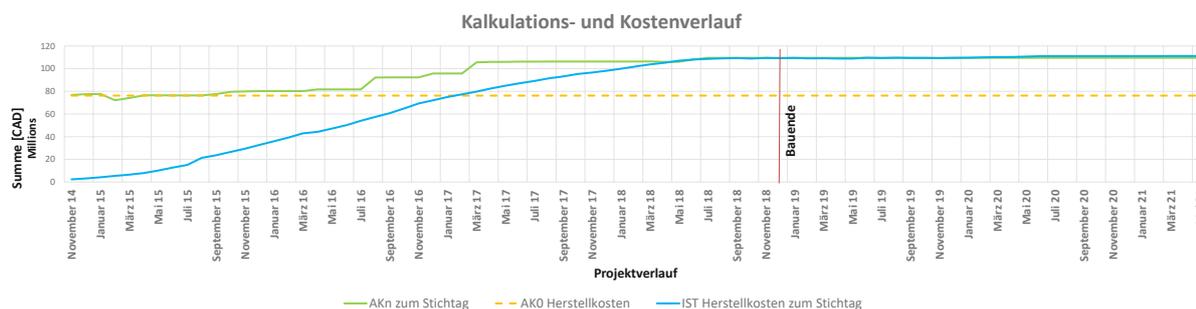


Abb. 4.4: Kalkulations- und Kostenverlauf

Das in Abb. 4.4 ersichtliche Diagramm zeigt den Verlauf der IST-Kosten im Vergleich zur AKO und der AKn. Anzumerken ist, dass es sich beim dargestellten Bauende um das tatsächliche, sämtliche Verzögerungen beinhaltende, Ende der Bautätigkeiten handelt. Dieses wird mit Beginn Dezember 2018 angegeben, sämtliche nachfolgende Tätigkeiten beschränkten sich auf nicht die explizite Bautätigkeit betreffende, meist abrechnungsbezogene Aufgaben. Gut ersichtlich ist, dass schon im September 2015 eine Überschreitung der AKO-Summe erwartet wurde und im Jänner 2017 tatsächlich eingetreten ist. Sprunghafte Verwerfungen in der AKn-Summe sind zwischen Juli 2016 und März 2017 erkennbar. Diese sprunghaften Erhöhungen sind jedoch im Ist-Kostenverlauf nicht abgebildet, der plötzliche Eintritt von Einmalkosten kann somit als Ursache für diese Verwerfungen ausgeschlossen werden. Speziell hervorzuheben ist die Tatsache, dass bereits mit März 2017 eine relativ genaue Prognose der Projektgesamtkosten erstellt werden konnte.

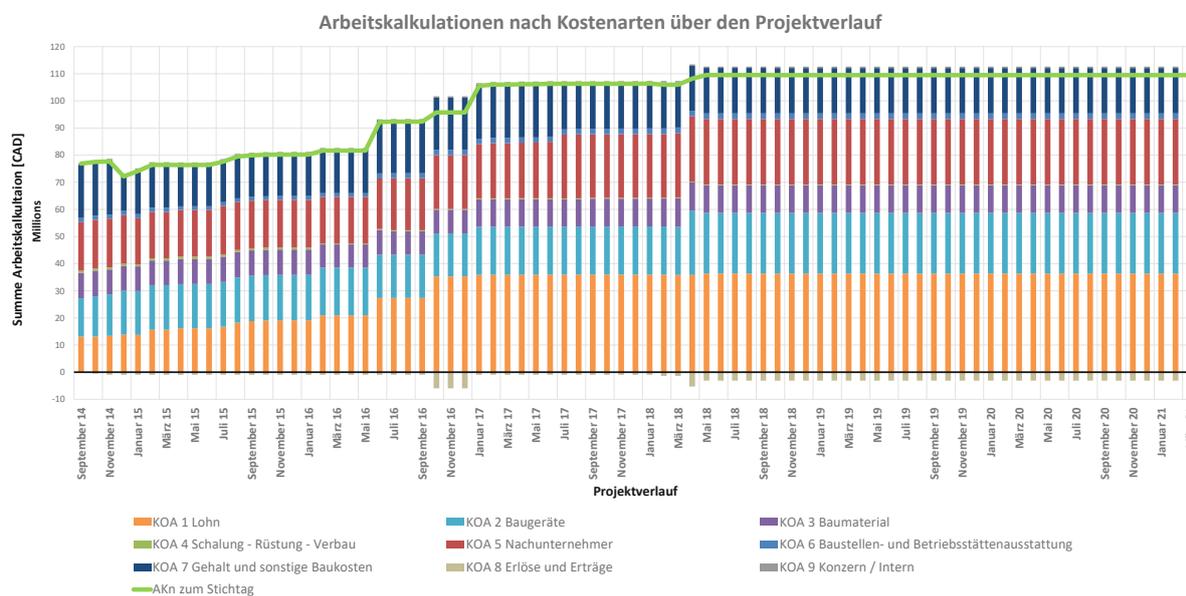


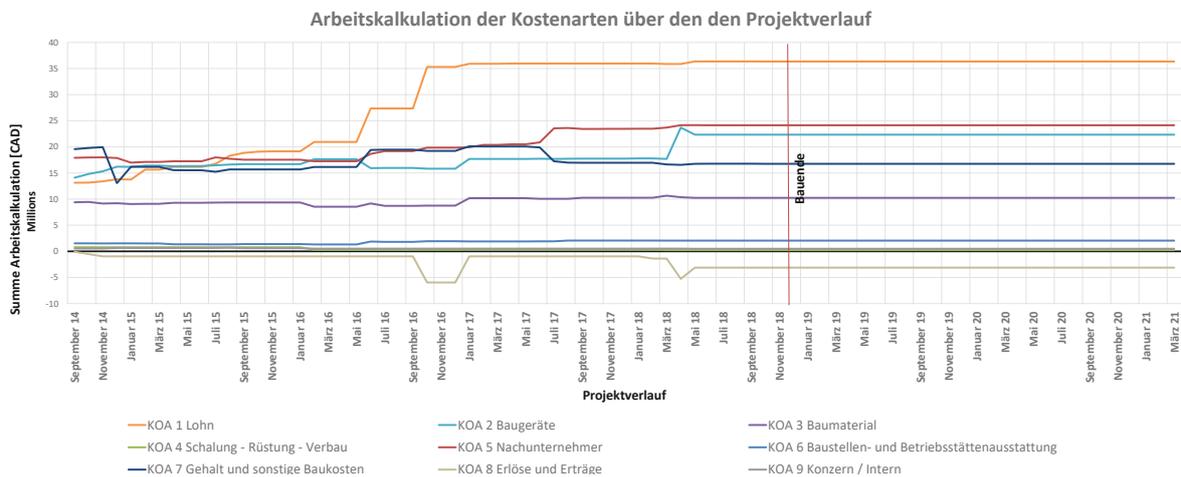
Abb. 4.5: Arbeitskalkulation nach Kostenarten im Projektverlauf

Abb. 4.5 zeigt die kumulierte Gesamtsumme der AKn nach Kostenarten getrennt. Dabei ist ersichtlich, dass speziell zu Beginn die Gesamtsumme primär durch folgende fünf Kostenarten entsteht:

- Kostenart 1: Lohn

- Kostenart 2: Baugeräte
- Kostenart 3: Baumaterial
- Kostenart 5: Nachunternehmer
- Kostenart 7: Gehalt und sonstige Baukosten

Die verbleibenden vier Kostenarten spielen eine untergeordnete Rolle, lediglich KOA 8 ist hervorzuheben. Dabei handelt es sich, wie bereits in Kapitel 3.2.1 angeführt, um Erlöse und Erträge. KOA 8 reduziert somit die Gesamtsumme, ersichtlich speziell in den Zeiträumen Oktober 2016 bis Dezember 2016 und ab April 2018. Die wohl im Bezug auf die Absolutzahlen wichtigste Kostenart, betrachtet man das gegenständliche Diagramm, ist KOA 1. Bereits zu Beginn ist diese Teil der fünf maßgebenden Kostenarten und verbucht, verglichen mit den anderen Kostenarten, den in Absolutzahlen größten Zuwachs über den gesamten Projektverlauf. Bemerkenswert ist jedoch, dass sämtliche Zuwächse vor Oktober 2016 passieren und danach die Linie annähernd konstant horizontal verbleibt.

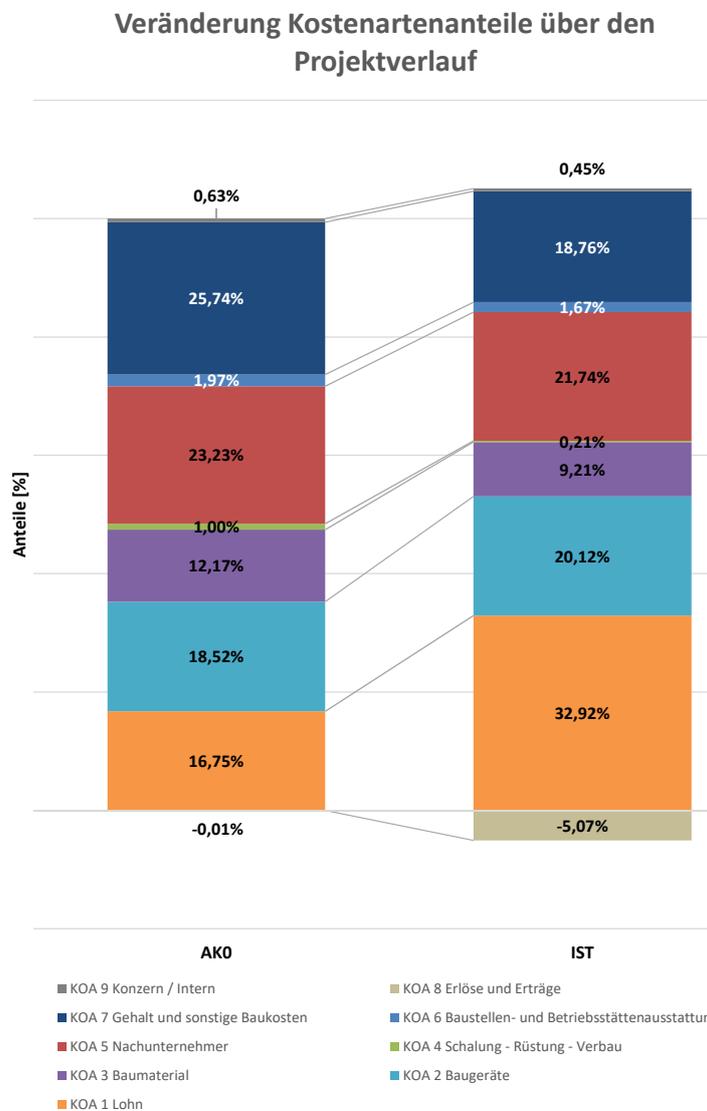


**Abb. 4.6:** Arbeitskalkulation der Kostenarten im Projektverlauf

Betrachtet man, wie in Abb. 4.6 dargestellt, die AKn-Gesamtsumme nach Kostenarten getrennt und deren einzelne Verläufe, so wird ersichtlich, dass sich eine Teilung des Projektverlaufs in vier Zeitbereiche anbietet. Zeitbereich 1 erstreckt sich von September 2014 bis etwa November 2014 und zeigt meist sehr kleine Veränderungen in den Kalkulationssummen. Zeitbereich 2 beginnt im Dezember 2014 mit einem starken Sprung nach unten in KOA 7 und einer danach folgenden Korrektur zurück nach oben. Bis Mai 2016, abgesehen von einigen kleinen Änderungen in KOA 1, sind keine weiteren großen Korrekturen ersichtlich. Betrachtungszeitraum 3 beginnt im Juni 2016 mit Sprüngen seitens KOA 1 und KOA 7 und endet mit Veränderungen von KOA 2 und KOA 8 im Mai 2018. Über den gesamten Zeitraum weist Bereich 3 die größten Verwerfungen über alle Kostenarten hinweg auf. Der vierte und letzte Zeitbereich beginnt mit Juni 2018 und somit rund ein halbes Jahr vor dem offiziellen Bauende. In dieser Phase und auch danach gab es keine weiteren Anpassungen der AKn.

Betrachtet man nun die Linien der Verläufe einzeln, so fällt eine sich zwischen den Kostenarten 5 und 7 einstellende Wechselwirkung auf. Speziell von Jänner 2015 bis Mai 2016 und ab August 2016 ist dies in den Linien klar erkennbar. Da es sich bei KOA 5 um Kosten der Nachunternehmer und bei KOA 7 um Gehälter und sonstige Baukosten handelt, ist ein direkter Zusammenhang

auf den ersten Blick nicht erkennbar. Eine Erklärung bietet jedoch die Tatsache, dass die Kosten für Rückstellungen (Chancen und Risiko) in KOA 7 beinhaltet sind. Es könnte sich somit um immer wieder getätigte Anpassungen das Nachunternehmerrisiko betreffend handeln.



**Abb. 4.7:** Veränderung der Kostenartenanteile

Die in Abb. 4.7 abgebildete anteilmäßige Betrachtung der Gesamtkosten zeigt, dass sich der Anteil an den Gesamtkosten der Kostenarten 1, 2 und 8 über den Projektverlauf erhöht hat. Alle verbleibenden verringerten demnach ihren Anteil. Dies bedeutet jedoch nicht, dass diese Kostenarten die errechnete AK0-Summe nicht übersteigen können. Bemerkenswert ist jedoch die Verdoppelung von 16,75 auf fast 33% bei KOA 1. Ermöglicht wird das unter anderem durch den negativen Anstieg des Anteils von KOA 8. Das ist insofern schlüssig, da es sich bei KOA 8 um Erlöse und Erträge und somit quasi um Einnahmen handelt. Eine Betrachtung der Gesamtkosten auf Basis dieses Diagramms würde den Schluss zulassen, dass lediglich KOA 1 (Lohn) große Veränderung aufweist und alle anderen Kostenarten sich im Rahmen des Kalkulierten bewegten. Diese Schlussfolgerung ist jedoch nicht richtig und bedarf einer genaueren Betrachtung der Kalkulationsverläufe nach Kostenarten getrennt. Möglich ist das, da Diagramme dieser Art

lediglich den Anteil an der Gesamtsumme wiedergeben. Berücksichtigt wird jedoch nicht die Tatsache, dass wenn sich die Gesamtsumme erhöht, einzelne Kostenarten Steigerungen verzeichnen können ohne, dass dies in ihrem Anteil am Gesamten ersichtlich wird. Eine Feinanalyse wird im folgenden Kap. 4.4 durchgeführt.

## 4.4 Feinanalyse Projekt 0

*Bearbeitet durch Ömer.*

Beginnend mit den einzelnen Kostenarten wird darauf abgezielt in diesem Kapitel mit Hilfe von Mittelwert, Standardabweichung und Varianz die Veränderungen in den Kalkulationsvorgängen in einen mathematischen Kontext zu setzen. Anschließend wird in Abb. 4.18 nach Störstellen im Verlauf der AKn gesucht. Identifizierte Störstellen werden auf Basis der einzelnen Kostenarten analysiert und in sogenannte Analysepunkte (AP) überführt. Für jeden dieser Punkte werden Ursachen für relevante Änderungen in den Kostenprognosen gesucht. Damit bildet dieses Kapitel die Grundlage für den in Kapitel 4.5.1 angestrebten Vergleich der prognostizierten und realisierten Chancen und Risiken. Des Weiteren ist anzumerken, dass in den Diagrammen der Kalkulationsverläufe lediglich Werte und Daten der AKn eingehen und der Ausgangswert der AK0 darin nicht ersichtlich ist. Diese strikte Trennung zwischen AK0 und AKn wurde im Sinne der Lesbarkeit von Diagrammen und Abbildungen gewählt. Zudem, sehen die Autoren die AK0 als eigenständigen Kalkulationsschritt, der als Basis für die AKn dient.

Um Mittelwert, Standardabweichung und Varianz für die Abweichungen der AKn bezogen auf die AK0 zu berechnen, bedarf es einer mathematischen Präzisierung der eben genannten Abweichung zwischen den Kalkulationen. Im Kontext dieser Arbeit wird unter Abweichung der AKn bezogen auf die AK0 die prozentuelle Über- oder Unterschreitung der laufende Arbeitskalkulation mit der Arbeitskalkulation 0 als Basis verstanden. Mathematisch kann das mit Formel 4.2 ausgedrückt werden:

$$x_n = \frac{(AKn - AK0)}{AK0} \quad (4.2)$$

$x_n$  Veränderungswert zur AK0

Monatlich gibt es also für alle in Kap. 3.2.1 angeführten Kostenarten einen derartigen Veränderungswert in Prozent. Mittels dieser Werte werden für jede Kostenart über die gesamte Baudauer (November 2014 bis Dezember 2018) Mittelwert, Standardabweichung und Varianz errechnet. Diese Parameter werden anschließend in Kapitel 5 zur Beurteilung des Kalkulationsverlaufs herangezogen. Der Mittelwert  $\mu$  ergibt sich aus Formel 4.3, die zugehörige Standardabweichung  $\sigma$  aus Formel 4.4 und die Varianz  $\sigma^2$  aus Formel 4.5.

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (4.3)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2} \quad (4.4)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2 \quad (4.5)$$

$\mu$  Mittelwert

$\sigma$  Standardabweichung

$\sigma^2$  Varianz

$x_i$  Veränderungswert

$n$  Anzahl Veränderungswerte

**Definition Mittelwert:** Unter dem Mittelwert versteht man den statistischen Durchschnittswert einer definierten Anzahl an Werte. Zur Berechnung werden sämtliche Werte addiert und durch die Anzahl aller Werte dividiert.<sup>82</sup>

**Definition Standardabweichung:** Vereinfacht kann die Standardabweichung als die durchschnittliche Abweichung aller Werte von deren gemeinsamen Mittelwert angesehen werden. Es handelt sich somit um eine Streubreite um den Mittelwert.<sup>83</sup>

**Definition Varianz:** Bei der Varianz handelt es sich um ein Streuungsmaß, das die Verteilung um den Mittelwert beschreibt. Das Quadrat der Standardabweichung bildet die Varianz.<sup>84</sup>

### Systematik Mittelwert und Standardabweichung

Da es sich bei den in die Mittelwertberechnung eingehenden Werten um Kalkulationswerte der AKn handelt, sind Mittelwert und Standardabweichung als Kennwerte für den Kalkulationsverlauf zu sehen. Sie geben keine Information über die tatsächlich eingetretenen IST-Kosten. Ein Mittelwert größer Null bedeutet, dass der Kalkulationsverlauf über die gesamte Baudauer vorrangig über der AK0-Summe liegt. Analog dazu bedeutet ein negativer Mittelwert, dass die AK0-Summe meist vom Kalkulationsverlauf unterschritten wird. Das Vorzeichen des Mittelwertes gibt jedoch keine Auskunft, ob der letzte Wert im Rahmen der AKn unter oder über der AK0-Summe liegt. Die Standardabweichung ist als Maß für die Volatilität des Kalkulationsverlaufes zu sehen. Sie gibt an wie stark die einzelnen Kalkulationswerte durchschnittlich vom errechneten Mittelwert abweichen. Da es sich bei der Standardabweichung nach Formel 4.4 um eine Gleichung mit Potenzen zweiten Grades handelt, ist das Vorzeichen nicht eindeutig bestimmbar. Daraus ergibt sich, dass die Standardabweichung  $\pm$  um den Mittelwert pendelt.

Die nun folgenden Diagramme bilden für jede der neun Kostenarten die Werte der AKn, den IST-Kostenverlauf und den zu Projektbeginn ermittelten Wert der AK0 ab. Ferner werden dem jeweiligen Diagramm folgend die bereits erwähnten mathematischen Kennwerte Mittelwert, Standardabweichung und Varianz angeführt.

<sup>82</sup>Vgl. Statista [31])

<sup>83</sup>Vgl. Statista [32])

<sup>84</sup>Vgl. Statista [33])

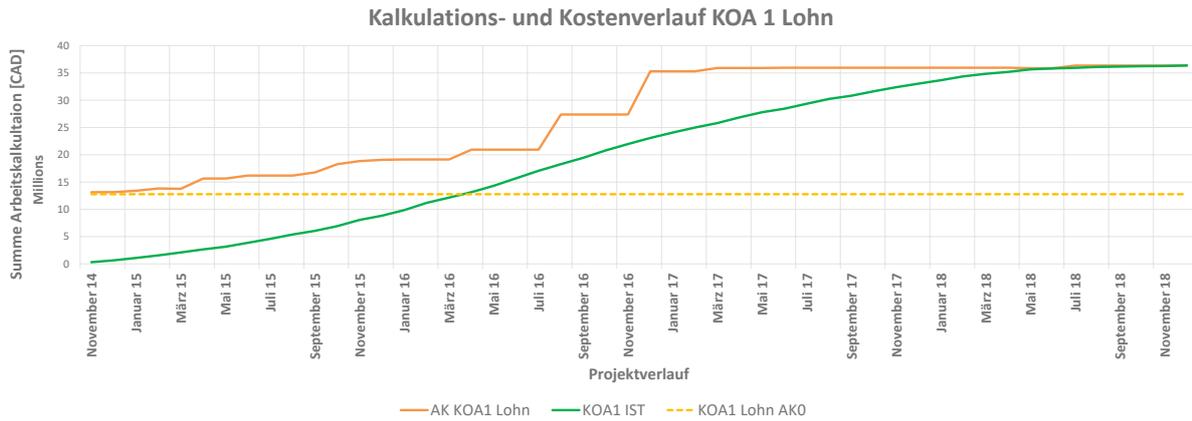


Abb. 4.8: Kalkulations- und Kostenverlauf KOA 1

**Kostenart 1 – Lohn in Abb. 4.8**

weist im AKn-Verlauf eklatante Sprünge nach oben auf, ehe sich ab März 2017 eine bis zum Bauende 2018 fast horizontale Linie einstellt. Speziell hervorzuheben ist der Vergleich zwischen AK0 und den IST-Kosten, wobei es sich bei den IST-Kosten um annähernd das Dreifache der prognostizierten Kosten laut AK0 handelt. Der Ist-Kostenverlauf gibt die im AKn-Verlauf ersichtlichen massiven Sprünge nicht wieder und verläuft relativ glatt. Dies lässt darauf schließen, dass über die gesamte Projektdauer gewerbliche Personalkapazitäten stetig und nicht sprunghaft auf- bzw. abgebaut wurden. Plötzlicher, großer und vor allem unvorhergesehener Personalbedarf ist aus diesem Verlauf nicht ableitbar.

**Mittelwert:** 114,49%

**Standardabweichung:** 71,53%

**Varianz:** 52,21%

KOA 1 weist im Vergleich zu den restlichen Kostenarten die größten Werte für Mittelwert, Standardabweichung und Varianz auf. Dies deckt sich mit der Tatsache, dass KOA 1 für die größte Abweichung, in Absolutzahlen gesehen, verantwortlich ist. Da die Standardabweichung von 71,53% weit geringer als der angegebene Mittelwert von 114,49% ist, kann es sich bei sämtlichen Veränderungswerten fast ausschließlich um Abweichungen nach oben handeln.

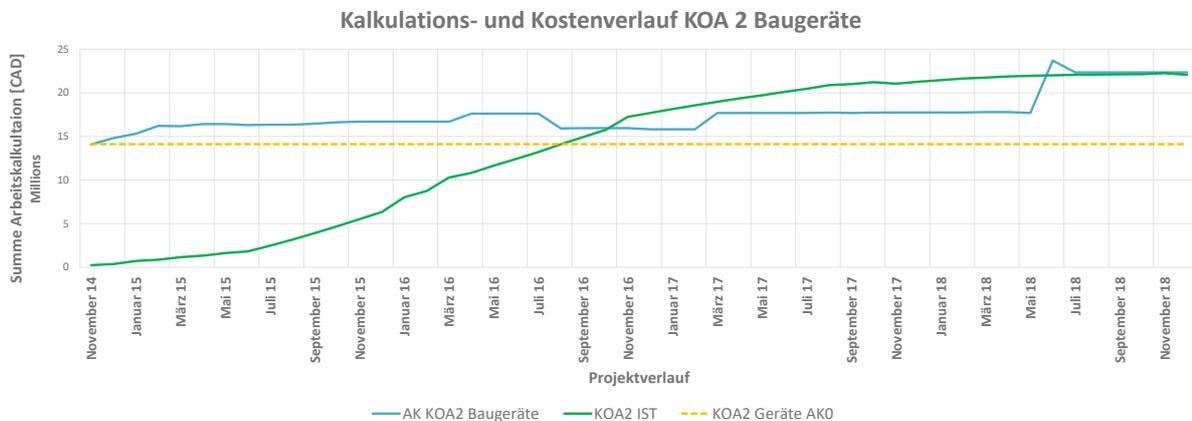


Abb. 4.9: Kalkulations- und Kostenverlauf KOA 2

### Kostenart 2 – Baugeräte in Abb. 4.9

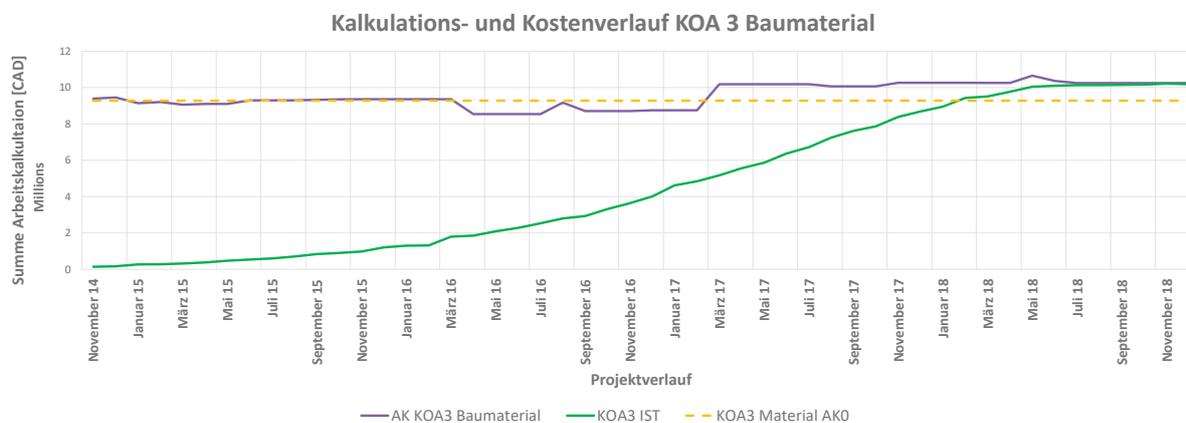
weist im AKn-Verlauf durchaus markante Sprünge auf, diese bewegen sich jedoch bis Mai 2018 in einem überschaubaren Korridor. Erst mit Juni 2018 gibt es einen sehr steilen Sprung nach oben. Vergleicht man den Verlauf der AKn mit dem IST-Kostenverlauf wird ersichtlich, dass sich mit spätestens Oktober bzw. November 2016 die AKn und die IST-Kosten kreuzen. Da es sich bei der AKn um eine Kostenprognose bis zum Projektende handelt, können, im Falle einer korrekten und fortgeschriebenen AKn, zu keinem Zeitpunkt die IST-Kosten die AKn-Summe überschreiten. Das lässt den Schluss einer zu diesem Zeitpunkt nicht fortgeschriebenen AKn zu. Erst ab Juni 2018 werden die IST-Kosten von den prognostizierten Kosten der AKn wieder überstiegen. Eine im Juli 2018 getätigte Korrektur der AKn-Summe nach unten gleicht die beiden Verläufe an. Betrachtet man die Form der IST-Kostenkurve wird speziell im Vergleich zur Kurve der KOA 1 ersichtlich, dass KOA 2 weit ausgeprägtere Knicke aufweist. Dies kann der Tatsache geschuldet sein, dass es sich in einem rein monetären Kontext, bei Baugeräten im Vergleich zu Arbeitnehmern meist um eine geringere Anzahl an teureren Elementen handelt. Dies hat bei Änderungen größere Verwerfungen in den Kalkulationskurven zur Folge.

**Mittelwert:** 24,72%

**Standardabweichung:** 15,40%

**Varianz:** 2,42%

KOA 2 weist den zweitgrößten Mittelwert auf. Standardabweichung und Varianz sind deutlich geringer als jene von KOA 1 und befinden sich in etwa im Bereich der anderen Kostenarten. Dies erlaubt die Interpretation, dass es sich hauptsächlich um kleine Sprünge innerhalb eines Korridors handelt, der eher große Mittelwert bestätigt die im Vergleich zur AK0 erhöhte Lage dieses Korridors.



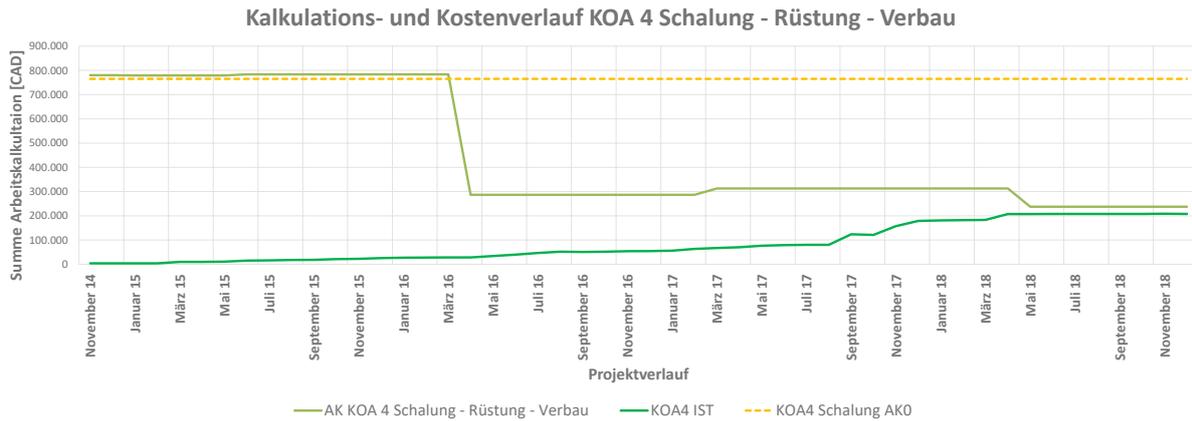
**Abb. 4.10:** Kalkulations- und Kostenverlauf KOA 3

### KOA 3 – Baumaterial in Abb. 4.10

pendelt fast über die gesamte Baudauer um den in der AK0 bestimmten Prognosewert, erst mit März 2017 wurde eine Kostensteigerung in der AKn berücksichtigt. Diese Steigerung stellte sich danach relativ genau ein und bestätigt eine sehr präzise Kalkulation für KOA 3. Bemerkenswert ist die Tatsache, dass sowohl im Zeitraum von Juli 2016 bis September 2016, als auch von April 2018 bis Juni 2018, Erhöhungen der AKn-Summe berücksichtigt wurden, man diese jedoch im Folgemonat direkt revidierte. Gründe dafür könnten Umstandsänderungen im Projektverlauf und ein anschließend erfolgreich durchgeführtes Value Engineering sein. Analog zu KOA 2 weist auch der IST-Kostenverlauf von KOA 3 Knicke auf.

<b>Mittelwert:</b>	3,20%
<b>Standardabweichung:</b>	6,88%
<b>Varianz:</b>	0,48%

KOA 3 weist, lediglich die positiven Werte betrachtet, den kleinsten Mittelwert, kleinste Standardabweichung sowie Varianz auf. Vergleicht man sämtliche Kostenarten, ist ersichtlich, dass es sich bei KOA 3 um die mit der geringsten Abweichung kalkulierte Kostenart handelt.



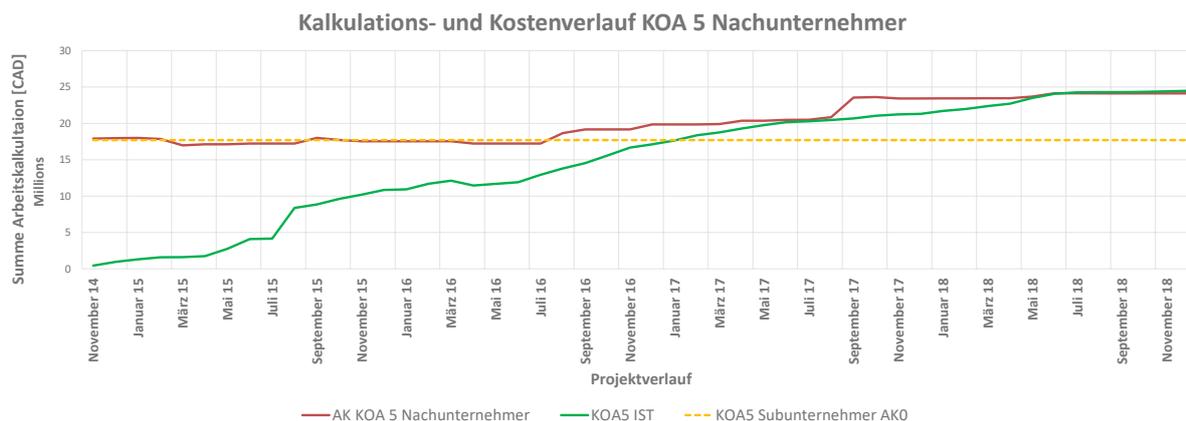
**Abb. 4.11:** Kalkulations- und Kostenverlauf KOA 4

#### KOA 4 – Schalung – Rüstung – Verbau in Abb. 4.11

ist durch eine eklatante Unterschreitung der kalkulierten AK0-Summe gekennzeichnet. Erkannt wurde dies bereits sehr früh im Projektverlauf. Die im Zuge der Fortschreibung eingepflegte Reduktion der AKn-Summe realisierte sich zum Bauende hin sehr präzise. Die Ursache für eine solch sprunghafte Veränderung nach unten kann eventuell in einem geänderten Bauablauf bzw. an einem geänderten Bauverfahren, für beispielsweise die Tunnelinnenschale, liegen. Betrachtet man den IST-Kostenverlauf, wird ersichtlich, dass KOA 4 primär in der zweiten Projekthälfte bzw. gegen Bauende auftritt. Dies ist durchaus repräsentativ für einen im Hartgestein maschinell hergestellten Tunnel und spiegelt den üblichen Bauablauf einer derartigen Baustelle wieder.

<b>Mittelwert:</b>	-40,60%
<b>Standardabweichung:</b>	30,88%
<b>Varianz:</b>	9,73%

KOA 4 weist mit -40,60% den niedrigsten Mittelwert und mit 30,88% die zweitgrößte Standardabweichung auf.



**Abb. 4.12:** Kalkulations- und Kostenverlauf KOA 5

### KOA 5 – Nachunternehmer in Abb. 4.12

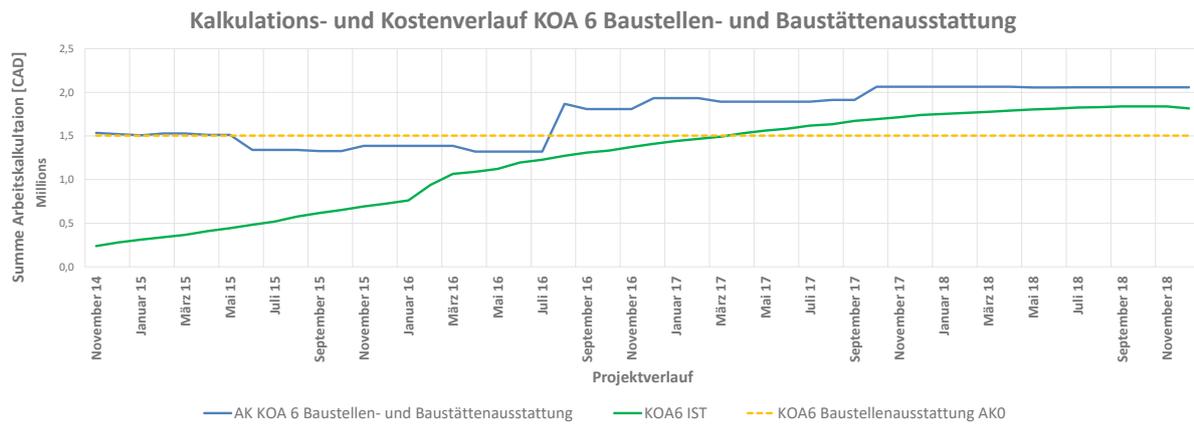
ist durch einen zu Projektbeginn immer wieder leicht adaptierten, jedoch niemals stark ausschlagenden Kalkulationsverlauf gekennzeichnet. Ab Juli 2016 sind hingegen größere Korrekturen in der AKn erkennbar. Dies könnte auf erhöhte Subunternehmerpreise oder aber auf ursprünglich als Eigenleistung geplante und nun als Subleistung ausgeführte Arbeiten zurückzuführen sein. In Anbetracht zusätzlicher Subleistungen müssten jedoch diverse Korrekturen nach unten in anderen Kostenarten im selbigen Zeitraum erkennbar sein. Eine detaillierte Begründung ist in diesem Teil der Arbeit durch die große Anzahl an Sprüngen und Knicken in den Kalkulationsverläufen allerdings nicht möglich. Betrachtet man den IST-Kostenverlauf so sticht sofort der von März 2016 nach April 2016 auftretende negative Knick ins Auge. Sprünge oder Knicke dieser Art sind in einem IST-Kostenverlauf generell nicht möglich. Eine mögliche Erklärung dafür können Verschiebungen oder Umbuchungen im Buchungssystem der IST-Kosten sein. Etwa ein halbes Jahr vor Bauende erreichten die IST-Kosten die mittels AKn prognostizierte Summe. Erneute Anpassungen nach oben waren die Folge. Zum Bauende überstiegen die IST-Kosten die AKn-Summe leicht.

**Mittelwert:** 13,63%

**Standardabweichung:** 15,38%

**Varianz:** 2,41%

KOA 5 liegt mit einem Mittelwert von 15,44% etwa im Mittelfeld der Kostenarten. KOA 6 und KOA 9 weisen sowohl ähnliche Mittelwerte, als auch vergleichbare Standardabweichungen auf. Man könnte KOA 5 somit als durchschnittlich bezeichnen.



**Abb. 4.13:** Kalkulations- und Kostenverlauf KOA 6

### KOA 6 – Baustellen- und Baustättenausstattung in Abb. 4.13

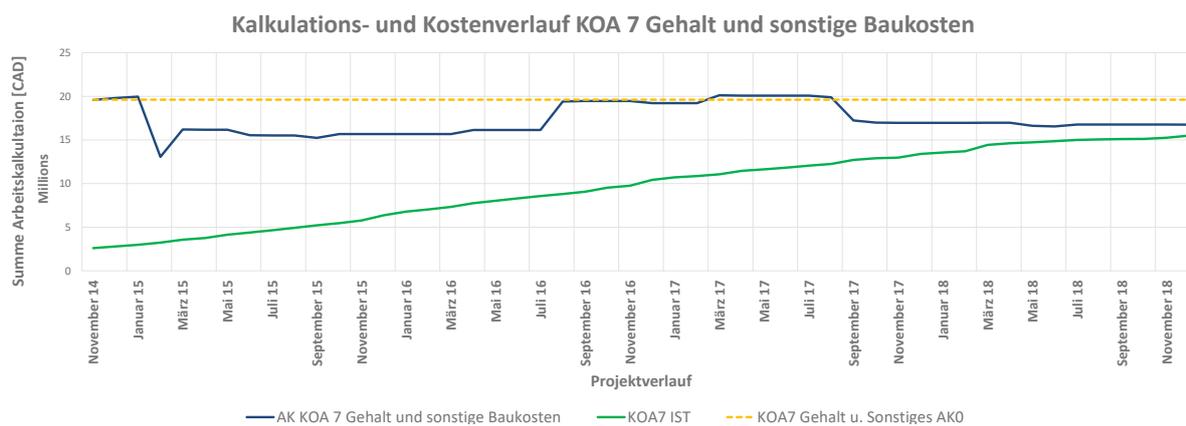
kann bezüglich des Kalkulationsverlaufes in drei Teilbereiche eingeteilt werden. Der erste Teil von November 2014 bis Mai 2015 ist lediglich durch kleine, vernachlässigbare Korrekturen gekennzeichnet. Der Mittelbereich von Juni 2015 bis inklusive Juli 2016 wird durch eine eklatante Korrektur unter die AK0-Summe gekennzeichnet. Diese Unterschreitung hält sich bis zum Ende. Mit Beginn des dritten Abschnitts wurde im Zuge der Fortschreibung jedoch eine massive Erhöhung um fast 30% der zu diesem Zeitpunkt ermittelten AKn-Summe eingearbeitet. Dabei wurde die AK0-Summe deutlich überschritten. Diesem Sprung folgend sind mehrere kleinere Anpassungen der Kalkulationssumme erkennbar. Hervorzuheben ist die Tatsache, dass die prognostizierte Summe der AKn relativ eindeutig von den IST-Kosten verfehlt wurde. Eine mögliche Erklärung dafür kann eine, in Anbetracht des näher rückenden Bauendes, nicht weiter fortgeschriebene AKn sein. Mit Blick auf den IST-Kostenverlauf ist der zwischen Jänner und März 2016 sehr steil verlaufende Graph nennenswert, da er die einzige Stelle im gesamten Verlauf markiert, die von einer sonst sehr konstant verlaufenden Kurve abweicht.

**Mittelwert:** 15,44%

**Standardabweichung:** 19,60%

**Varianz:** 3,92%

KOA 6 ist, betrachtet man lediglich die errechneten Werte, sehr ähnlich zu KOA 5. Sie kann daher analog zu KOA 5 als für das Projekt 0 durchschnittlich in Sachen Mittelwert und Standardabweichung bezeichnet werden. Die den Mittelwert übersteigende Standardabweichung zeigt sehr gut, dass im Zuge der laufenden AKn die AK0-Summe auch oftmals unterschritten wurde.



**Abb. 4.14:** Kalkulations- und Kostenverlauf KOA 7

#### KOA 7 – Gehalt und sonstige Baukosten in Abb. 4.14

ist von einer nicht unwesentlichen Kostenunterschreitung von annähernd 5 Millionen CAD im Vergleich zur AK0-Summe geprägt. Bereits zu Projektbeginn im Februar 2015 wurde dies erkannt und kalkulatorisch berücksichtigt, jedoch im weiteren Projektverlauf über diverse Korrekturen nach oben wieder verworfen. Die sehr konsistent verlaufenden IST-Kosten erreichen erst zum Ende hin die Nähe der kalkulierten AKn-Summe. Gegenständlicher IST-Kostenverlauf ist einem linearen Verlauf mit konstanter Steigung schon sehr ähnlich und tritt bei keiner weiteren Kostenart an diesem Projekt auf. Diese Tatsache spricht für eine wohl sehr gleichmäßige Anzahl angestellter Arbeitnehmer über den Projektverlauf und eine im Zuge der AKn gut prognostizierbare Kostenart.

**Mittelwert:** -11,61%

**Standardabweichung:** 8,94%

**Varianz:** 0,81%

KOA 7 ist eine der beiden Kostenarten, die infolge der Unterschreitung der AK0-Summe einen negativen Mittelwert aufweist. Betrachtet man zusätzlich die Standardabweichung, die betragsmäßig kleiner als der Mittelwert ist, zeigt das, dass größtenteils negative Veränderungswerte vorhanden sind. Die ursprünglich errechnete AK0-Summe war somit, verglichen mit der laufenden Kalkulation, höher kalkuliert.

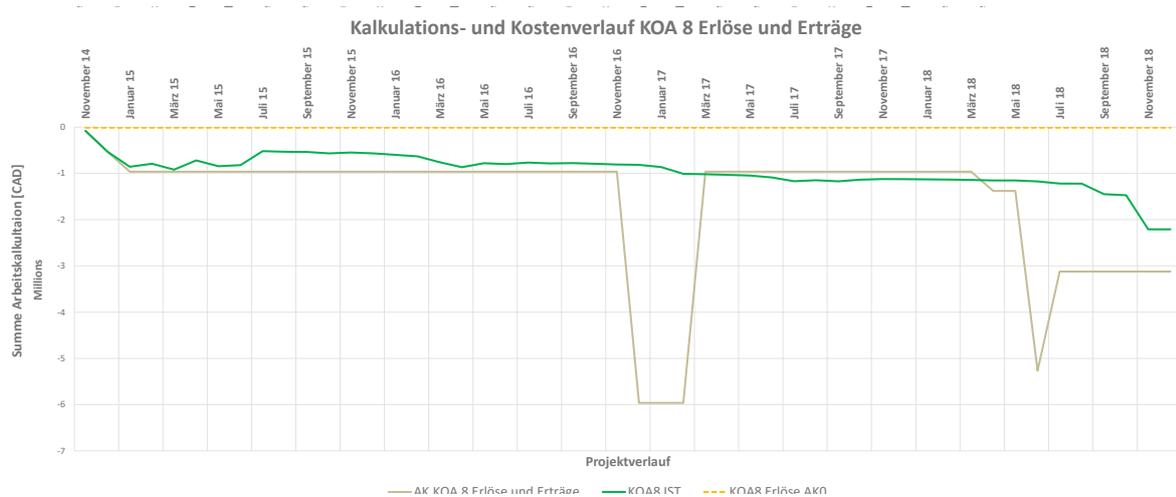


Abb. 4.15: Kalkulations- und Kostenverlauf KOA 8

### KOA 8 – Erlöse und Erträge in Abb. 4.15

ist durch eine AK0-Summe gekennzeichnet, die im Bereich um Null liegt. Allerdings wurden bereits zu Projektbeginn infolge der unvorhergesehenen Realisierung negativer Kosten (= Einnahmen, d.h. Erlöse und Erträge) Adaptionen der AKn notwendig. Im November 2016 wurde im Zuge der AKn-Fortschreibung eine Reduktion der Kosten von ca. -1.000.000 auf -6.000.000 CAD kalkuliert, in den Folgemonaten wurde dieser Schritt zur Gänze revidiert. Fraglich ist jedoch die Tatsache, dass zwischen März 2017 und März 2018 die AKn-Summe über den IST-Kosten lag. Dass sich die IST-Kosten sowohl nach oben, als auch nach unten entwickeln, ist fragwürdig und könnte analog zu KOA 5 durch Ein-, Aus- und Umbuchungen zwischen den einzelnen Kostenarten begründet werden. Erst mit den Anpassungen der AKn-Summe in den Monaten April und Juni 2018 ergeben sich erneut realistische Zusammenhänge. Die Höhe der Anpassung im Juni 2018 konnte jedoch bis zum Bauende nicht erreicht werden. Dabei ist ersichtlich, dass gegen Projektende die AKn nicht weiter fortgeschrieben wurde und daher die IST-Kosten nie die AKn-Summe erreichen.

**Mittelwert:** 14.257,54%

**Standardabweichung:** 12.874,20%

**Varianz:** 1.691.277,06%

Die angeführten Werte für Mittelwert, Standardabweichung und Varianz sind im Falle von KOA 8 nicht repräsentativ, da die Basis (AK0-Summe) im Vergleich zu den tatsächlich realisierten IST-Kosten und prognostizierten AKn-Summen quasi als Null anzusehen ist. Folglich finden diese Werte im weiteren Verlauf dieser Arbeit keine Beachtung und werden auch im Zuge von Diagrammen und Bandbreitenbildung nicht weiter berücksichtigt.

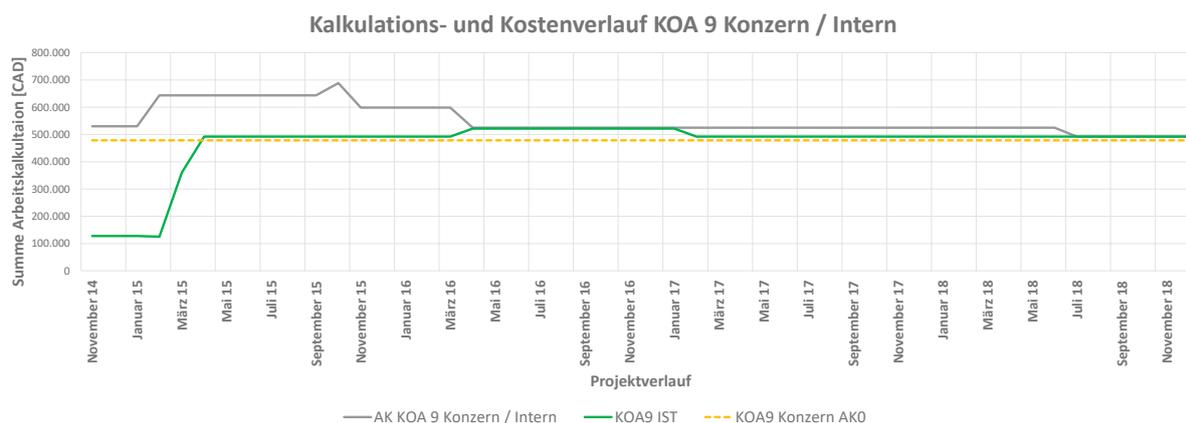


Abb. 4.16: Kalkulations- und Kostenverlauf KOA 9

**KOA 9 – Konzern/Intern in Abb. 4.16**

ist dadurch gekennzeichnet, dass bereits zu Projektstart die AK0-Summe im Zuge der AKn nach oben korrigiert wurde. Bereits im April 2015 waren sämtliche IST-Kosten dieser Kostenart realisiert, lediglich eine im März auftretende Erhöhung und deren vollkommene Revidierung im Jänner 2017 stören den horizontalen IST-Kostenverlauf. Der Kalkulationsverlauf zeigt mehrere Sprünge und liegt über den gesamten Projektverlauf über der AK0-Summe. Bemerkenswert ist, dass sich die in der AK0 eingeschätzten Konzernleistungen von internen bzw. Partnerleistungen bei den IST-Kosten realisiert hat.

**Mittelwert:** 15,12%

**Standardabweichung:** 11,03%

**Varianz:** 1,24%

KOA 9 ist vergleichbar mit den Kostenarten 5 und 6. Sie unterscheidet sich aber bezüglich der Standardabweichung, denn diese ist kleiner als der errechnete Mittelwert und erlaubt somit den Schluss, dass der Großteil aller Veränderungswerte positiv ist.

**Übersicht der analysierten Kostenarten**

Tab. 4.5 gibt eine Übersicht der in die Bandbreitenermittlung eingehenden Werte des gegenständlichen Projektes wieder. Sämtliche Werte sind in Prozent angegeben.

Tab. 4.5: Werteübersicht Projekt 0

Kostenart	Mittelwert $\mu$	Standardabweichung $\sigma$	Varianz $\sigma^2$
KOA 1	114,49	72,53	52,21
KOA 2	24,72	15,40	2,42
KOA 3	3,20	6,88	0,48
KOA 4	-40,60	30,88	9,73
KOA 5	13,63	15,38	2,41
KOA 6	15,44	19,60	3,92
KOA 7	-11,61	8,94	0,81
KOA 8	-	-	-
KOA 9	15,12	11,03	1,24

Das in Abb. 4.17 dargestellte Diagramm zeigt die den Kostenarten zugewiesenen Mittelwerte mit, ausgehend von vom Mittelwert nach oben und unten, aufgetragener Standardabweichung. Lediglich KOA 8 ist infolge der nicht repräsentativen Werte ausgenommen und unberücksichtigt. Speziell hervorzuheben ist die Tatsache, dass sechs der verbleibenden acht Kostenarten um maximal 25% und minimal -12% vom Nullpunkt abweichen. Dies ist insofern beachtlich, sollte sich dieser Trend in Kapitel 5 bestätigen, da bereits nun eine zu gering und eine zu hoch bewertete Kostenart identifiziert werden können. Die errechneten Mittelwerte dürfen jedoch im Einzelfall nicht überbewertet werden, da diese sehr stark vom zeitlichen Auftreten der eingepflegten Korrekturmaßnahmen sind. Grund dafür ist die Anzahl an hohen Veränderungswerten, die zunimmt, wenn eine Korrektur nach oben beispielsweise sehr früh im Projekt berücksichtigt wird. Demzufolge schlägt sich eine späte Korrektur weniger stark in der Mittelwertberechnung nieder. Erst die angestrebte Verifizierung und damit einhergehende Bandbreitenbildung ermöglichen eine klare und nachvollziehbare Aussage.

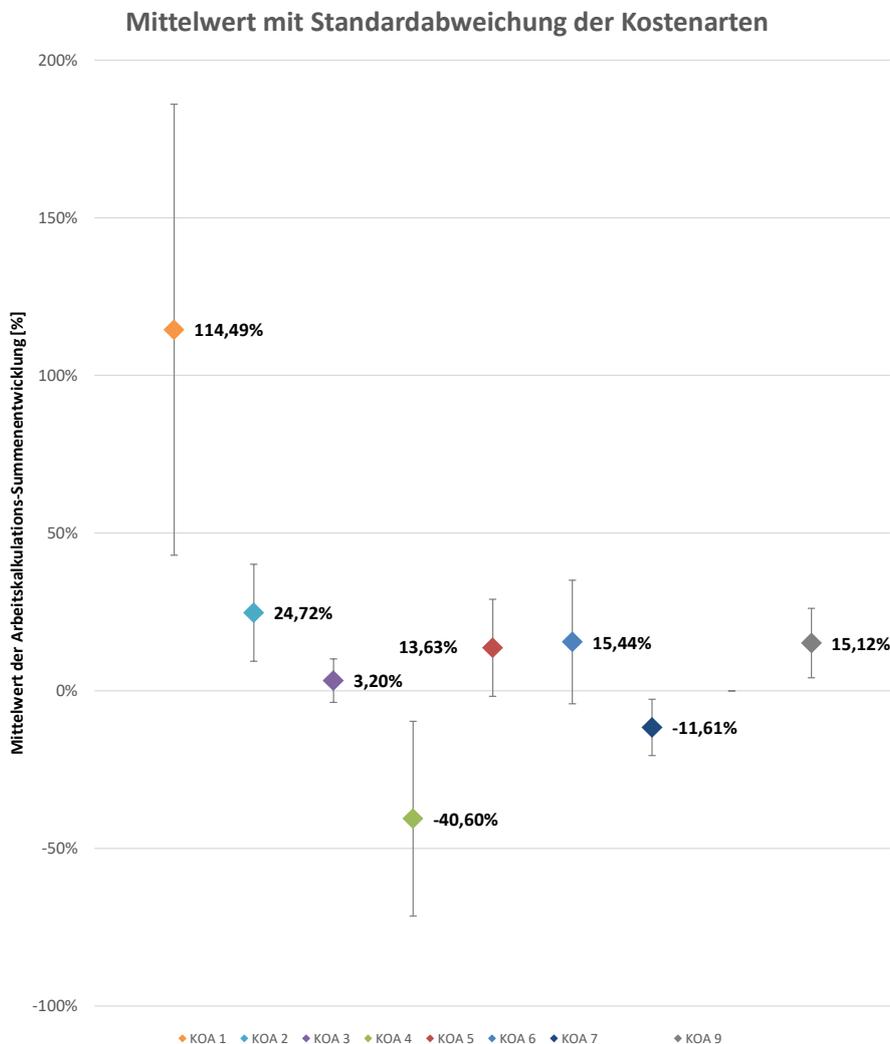


Abb. 4.17: Mittelwerte und Standardabweichungen der AKn-Summenentwicklungen Projekt 0

### 4.4.1 Störstellenidentifikation

Um eine Analyse maßgebender Änderungen für die laufende Arbeitskalkulation zu ermöglichen bedarf es festgelegter Zeiträume, die näher betrachtet werden. Ausgehend von Abb. 4.4 sind nun nach optischen Merkmalen die im Diagramm ersichtlichen, größten Knicke und Sprünge gewählt. In Abb. 4.18 sind jene sieben Punkte rot markiert, die einem solchen Knick oder Sprung entsprechen.

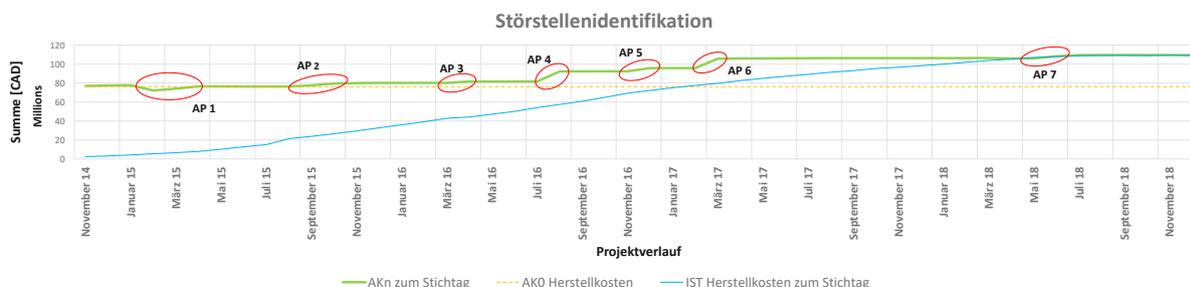


Abb. 4.18: Störstellenidentifikation

- Störstelle 1: Jänner 2015 – April 2015
- Störstelle 2: August 2015 – Oktober 2015
- Störstelle 3: März 2016 – April 2016
- Störstelle 4: Juli 2016 – August 2016
- Störstelle 5: November 2016 – Dezember 2016
- Störstelle 6: Februar 2017 – März 2017
- Störstelle 7: Mai 2018 – Juli 2018

Diese sieben Störstellen werden nun in die eingangs erwähnten Analysepunkte 1 bis 7 überführt, analysiert und näher betrachtet. Dabei wird für jeden Punkt ein vorgefertigtes Analyseformular mit folgendem Inhalt erstellt:

- Analyse-ID
- Zeitraum
- AKn-Gesamtsumme für jedes Monat
- AKn-Gesamtsummenveränderung zum Vormonat in % und Absolutwerten
- Summe jeder Kostenart für jedes Monat
- Summenveränderung jeder Kostenart zum Vormonat in % und Absolutwerten
- Farbliche Hervorhebung als relevant eingestufte Kostenveränderung
  - grün: positiv gestuft
  - rot: negativ gestuft

Die Einstufung, ob eine Veränderung der kalkulierten Summe als relevant oder nicht relevant einzustufen ist, wird nach der Höhe der prozentualen und absoluten Veränderung bestimmt. So kann eine Kostensteigerung von 100.000 CAD zwar eine Veränderung innerhalb einer Kostenart von 20% bedeuten, spielt jedoch im Kontext eines Projektes mit einer Gesamtsumme von weit über 70 Millionen CAD eine untergeordnete Rolle.

#### **Zwischenresümee:**

Die bislang erarbeiteten Punkte der Grobanalyse zeigen durchaus maßgebende Veränderungen bei den Gesamtkosten und innerhalb der einzelnen Kostenarten. Explizit hervorzuheben ist KOA 1, da diese bei Betrachtung von Abb. 4.6 die größte Veränderung aufweist. Des Weiteren sei erwähnt, dass die zum Zeitpunkt der AK0 quasi nicht existente KOA 8 im Projektverlauf eine relevante Größe angenommen hat. Die in Kap. 4.4 angeführte Vorgehensweise zur Bewertung von Kalkulationsverläufen zeigt im Zuge ihrer Anwendung auf, welche Kostenarten sich im Projektverlauf im Bereich der prognostizierten Werte realisierten und welche nicht. Dabei muss erneut KOA 1 mit einem Mittelwert von 114,49% als Extremum angeführt werden. Neben der Beurteilung der einzelnen Kalkulationsverläufe sind sieben Störstellen im Kalkulationsverlauf der Gesamtkosten identifiziert worden. Diese Störstellen werden nun in weiterer Folge näher betrachtet und analysiert, um durchgeführte Anpassungen der AKn über den Bauverlauf zu identifizieren. Daraus soll den markanten Punkten jeweils die dafür verantwortliche Ursache zugeordnet werden um in weiterer Folge diese entweder als Chance oder Risiko zu klassifizieren. Dabei wird zwischen Kostenreduktionen und Kostensteigerungen unterschieden.

### 4.4.2 Analysepunkt 1

Analysepunkt 1 (AP1) deckt den Zeitraum von Jänner 2015 bis April 2015 ab und ist durch eine sehr starke Reduktion der AK-Gesamtsumme von Jänner auf Februar gekennzeichnet. In den zwei darauf folgenden Monaten erhöht sich die zuvor reduzierte AK-Gesamtsumme bis knapp unter den Ausgangswert von Jänner 2015.

Analyse Formular Projekt 0								
Analyse-ID: AP 1						Legende		
Zeitraum: Jänner 2015 - April 2015						relevante Kostenreduktion		
						relevante Kostensteigerung		
AKn Stichtag	Jan 15		Feb 15		Mrz 15		Apr 15	
	Abs.	Δ	Abs.	Δ	Abs.	Δ	Abs.	Δ
<b>AKn Stichtag</b>	<b>77.665.988</b>		<b>72.149.104</b>	<b>-7,10%</b>	<b>74.148.802</b>	<b>2,77%</b>	<b>76.433.365</b>	<b>3,08%</b>
KOA 1	13.392.330		13.811.717	3,13%	13.741.435	-0,51%	15.642.382	13,83%
KOA 2	15.312.705		16.213.484	5,88%	16.177.765	-0,22%	16.414.765	1,46%
KOA 3	9.145.249		9.206.756	0,67%	9.058.219	-1,61%	9.098.719	0,45%
KOA 4	778.925		778.925	0,00%	778.925	0,00%	778.925	0,00%
KOA 5	17.998.217		17.864.690	-0,74%	16.984.690	-4,93%	17.131.215	0,86%
KOA 6	1.508.122		1.527.976	1,32%	1.527.976	0,00%	1.512.656	-1,00%
KOA 7	19.962.180		13.063.996	-34,56%	16.198.232	23,99%	16.173.143	-0,15%
KOA 8	-962.065		-962.065	0,00%	-962.065	0,00%	-962.065	0,00%
KOA 9	530.325		643.625	21,36%	643.625	0,00%	643.625	0,00%

Abb. 4.19: Analysepunkt 1 Datenübersicht

Wie in Abb. 4.19 ersichtlich, wird die Reduktion der AK-Gesamtsumme zur Gänze durch KOA 7 verursacht. Hervorgerufen wird diese Änderung durch zwei Faktoren. Der erste und auch maßgebende Punkt ist, dass cash allowances nicht weiter berücksichtigt wurden. Unter cash allowances versteht man Barzuschüsse, welche den angestellten Arbeitnehmern vor Ort (daher auch KOA 7) gewährt werden. Der zweite Punkt umfasst eine Korrektur der Personalprognose für angestellte Arbeitnehmer nach unten. Der erneute Anstieg von KOA 7 und somit auch der AK-Gesamtsumme im März 2015 ist auf eine erneute Berücksichtigung im Vormonat deaktivierter cash allowances zurückzuführen.

Die Erhöhung von KOA 1 um 13,83% im April 2015 ist einerseits auf Änderungen in den Leistungs- und Aufwandsansätzen für folgende Arbeiten zurückzuführen:

- Vortrieb Zwischenschacht
- Montage TBM
- Herstellung Innenschale
- Vortrieb On- und Offshore Tunnel

Andererseits ist sie auf eine Verlängerung des ersten Blindtunnels sowie auf eine verlängerte Baudauer zurückzuführen. Anzumerken ist, dass durch die Verlängerung des im Startschacht befindlichen Blindtunnels in der Arbeitskalkulation von März 2015 eine Kostenreduktion berücksichtigt wurde, diese jedoch durch die erneute Berücksichtigung der cash allowances überdeckt wurde. Betrachtet man den gesamten Zeitraum, so wirkte sich die Verlängerung des Blindtunnels reduzierend auf die AK-Gesamtsumme aus.

### 4.4.3 Analysepunkt 2

Analysepunkt 2 (AP2) deckt den Zeitraum von August 2015 bis Oktober 2015 ab und ist durch zwei Erhöhungen der AK-Gesamtsumme gekennzeichnet.

Analyse Formular Projekt 0								
Analyse-ID: AP 2						Legende		
Zeitraum: August 2015 - Oktober 2015						relevante Kostenreduktion		
						relevante Kostensteigerung		
	Aug 15		Sep 15		Okt 15		Abs.	Δ
	Abs.	Δ	Abs.	Δ	Abs.	Δ		
<b>AKn Stichtag</b>	<b>76.371.620</b>		<b>77.597.918</b>	<b>1,61%</b>	<b>79.501.948</b>	<b>2,45%</b>		
KOA 1	16.176.665		16.766.934	3,65%	18.285.496	9,06%		
KOA 2	16.340.776		16.468.659	0,78%	16.625.768	0,95%		
KOA 3	9.296.665		9.325.745	0,31%	9.350.801	0,27%		
KOA 4	783.748		783.748	0,00%	783.748	0,00%		
KOA 5	17.236.522		17.998.888	4,42%	17.725.580	-1,52%		
KOA 6	1.339.927		1.326.627	-0,99%	1.326.559	-0,01%		
KOA 7	15.515.757		15.245.757	-1,74%	15.677.435	2,83%		
KOA 8	-962.065		-962.065	0,00%	-962.065	0,00%		
KOA 9	643.625		643.625	0,00%	688.625	6,99%		

Abb. 4.20: Analysepunkt 2 Datenübersicht

Die im September 2015 auftretende Kostensteigerung in Höhe von 1,61% wurde primär durch KOA 1 und KOA 5 verursacht. Hervorgerufen wurde die Steigerung in KOA 1 durch eine erneute Evaluierung des Vortriebsstartverzuges verursacht durch länger dauernde TBM-Montagearbeiten. KOA 5 wurde durch im Zuge der Fortschreibung des *Risk + Opportunity Registers* getätigte Kostenzuordnung beeinflusst.

Die in Abb. 4.20 ersichtliche Kostensteigerung im Oktober 2015 basiert auf zwei Kostenarten. KOA 1 wurde infolge von Anpassungen der Vortriebsleistungen erhöht. Gründe für diese Leistungsanpassung sind der Kurvenvortrieb und die Notwendigkeit einer zusätzlichen Wartungsschicht an Wochenenden. Optimierungen in Bereichen der Offshore Logistik wirkten sich positiv in KOA 1 aus, diese Reduktion ist jedoch infolge der Leistungsanpassungen des Vortriebs überdeckt. Als Reaktion auf die verlängerte Baudauer wurden im Oktober 2015 auch die Personalkosten der angestellten Arbeitnehmer angepasst, dies resultiert in einer Kostensteigerung von KOA 7.

#### 4.4.4 Analysepunkt 3

Analysepunkt 3 (AP3) deckt den Zeitraum von März 2016 bis April 2016 ab und ist durch eine Erhöhung der AK-Gesamtsumme um 1,80% gekennzeichnet. Anzumerken ist, dass diese Veränderung durch mehrere Anpassungen und Fortschreibungen verursacht wurde und daher sechs der neun Kostenarten relevante Veränderungen aufweisen. Dies wird in Abb. 4.21 dargestellt.

Analyse Formular Projekt 0								
Analyse-ID: AP 3						Legende		
Zeitraum: März 2016 -April 2016						relevante Kostenreduktion		
						relevante Kostensteigerung		
AKn Stichtag	Mrz 16		Apr 16		Abs.	Δ	Abs.	Δ
	Abs.	Δ	Abs.	Δ				
<b>AKn Stichtag</b>	<b>80.218.912</b>		<b>81.665.349</b>	<b>1,80%</b>				
KOA 1	19.134.479		20.945.080	9,46%				
KOA 2	16.695.612		17.620.988	5,54%				
KOA 3	9.362.376		8.540.740	-8,78%				
KOA 4	783.748		286.468	-63,45%				
KOA 5	17.543.381		17.238.379	-1,74%				
KOA 6	1.386.505		1.321.172	-4,71%				
KOA 7	15.676.250		16.149.587	3,02%				
KOA 8	-962.065		-962.065	0,00%				
KOA 9	598.625		525.000	-12,30%				

Abb. 4.21: Analysepunkt 3 Datenübersicht

KOA 1 und KOA 4 wurden primär durch das Innenschalensystem betreffend Festlegungen beeinflusst, zusätzlich gab es erneute Anpassungen bei den Vortriebsleistungen. Änderungen im Wechselkurs zwischen Euro und kanadischem Dollar verursachten Mehrkosten bei der Bezahlung der TBM, dies spiegelt sich in KOA 2 wieder. Eine positive Veränderung zeigt KOA 3, dafür verantwortlich sind primär niedrigere Betonpreise. Infolge erweiterter Eigenleistungen im Bereich der Befüllung von sogenannten Mucks (Minidumper) reduzierten sich die Kosten für Subunternehmer (KOA 5). Erhöhte Personalkosten sind in KOA 7 ersichtlich, verursacht durch eine erneute Anpassung des Personalkonzepts. Gesamtheitlich ist die kalkulierte Summe von 80.218.912 auf 81.665.349 CAD angestiegen.

#### 4.4.5 Analysepunkt 4

Analysepunkt 4 (AP4) deckt den Zeitraum von Juli 2016 bis August 2016 ab und ist durch eine starke Erhöhung der AK-Gesamtsumme um fast 13% gekennzeichnet.

Analyse Formular Projekt 0								
Analyse-ID: AP 4						Legende		
Zeitraum: Juli 2016 -August 2016						relevante Kostenreduktion		
						relevante Kostensteigerung		
	Jul 16		Aug 16		Abs.	Δ	Abs.	Δ
	Abs.	Δ	Abs.	Δ				
<b>AKn Stichtag</b>	<b>81.665.349</b>		<b>92.251.933</b>	<b>12,96%</b>				
KOA 1	20.945.080		27.362.184	30,64%				
KOA 2	17.620.988		15.920.731	-9,65%				
KOA 3	8.540.740		9.172.429	7,40%				
KOA 4	286.468		286.468	0,00%				
KOA 5	17.238.379		18.667.500	8,29%				
KOA 6	1.321.172		1.868.083	41,40%				
KOA 7	16.149.587		19.411.604	20,20%				
KOA 8	-962.065		-962.065	0,00%				
KOA 9	525.000		525.000	0,00%				

Abb. 4.22: Analysepunkt 4 Datenübersicht

Die Ursache dieser Kostensteigerung ist auf gravierende geologische Probleme im Zuge des Vortriebes zurückzuführen. Damit einher ging eine Neuevaluierung des Gesamtbauzeitplanes. Folglich erhöhten sich auch die anfallenden Lohnstunden und somit KOA 1. Die Reduktion von KOA 2 um knapp 1,7 Mio. CAD ist auf geringere Kosten im Bereich der Baugeräte zurückzuführen. Erhöhte Kosten bzw. größere Mengen an Rohren und Bauhilfsstoffen führten zum Anstieg von KOA 3 um 7,4%. Eine Anpassung um in Summe 1,4 Mio. CAD verursachten erhöhte Nachunternehmerkosten im Bereich der Entsorgung und bei Betonarbeiten. Eine eklatante Erhöhung um 41,4% hat in diesem Zeitraum KOA 6 zu verzeichnen, der Grund dafür liegt in der erhöhten Bauzeit und damit verbundenen höheren ZGK. Neben den bereits erwähnten Steigerungen wird auch KOA 7 durch die erhöhte Bauzeit negativ beeinflusst.

#### 4.4.6 Analysepunkt 5

Analysepunkt 5 (AP5) deckt den Zeitraum von November 2016 bis Dezember 2016 ab und ist durch eine Erhöhung der AK-Gesamtsumme um 3,68% gekennzeichnet.

Analyse Formular Projekt 0								
Analyse-ID: AP 5						Legende		
Zeitraum: November 2016 - Dezember 2016						relevante Kostenreduktion		
						relevante Kostensteigerung		
	Nov 16		Dez 16		Abs.	Δ	Abs.	Δ
	Abs.	Δ	Abs.	Δ				
<b>AKn Stichtag</b>	<b>92.342.948</b>		<b>95.738.413</b>	<b>3,68%</b>				
KOA 1	27.362.184		35.308.331	29,04%				
KOA 2	15.960.731		15.818.705	-0,89%				
KOA 3	8.705.075		8.748.364	0,50%				
KOA 4	286.468		286.468	0,00%				
KOA 5	19.185.869		19.861.923	3,52%				
KOA 6	1.808.083		1.934.083	6,97%				
KOA 7	19.471.604		19.217.604	-1,30%				
KOA 8	-962.065		-5.962.065	519,72%				
KOA 9	525.000		525.000	0,00%				

Abb. 4.23: Analysepunkt 5 Datenübersicht

Steigerungen in KOA 1 können erneut auf die in AP4 erwähnte Bauzeitverlängerung und damit einhergehende Forcierungsmaßnahmen sowie Änderungen im Schichtmodell zurückgeführt werden. Gleichzeitig wurden auch Prozessänderungen die Innenschale betreffend einbezogen. All diese Faktoren führten zu einer Steigerung der Lohnkosten um 29% in diesem Zeitraum. Analog zu AP4 wurden hier die Kosten für Entsorgung und Betonarbeiten in KOA 5 angepasst. Die in KOA 8 erkennbare Reduktion der kalkulierten Summe kann durch die erstmalige Berücksichtigung von erwarteten und abgegrenzten Nachtragszahlungen erklärt werden.

#### 4.4.7 Analysepunkt 6

Analysepunkt 6 (AP6) deckt den Zeitraum von Februar 2017 bis März 2017 ab und ist durch extreme Erhöhungen der AK-Gesamtsumme von über 10% gekennzeichnet. Dabei wird sofort ersichtlich, dass die mit Dezember 2016 in KOA 8 berücksichtigten Nachtragszahlungen zur Gänze rausgenommen wurden. Es handelt sich jedoch um eine rein buchhalterische Maßnahme, da die Nachtragszahlungen ab diesem Zeitpunkt gesondert verbucht wurden.

Analyse Formular Projekt 0								
Analyse-ID: AP 6						<b>Legende</b> relevante Kostenreduktion relevante Kostensteigerung		
Zeitraum: Februar 2017 - März 2017								
	Feb 17		Mrz 17		Abs.	Δ	Abs.	Δ
	Abs.	Δ	Abs.	Δ				
<b>AKn Stichtag</b>	<b>95.738.413</b>		<b>105.579.122</b>	<b>10,28%</b>				
KOA 1	35.308.331		35.901.163	1,68%				
KOA 2	15.818.705		17.684.072	11,79%				
KOA 3	8.748.364		10.186.746	16,44%				
KOA 4	286.468		312.631	9,13%				
KOA 5	19.861.923		19.916.257	0,27%				
KOA 6	1.934.083		1.892.405	-2,15%				
KOA 7	19.217.604		20.122.911	4,71%				
KOA 8	-5.962.065		-962.065	-83,86%				
KOA 9	525.000		525.000	0,00%				

Abb. 4.24: Analysepunkt 6 Datenübersicht

KOA 2 verzeichnet eine Steigerung von etwa 1,8 Mio. CAD. Im Zuge dieser Anpassung wurden Kosten für Baugeräte und Betriebsstoffe wie beispielsweise Diesel ergänzt. Die 16,44 prozentige Erhöhung in KOA 3 ist auf einen Anstieg der Kosten für Beton und Mörtel sowie Bauhilfsstoffe zurückzuführen. Die in KOA 7 verbuchte Steigerung wird durch erhöhte Kosten im Bereich der „Generellen Kosten“ und „Gebühren“ verursacht. Darin beinhaltet sind beispielsweise Straßenmaut, Werbungskosten sowie Provisionen und Geldverkehrsgebühren.

#### 4.4.8 Analysepunkt 7

Analysepunkt 7 (AP7) deckt den Zeitraum von Mai 2018 bis Juli 2018 ab und ist durch zwei Erhöhungen der AK-Gesamtsumme gekennzeichnet. Dabei vergrößert sich die Gesamtsumme von ausgehend 105,97 Mio. CAD auf schlussendlich 109,53 Mio. CAD im Juli 2018.

Analyse Formular Projekt 0								
Analyse-ID: AP 7						Legende		
Zeitraum: Mai 2018 - Juli 2018						relevante Kostenreduktion		
						relevante Kostensteigerung		
AKn Stichtag	Mai 18		Jun 18		Jul 18		Abs.	Δ
	Abs.	Δ	Abs.	Δ	Abs.	Δ		
<b>AKn Stichtag</b>	<b>105.970.001</b>		<b>108.184.884</b>	<b>2,09%</b>	<b>109.526.596</b>	<b>1,24%</b>		
KOA 1	35.863.675		35.863.675	0,00%	36.347.933	1,35%		
KOA 2	17.688.332		23.703.137	34,00%	22.348.328	-5,72%		
KOA 3	10.654.821		10.366.207	-2,71%	10.249.776	-1,12%		
KOA 4	237.571		237.571	0,00%	237.571	0,00%		
KOA 5	23.693.487		24.153.564	1,94%	24.150.533	-0,01%		
KOA 6	2.056.873		2.056.873	0,00%	2.058.232	0,07%		
KOA 7	16.628.453		16.546.439	-0,49%	16.764.685	1,32%		
KOA 8	-1.378.210		-5.267.583	282,20%	-3.122.556	-40,72%		
KOA 9	525.000		525.000	0,00%	492.094	-6,27%		

Abb. 4.25: Analysepunkt 7 Datenübersicht

Betrachtet man den gesamten Zeitraum, fällt auf, dass getätigte Anpassungen im Folgemonat direkt korrigiert wurden. Eine nähere Betrachtung zeigt, dass die Erhöhung von KOA 2 um 34% im Juni 2018 durch erhöhte Abschreibungskosten die Baugeräte betreffend, im Speziellen die TBM, verursacht wurde. Für die im Folgemonat ersichtliche Reduktion war infolge von Informationsmangel keine Ursache auffindbar. Die in KOA 8 verbuchte Reduktion um annähernd 4 Mio. CAD ist auf Sonstige Erträge und auf den Verkauf von Vermögenswerten zurückzuführen. In den Sonstigen Erträgen sind Versicherungsrückzahlungen sowie Kursdifferenzen im Zuge der Kreditvergabe berücksichtigt. Nähere Informationen zur Kategorie Verkauf von Vermögenswerten liegen nicht vor. Sie wurde jedoch mit Juli 2018 auf 0 CAD korrigiert und verursachte damit den erneuten Anstieg von KOA 8 um knapp über 40%.

Die Analyse der sieben Störstellen zeigt die für Knicke und Sprünge in Abb. 4.18 verantwortlichen Korrekturen und Einarbeitungen in die AKn. Dabei fällt auf, dass jede der in Summe neun Kostenarten, abgesehen von KOA 9, maßgebende Veränderungen über den Projektverlauf aufweist. Am öftesten treten dabei maßgebende Änderungen in den Kostenarten 1, 2 und 7 auf. Fast keine relevanten Änderungen sind in KOA 4, KOA 6 und KOA 9 zu erkennen. Kostenarten mit vielen maßgebenden Änderungen können somit für dieses Projekt als chancen- bzw. risikoreich bezeichnet werden. Dem gegenüber stehen die chancen- bzw. risikoarmen Kostenarten 4, 6 und 9.

## 4.5 Gegenüberstellung prognostizierter und tatsächlich eingetretener Chancen und Risiken

Bearbeitet durch Schulter.

In diesem Kapitel werden die in den vorherigen Abschnitten 4.4.2 bis 4.4.8 im Zuge der fortgeschriebenen Arbeitskalkulation (AKn) identifizierten Chancen und Risiken zusammengestellt sowie nach den in Punkt 4.2.1 angeführten Ursachenkategorien gegliedert. In weiterer Folge werden diese mit den in Tab. 4.4 angeführten Chancen und Risiken verglichen. Aus datenschutzrechtlichen Gründen wird dieser Vergleich lediglich qualitativ und nicht quantitativ gezogen.

### 4.5.1 Identifizierte Chancen und Risiken

In Abb. 4.26 bis Abb. 4.32 sind jeweils in der ersten Spalte die von den Autoren erfassten Chancen und Risiken ersichtlich. Im Rahmen der Kalkulation als Kostensteigerung klassifizierte Veränderungen werden als Risiken, Kostenreduktionen als Chancen angesehen. In der zweiten Spalte sind die den einzelnen Elementen, zugewiesenen Ursachenkategorien dargestellt. Dies wird auf Grundlage von Kapitel 4.2.1 vorgenommen. Anschließend wird die Anzahl des Auftretens der einzelnen Ursachenkategorien ermittelt, welche in Tab. 4.6 zusammengefasst sind. Als Beispiel für diese Vorgehensweise kann das in AP1 auftretende Risiko für *Leistungs- und Aufwandsansätze Vortrieb* angeführt werden. Dieses wurde im Zuge der Feinanalyse im Zeitraum von AP1 als kostensteigerndes Element erkannt und als Risiko klassifiziert. Da es sich dabei um Annahmen handelt, die im Zuge der Kalkulation getroffen werden, ist dieses Risiko Teil der Kostenermittlung (Hauptkategorie A). Ferner handelt es sich dabei eindeutig um einen Kalkulationsansatz (Unterkategorie 2), der primär die Vortriebsmaschine (H) betrifft. Daraus ergibt sich die Zuordnung zur Ursachenkategorie *02H Kosten- und Leistungsansatz Geräte und Betriebsstoffe*.

#### Analysepunkt 1

Chancen	Ursachenkategorie
Barzuschüsse	02G Kosten- und Leistungsansatz gewerbliches Personal
Personalprognose (Angestellte)	06A Festlegung Baustellenorganisation/Baustellengemeinkosten
Risiken	
Leistungs- und Aufwandsansätze Vortrieb	02H Kosten- und Leistungsansatz Geräte und Betriebsstoffe
Lieferung und Montage TBM	09C Planung, Steuerung, Kontrolle Geräte und Betriebsstoffe

Abb. 4.26: Identifizierte Chancen und Risiken AP1

Die in Abb. 4.26 dargestellten Chancen und Risiken von AP1 zeigen jeweils zwei Elemente. Auf Seite der Chancen bewirkten reduzierte Kosten für Barzuschüsse sowie eine geringer ausfallende Personalprognose eine Kostenverringerung. Auf der Gegenseite verursachen Parameter, wie zu geringe Aufwandsansätze den Vortrieb betreffend bzw. längere Lieferzeiten der TBM, erhöhte Kosten.

#### Analysepunkt 2

Chancen	Ursachenkategorie
Risiken	
Leistungs- und Aufwandsansätze Vortrieb	02H Kosten- und Leistungsansatz Geräte und Betriebsstoffe
Leistungs- und Aufwandsansätze Kurvenvortrieb	02H Kosten- und Leistungsansatz Geräte und Betriebsstoffe
zusätzliche Wartungsschicht	09B Planung, Steuerung, Kontrolle gewerbliches Personal

Abb. 4.27: Identifizierte Chancen und Risiken AP2

Abb. 4.27 zeigt die zu AP2 gehörigen Chancen und Risiken. Da zu diesem Zeitpunkt keine nennenswerten Kostenreduktionen verbucht wurden, sind auch keine Chancen ausgewiesen. Dem gegenüber stehen Risiken, die primär den Vortrieb und damit verbundene Annahmen, wie beispielsweise Aufwandsansätze für Kurvenvortriebe und der gleichen, betreffen. Zusätzlich wurde in diesem Zeitraum eine weitere Wartungsschicht aufgestellt und in die Kalkulation überführt.

**Analysepunkt 3**

Chancen	Ursachenkategorie
Konzept Innenschale geringere Betonpreise	06B Änderung Bauverfahren / Bauweisen / Bau-SOLL 02F Kostenansatz Material
Risiken	
Konzept Innenschale Wechselkurs erhöhte Personalkosten (gewerblich)	06B Änderung Bauverfahren / Bauweisen / Bau-SOLL 02A Landesspezifische Rahmenbedingungen 02G Kosten- und Leistungsansatz gewerbliches Personal

**Abb. 4.28:** Identifizierte Chancen und Risiken AP3

Für AP3 werden die identifizierten Chancen und Risiken in Abb. 4.28 angeführt. Als Chance, aber auch als Risiko, kann in diesem Zeitraum eine Neukonzeptionierung des Bauprozesses für die Innenschale angesehen werden. Die beiderseitige Zuordnung ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass Kosten eingespart, jedoch an anderer Stelle erhöht wurden. Geringere Betonpreise wurden als Chance verbucht. Der zu diesem Zeitpunkt vorhandene Wechselkurs zwischen CAD und Euro sowie höhere Personalkosten (gewerblich) als erwartet, komplettieren das Risiko für AP3.

**Analysepunkt 4**

Chancen	Ursachenkategorie
geringere Kosten Baugeräte	02H Kosten- und Leistungsansatz Geräte und Betriebsstoffe
Risiken	
geologische Probleme mit Bauverzögerung als Folge erhöhte Lohnkosten infolge Bauzeitverzögerung gestiegener Mengenbedarf & Kosten Material Nachunternehmerkosten (zusätzliche Leistungen) ZGK infolge Bauzeitverzögerung erhöhte Personalkosten (gewerblich) infolge Bauzeitverzögerung	01A Prüfung / Erfassung des technischen Leistungsumfangs 01A Prüfung / Erfassung des technischen Leistungsumfangs 02F Kostenansatz Material 02E Kostenansatz Nachunternehmer 01A Prüfung / Erfassung des technischen Leistungsumfangs 01A Prüfung / Erfassung des technischen Leistungsumfangs

**Abb. 4.29:** Identifizierte Chancen und Risiken AP4

AP4 weist mit sieben in diesem Zeitraum eingetretenen Risiken die größte Anzahl auf, diese sind in Abb. 4.29 dargestellt. Geringere Kosten für Baugeräte auf Chancenseite spielen dabei eine untergeordnete Rolle. Die in diesem Zeitraum auftretenden, gravierenden geologischen Probleme führten zu einer maßgebenden Bauzeitverlängerung und dadurch zu diversen Kostensteigerungen. Diese werden als Folge des geologischen Risikos angesehen und daher auch als solches klassifiziert. Dazu gehören erhöhte Lohnkosten, ZGK sowie höhere Personalkosten. Gleichzeitig stiegen in diesem Zeitraum der Mengenbedarf und die Kosten gewisser Baumaterialien. Für Nachunternehmer wurden zusätzliche Leistungen berücksichtigt.

**Analysepunkt 5**

Chancen	Ursachenkategorie
Berücksichtigung Nachtrag	11B Aktivierte Erlöse und „Erlöserwartung“ aus nicht geregelten Nachträgen
<b>Risiken</b>	
erhöhte Lohnkosten Forcierungsmaßnahmen infolge Bauzeitverzögerung	07A Durchführung, Steuerung, Kontrolle Ausführungsplanung
Konzept Innenschale	06B Änderung Bauverfahren / Bauweisen / Bau-SOLL
Nachunternehmerkosten (erhöhte Kosten)	08A Auswahl / Vergabe Nachunternehmer und Lieferanten /Material

**Abb. 4.30:** Identifizierte Chancen und Risiken AP5

In AP5 ist in Abb. 4.30 erstmals eine Berücksichtigung eines Nachtrags ersichtlich. Nachträge bieten zwar große Chancen, dürfen jedoch nicht in den AKn berücksichtigt werden. Diese Tatsache wurde bereits in Punkt 4.4.6 näher erläutert. Die zu diesem Zeitpunkt evaluierten Forcierungsmaßnahmen sind als Spätfolge der geologischen Probleme von AP4 anzusehen und werden dementsprechend zugeordnet. Außerdem wurden ein neues Konzept zur Erstellung der Innenschale und erhöhte Kosten seitens Nachunternehmer als Risiken identifiziert.

**Analysepunkt 6**

Chancen	Ursachenkategorie
<b>Risiken</b>	
erhöhte Kosten & Bedarf Betriebsstoffe	08A Auswahl / Vergabe Nachunternehmer und Lieferanten / Material
erhöhte Kosten & Bedarf Beton und Mörtel	08A Auswahl / Vergabe Nachunternehmer und Lieferanten / Material
Generelle Kosten und Gebühren	02A Landesspezifische Rahmenbedingungen

**Abb. 4.31:** Identifizierte Chancen und Risiken AP6

AP6 weist in Abb. 4.31 keine Chancen aus. Als Risiken werden erhöhte Kosten sowie erhöhter Bedarf an Betriebsstoffen wie Beton und Mörtel angeführt. Gleichzeitig erhöhten sich die generellen Kosten und Gebühren. Diese drei Risiken könnten als Spätfolge der geologischen Probleme und der damit einhergehenden Bauzeitverzögerung gesehen werden.

**Analysepunkt 7**

Chancen	Ursachenkategorie
Veräußerung von Vermögenswerten im Zuge der Baustellenräumung	09C Planung, Steuerung, Kontrolle Geräte und Betriebsstoffe
<b>Risiken</b>	
Erhöhte Abschreibungskosten TBM	09A Nichteinhaltung gesetzlicher / behördlicher Anforderungen, nicht versicherte Schadensfälle

**Abb. 4.32:** Identifizierte Chancen und Risiken AP7

AP7 behandelt den Zeitraum der Baustellenräumung und damit einhergehende Chancen und Risiken. Auf Seite der Chancen sind höhere Erlöse aus der Veräußerung von Vermögenswerten, wie in Abb. 4.32 dargestellt. Als direkter Konterpart kann die maßgeblich erhöhte Abschreibung der TBM gesehen werden.

Die in den Punkten AP1 bis AP7 auftretenden Ursachenkategorien werden im weiteren Verlauf mit einer Auftretungshäufigkeit bewertet. Tab. 4.6 zeigt eine Zusammenstellung dieser Ursachenkategorien und wurde mit den Daten der Strabag AG aus *Preis Kommission Projekt 0 Tunnel Revision 2* [35] erarbeitet. Sämtliche Chancen und Risiken werden den Ursachenkategorien zugeordnet und auf ihre Quantität untersucht. Dabei fällt auf, dass, lediglich die Gesamtanzahl

betrachtet, die Chancen im Verhältnis 1 : 3 stehen. Zudem kann festgestellt werden, dass Ansätze im Zuge der Kalkulation sowie die Erfassung des technischen Leistungsumfanges maßgebend auf Seiten des Risikos sind. Hervorzuheben ist auch Ursachenkategorie 08A, sie tritt dreimal auf und berücksichtigt Nachunternehmerrisiken. Anzumerken ist die Tatsache, dass mindestens fünf der 21 eingetretenen Risiken als eine Folge der geologischen Probleme aus Analysepunkt 4 zu klassifizieren sind.

**Tab. 4.6:** Übersicht der eingetretenen Chancen und Risiken

<b>Übersicht eingetretener Chancen und Risiken</b>	
<b>Chancen</b>	<b>Anzahl</b>
02F Kostenansatz Material	1
02G Kosten- und Leistungsansatz gewerbliches Personal	1
02H Kosten- und Leistungsansatz Geräte und Betriebsstoffe	1
06A Festlegung Baustellenorganisation / Baustellengemeinkosten	1
06B Änderung Bauverfahren / Bauweisen / Bau-SOLL	1
09C Planung, Steuerung, Kontrolle Geräte und Betriebsstoffe	1
11B Aktivierte Erlöse und „Erlöserwartung“ aus nicht geregelten Nachträgen	1
Summe	7
<b>Risiken</b>	<b>Anzahl</b>
01A Prüfung / Erfassung des technischen Leistungsumfanges	4
02A Landesspezifische Rahmenbedingungen	2
02E Kostenansatz Nachunternehmer	1
02F Kostenansatz Material	1
02G Kosten- und Leistungsansatz gewerbliches Personal	1
02H Kosten- und Leistungsansatz Geräte und Betriebsstoffe	3
06B Änderung Bauverfahren / Bauweisen / Bau-SOLL	2
07A Durchführung, Steuerung, Kontrolle Ausführungsplanung	1
08A Auswahl / Vergabe Nachunternehmer und Lieferanten / Material	3
09A Nichteinhaltung gesetzlicher / behördlicher Anforderungen, nicht versicherte Schadensfälle	1
09B Planung, Steuerung, Kontrolle gewerbliches Personal	1
09C Planung, Steuerung, Kontrolle Geräte und Betriebsstoffe	1
Summe	21

#### 4.5.2 Gegenüberstellung

Vergleicht man die erneut abgebildete Tab. 4.7 mit Tab. 4.6, können Unterschiede aber auch Überlappungen ausgemacht werden. Beginnend mit den Chancen werden im Zuge der Risikoliste Konzeptänderungen für die Innenschale der Schächte berücksichtigt, dem gegenüber stehen Konzeptänderungen die Innenschale des Tunnels betreffend. Der mit 100% Eintrittswahrscheinlichkeit veranschlagte Preisnachlass für die TBM konnte in dieser Form nicht in den Kalkulationsdaten angetroffen werden. Es besteht jedoch die Möglichkeit, dass dieser mit einer Sicherheit von 100% angegebene Preisnachlass bereits früher berücksichtigt wurde und somit in den Analysepunkten nicht dargestellt ist. Chancen aus Kosten- bzw. Leistungsansätzen sind in der in Kapitel 4.2.2 beinhalteten Risikoliste nicht auffindbar.

Betrachtet man nun die Risiken, ergeben sich Überlappungen in den Bereichen der Geologie, der Forcierungsmaßnahmen und den Erstsicherungsmaßnahmen. Die im Rahmen der Analyse ausgemachte Bauzeitverzögerung ist auf geologische Probleme zurückzuführen und passt thematisch

sehr gut zu dem in der Risikoliste berücksichtigten starken Wasserzutritt. Darüber hinaus könnte das Risiko der Geologie durch das *Unvorhersehbare Ereignis* abgedeckt sein. Die im Zuge der Kalkulation berücksichtigte Forcierung kann direkt dem vierten Risiko der Risikoliste zugeordnet werden. Erhöhte Erstsicherungsmaßnahmen in Form eines Stahlrings mit Holzbausbau könnten durchaus mit zu hohen Leistungsansätzen im Vortrieb in Verbindung gebracht werden. Lediglich die nicht gedeckelte Vertragsstrafe von 5.000 \$ pro AT kann keinem Vorgang der Kalkulation zugeordnet werden.

Generell ergibt sich das Bild eines durchdachten Risikomanagements mit vielen verschiedenen Aspekten. Dabei können viele der berücksichtigten Risiken den identifizierten Elementen der Analyse thematisch, aber auch direkt zugeordnet werden. Jedoch sind Risiken die Aufwands- und Leistungsansätze betreffend unterschätzt bzw. zur Gänze unberücksichtigt worden, siehe Tab. 4.7.

**Tab. 4.7:** Risikoliste [35]

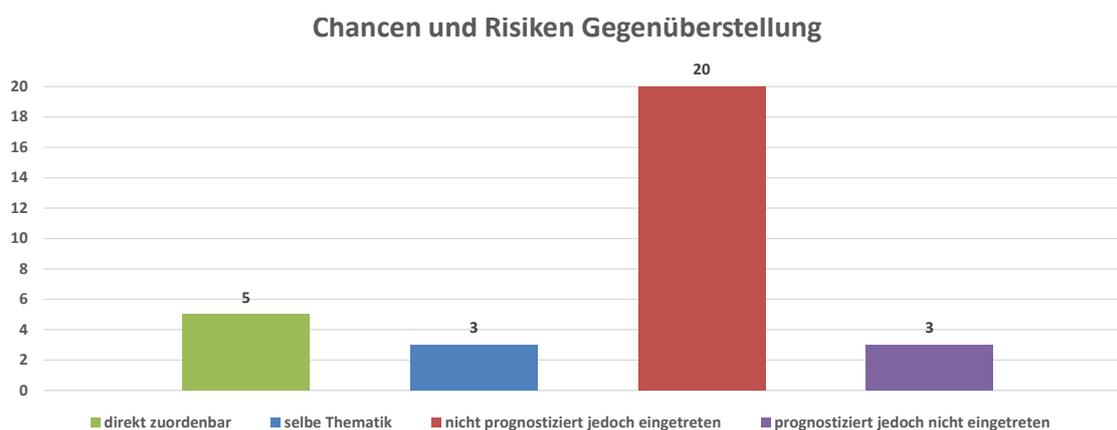
<b>Chancen</b>	<b>Eintrittswahrscheinlichkeit</b>	<b>Unbewertet</b>	<b>Bewertet</b>
Substituierung des Schachtausbaues mit Fertigteilen (Innenschale)	10%	CAD	0,10 x CAD
Preisnachlass TBM	100%	CAD	1,00 x CAD
<b>Risiken</b>	<b>Eintrittswahrscheinlichkeit</b>	<b>Unbewertet</b>	<b>Bewertet</b>
Stahlring mit 100% Holzbausbau (Erhöhung der Erstsicherungsmaßnahmen)	25%	CAD	0,25 x CAD
Nicht gedeckelte Vertragsstrafe; 5,000 \$/AT	10%	CAD	0,10 x CAD
Szenario starker Wasserzutritt in Tunnel (500 L/min)	25%	CAD	0,25 x CAD
Forcierung der Leistung durch Samstagsarbeit	30%	CAD	0,30 x CAD
Unvorsehbares Ereignis	10%	CAD	0,10 x CAD

Erstellt man ein Säulendiagramm, welches die bereits genannten Zusammengehörigkeiten der prognostizierten und tatsächlich eingetretenen Chancen und Risiken aufzeigt, ergibt sich der in Abb. 4.33 dargestellte Kontext. Darin angeführt sind jene vier Möglichkeiten, die im Zuge der Gegenüberstellung auftreten können:

- direkt zuordenbar
- gleiche Thematik
- nicht prognostiziert jedoch eingetreten
- prognostiziert jedoch nicht eingetreten

In den ersten drei Säulen finden sich alle 28 zuvor identifizierten und zugeordneten tatsächlich eingetretenen Chancen und Risiken. Im vierten Balken (*prognostiziert jedoch nicht eingetreten*) können lediglich Chancen und Risiken aus der in Tab. 4.7 dargestellten Risikoliste auftreten. Das *Unvorhersehbare Ereignis* wird dabei ausgenommen, da eine Zuordnung nicht möglich ist. Es zeigt sich, dass *Preisnachlass TBM*, *Stahlring mit 100% Holzbausbau*, welche eine Erhöhung der Erstsicherungsmaßnahme zu Folge hätte und *Nicht gedeckelte Vertragsstrafe* berücksichtigt, jedoch nicht eingetreten sind. Die restlichen Chancen und Risiken aus Tab. 4.7 finden sich, wenn auch teilweise nur thematisch, in den 28 tatsächlich aufgetretenen Chancen und Risiken wieder. Es zeigt sich also, dass den in Summe 20 nicht prognostizierten, jedoch eingetretenen Chancen und Risiken 8 prognostizierte und zumindest thematisch eingetretene Elemente (5 direkt zuordenbar + 3 selbe Thematik) gegenüber stehen. Zusätzlich kommen drei prognostizierte jedoch nicht eingetretene Chancen und Risiken aus der in Kap. 4.2.2 gezeigten Risikoliste hinzu. Für die

Zukunft würde sich demnach erhebliches Potential für die Verbesserung der Identifikation von Chancen und Risiken bieten. Hierbei muss jedoch angemerkt werden, dass diese Identifizierbarkeit immer mit dem Detaillierungsgrad von Ausschreibungen und dem Wissensstand von AG und AN einhergeht. Neben diesen Aspekten nehmen auch Änderungen im Bauablauf eine maßgebliche Rolle in dieser Thematik ein. Während des Projektverlauf durchgeführte Änderungen, unabhängig der Tatsache welcher Projektpartner derartige Vorgänge anstößt, nehmen großen Einfluss auf die Kostenstruktur, sind jedoch risikotechnisch schwer erfass- bzw. quantifizierbar.



**Abb. 4.33:** Übersicht Gegenüberstellung Chancen und Risiken

## 4.6 Zusammenfassung Projekt 0

Beginnend mit einer kurzen Projektbeschreibung und einer Übersicht über den Aufbau des Risikomanagements der Strabag AG wird in Kapitel 4 das Projekt 0 analysiert. Mit einer sogenannten Grobanalyse wird auf Kostenartenebene der Kalkulationsverlauf dargestellt, mit dem Ziel erste Erkenntnisse zur Verteilung der einzelnen Kostenarten zu erlangen. Im Rahmen der Feinanalyse werden mathematische Parameter zur Beurteilung der Volatilität von Kalkulationsverläufen bestimmt. Die Anwendung dieses Verfahrens auf die neun vorhandenen Kostenarten führt zu Abb. 4.17. Sie zeigt, welchen Mittelwert und wie stark sich die einzelnen Kalkulationsverläufe über den Projektverlauf entwickeln. Anschließend sind anhand optischer Merkmale in Abb. 4.18 Störstellen zur weiteren Untersuchung identifiziert worden. Diese sieben Störstellen werden in sogenannte Analysepunkte überführt und hinsichtlich grober Veränderungen untersucht. Aufgetretene Kostenreduktionen sind als Chancen, Kostensteigerungen als Risiken interpretiert. Anhand des zu Beginn dieses Kapitels abgebildeten Risikomanagements der Strabag AG werden diesen Chancen und Risiken Ursachenkategorien zugewiesen. Das Ergebnis dieser Zuweisung sind in Summe 28 identifizierte Chancen und Risiken aus der Nachbetrachtung aus der Arbeitskalkulation. Eine abschließende Gegenüberstellung der von Strabag AG prognostizierten mit den von den Autoren identifizierten Chancen und Risiken führt zu folgendem Ergebnis. Das von den Autoren ermittelte Verhältnis Chancen zu Risiken mit 1 : 3 findet sich in der von Strabag AG erarbeiteten Risikoliste wieder. Von in Summe 28 Elementen konnten zumindest 8 direkt bzw. thematisch zugeordnet werden. Die restlichen 20 identifizierten Chancen und Risiken sind weder direkt noch thematisch auffindbar. Dem gegenüber stehen 3 prognostizierte Chancen und Risiken die sich im Zuge des Projekt 0 nicht realisierten und können theoretisch als Puffer für nicht prognostizierte Elemente angesehen werden. Es zeigt sich somit, dass das Risikomanagement der Strabag AG nicht jede Eventualität direkt abdecken kann, durchaus jedoch eine hohe Trefferrate aufweist.



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 5

## Verifizierung und Bandbreitenbildung

Im Zuge des nun folgenden Kapitels werden anhand einiger weiterer, bereits durch die Strabag AG realisierter, Tunnelbauprojekte Bandbreiten zu den Veränderungswerte jeder einzelnen Kostenart gebildet. Die Auswertung basiert auf dem in Kapitel 4.4 festgelegten Schema. Es werden erneut Mittelwert, Standardabweichung und Varianz der ermittelten Veränderungswerte gebildet. Die herangezogenen Projekte werden aus datenschutzrechtlichen Gründen nicht detailliert beschrieben, namentlich genannt oder Vortriebslängen ausgewiesen. Im Zuge der Auswahl wird trotzdem sichergestellt, dass es sich um Projekte mit vorrangig tunnelbautechnischen Leistungen handelt. Um eine generelle Aussage für die Disziplin Tunnelbau zu ermöglichen ist das gesamte Spektrum der Vortriebsarten abgedeckt. Für jedes Projekt werden Diagramme und Tabellen analog zu Tab. 4.5 und Abb. 4.17 erstellt und analysiert. Diese Werte finden anschließend Eingang in die gewählte Darstellung der Veränderungswerte. Dabei werden mit Hilfe der errechneten Mittelwerte eine obere und untere Schranke für Veränderungen im Zuge der AKn-Fortschreibung bestimmt. In Kapitel 5.4 findet ein Vergleich der kalkulierten AK0-Summe und der tatsächlich eingetretenen IST-Kosten mit anschließender Bildung der gewichteten Mittelwerte statt.

### 5.1 Referenzprojekte

*Bearbeitet durch Ömer und Schulter.*

Die nun folgenden Projekte A bis C sind allesamt fertiggestellte Bauprojekte der Strabag AG, die primär Tunnelbauleistungen umfassen. Sämtliche Informationen und Daten entstammen Unterlagen, die von der Strabag AG im Zuge dieser Diplomarbeit zur Verfügung gestellt wurden. Hinsichtlich der Mittelwertberechnung werden infolge schwer vergleichbare Datensätze die Kostenarten 8 und 9 nicht berücksichtigt. Ferner ist anzumerken, dass in die Diagramme der Kalkulationsverläufe lediglich Werte und Daten der AK1 - AKn eingehen und der Ausgangswert der AK0 darin nicht ersichtlich ist. Diese strikte Trennung zwischen AK0 und AK1 wurde im Sinne der Lesbarkeit von Diagrammen und Abbildungen gewählt. Zudem sehen die Autoren die AK0 als eigenständigen Kalkulationsschritt, der als Basis für die AK1 - AKn dient.

### 5.1.1 Projekt A

Bei Projekt A [36] handelt es sich um mehrere Kilometer Tunnelvortrieb. Die beiden parallel verlaufenden Röhren wurden im Sprengvortrieb aufgeföhren und weisen Ausbruchquerschnitte zwischen 90 und 110 m<sup>2</sup> auf. Dabei wurden Überdeckungen von 5 bis 85 m unterfahren. Neben den beiden Hauptvortrieben waren mehrere Verbindungsbauwerke mit insgesamt 214 m Länge Teil der Leistung. Die nach dem Vortrieb erstellte Innenschale weist 40 bis 50 cm Dicke in der Kalotte und 50 bis 60 cm in der Sohle auf. Tab. 5.1 zeigt die relevanten bautechnischen Parameter.<sup>85</sup>

**Tab. 5.1:** Parameterübersicht Projekt A [36]

Bezeichnung	Parameter
Ausbruchquerschnitt	90 – 110 m <sup>2</sup>
Vortrieb	Sprengvortrieb
Überdeckung	5 – 85 m

Abbildung 5.1 illustriert die den verschiedenen Kostenarten zugeordneten Anteile an den Gesamtprojektkosten. Links werden die im Zuge der AK0 ermittelten Anteile, rechts die in den IST-Kosten realisierten Anteile dargestellt. KOA 1 ist durch eine Reduktion ihres Anteils von ca. 12% auf etwas über 8% gekennzeichnet, dem gegenüber steigerte sich der Anteil von KOA 2 marginal von 14% auf 15%. Eine eklatante Veränderung ist in KOA 3 zu beobachten. Anfangs mit knapp einem Drittel der Gesamtprojektkosten prognostiziert, verkleinerte sich ihr Anteil auf ca. ein Viertel der Gesamtsumme. KOA 4 spielt weder in der AK0 noch in den IST-Kosten eine relevante Rolle. Speziell hervorzuheben ist KOA 5. Ausgehend von knapp unter 20% steigerte sich diese Kostenart, welche die Nachunternehmer berücksichtigt, ihren Anteil auf über 46%. Ähnlich zu KOA 4 nahm auch KOA 6 eine untergeordnete Rolle bei diesem Projekt ein. Gehälter und sonstige Baukosten (KOA 7) reduzierten ihren Anteil um mehr als die Hälfte von ausgehend 12,66% auf 5,53%. KOA 8 kommt weder in der AK0 noch in den IST-Kosten vor. Kosten den Konzern betreffend (KOA 9) wurden im Zuge der AK0 kalkuliert, realisierten sich jedoch nicht.

<sup>85</sup>Vgl. [36] Strabag AG, S. 1

### Veränderung Kostenartenanteile über den Projektverlauf

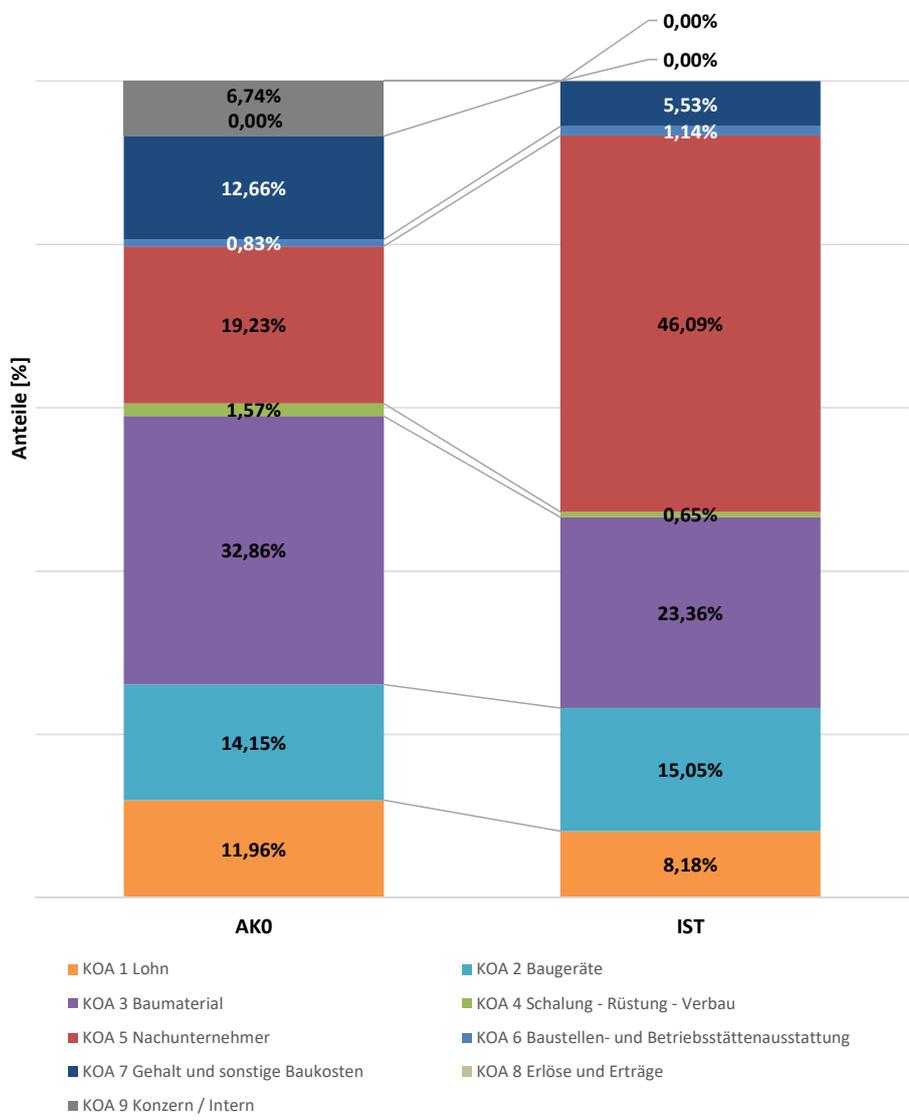
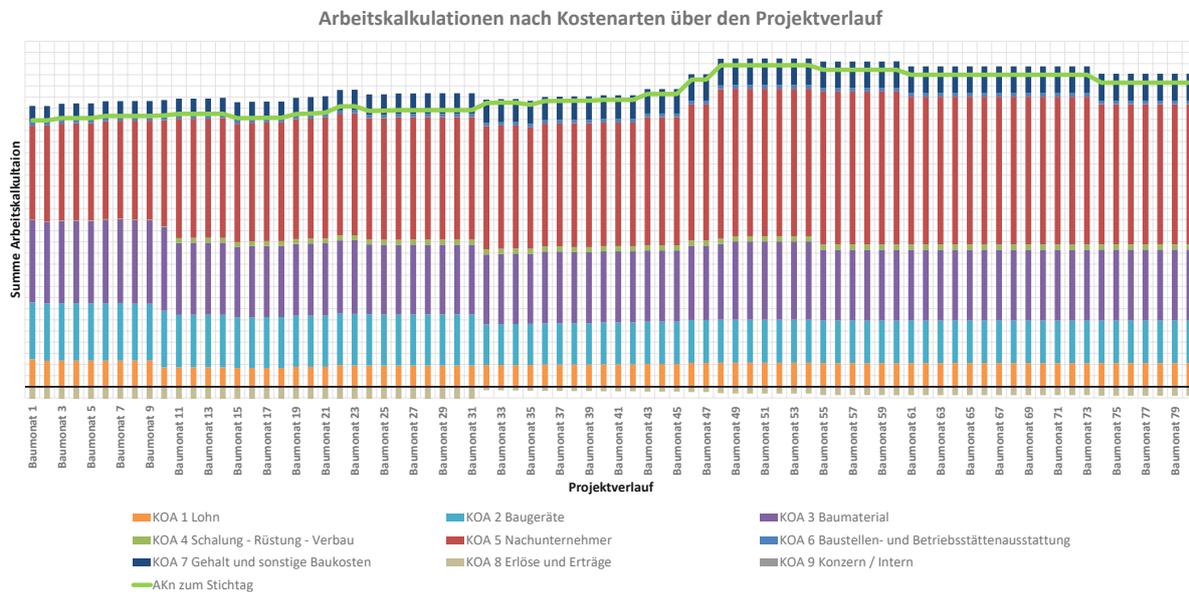


Abb. 5.1: Veränderung der Kostenanteile Projekt A

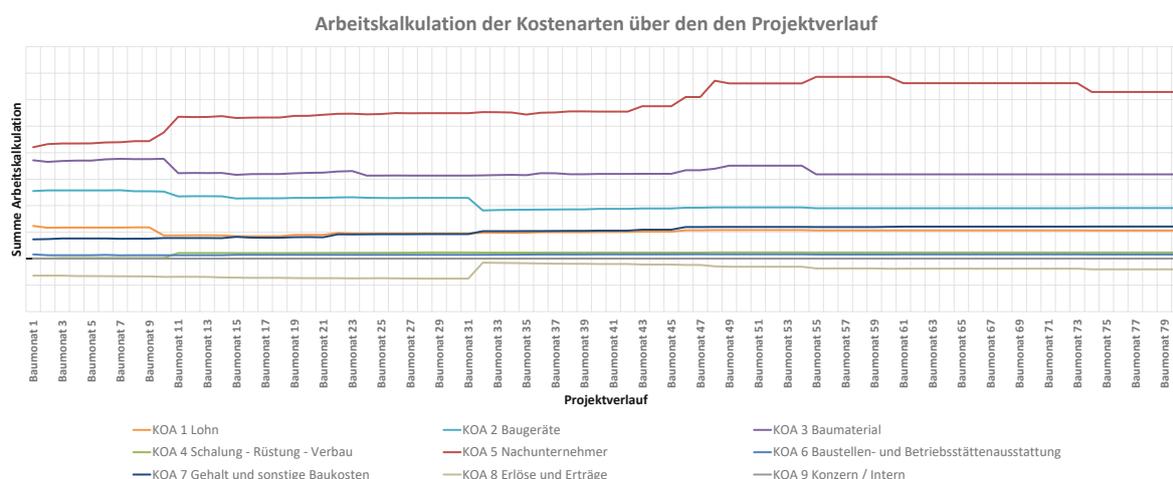
Betrachtet man Abb. 5.2, erkennt man am linken Diagrammrand die in der linken Säule von Abb. 5.1 dargestellten Anteile der Kostenarten. Ferner sieht man allerdings nicht den IST-Kostenverlauf, sondern die Entwicklung der Kalkulationssumme der AKn. Dabei ist gut ersichtlich, dass mit Baumonat 11 erstmals KOA 4 *Schalung-Rüstung-Verbau* erkennbar auftritt. Bis Baumonat 42 verhält sich die AK0 Summe relativ konstant, sie wird lediglich von einigen kleineren Korrekturen und Verschiebungen innerhalb der Kostenarten gekennzeichnet. Mit Baumonat 43 treten erstmals größere Sprünge nach oben in der Gesamtsumme auf, diese sind speziell auf KOA 5 *Nachunternehmer* zurückzuführen. KOA 3 *Baumaterial* und KOA 5 sorgen ab Baumonat 55 für mehrere kleine Reduktionen welche die AK0 Summe sichtlich verringern.

Mit dem Projektende stellt sich auch in der Kalkulation die in den IST-Kosten angetroffene Verteilung der Kostenarten ein. Dabei speziell hervorzuheben ist KOA 5, die den Hauptanteil der Kosten verursacht. Neben KOA 5 spielen die Kostenarten 1, 2, 3 und 7 eine wesentliche Rolle.



**Abb. 5.2:** Arbeitskalkulation nach Kostenarten im Projektverlauf Projekt A

Abb. 5.3 gibt die Kalkulationsverläufe über den Projektverlauf der einzelnen Kostenarten wieder. Beginnend mit KOA 1 Lohn ist sehr früh im Projekt eine Verringerung erkennbar, diese ändert sich bis zum Projektende nicht mehr. Ähnlich zu KOA 1 verhält sich KOA 2 *Baugeräte*, drei Reduktionen zu Projektbeginn und anschließend ein annähernd horizontaler Verlauf bis Projektende. Die Höhe dieser Reduktionen ist jedoch bemerkenswert, denn es handelt sich dabei um eine Verringerung in der Größenordnung von etwa 10 Mio. Euro. Von Projektbeginn weg findet sehr rasch die erste Korrektur nach unten in KOA 3 *Baumaterial* statt. Diese Reduktion drückt die Summe maßgebend nach unten. Die erneute Korrektur von KOA 3 im Baumonat 24 wird zwar durch mehrere Knicke über den restlichen Projektverlauf gestört, stellt sich allerdings zum Kalkulationsende relativ genau ein. Die Kostenarten 4 *Schalung-Rüstung-Verbau*, 6 *Baustellen- und Betriebsstättenausstattung* und 9 *Konzern/Intern* weisen fast keine Veränderungen über den Kalkulationsverlauf auf. KOA 5 *Nachunternehmer* springt in Baumonat 11 um etwa 30% nach oben verglichen mit Projektbeginn. Dieser hohe Sprung ist vermutlich auf Leistungen, die ungeachtet der AK0 nun nicht als Eigenleistung, sondern durch einen Nachunternehmer erbracht werden, zurückzuführen. Dafür spricht auch die Tatsache, dass sich sämtliche andere Kostenarten im selben Zeitraum verringern und diese direkt mit der Summe an Eigenleistungen korrelieren. Fragen wirft der erneute Anstieg von KOA 5 zwischen Baumonat 42 und Baumonat 55 auf, da in diesem Fall fast keine Reduktionen in den restlichen Kostenarten verzeichnet werden. Einen über das gesamte Projekt stetig leicht steigenden Verlauf weist KOA 7 auf. Betrachtet man die in der AK1 veranschlagte Summe von KOA 8 *Erlöse und Erträge* als 100%, entwickelte sie sich durch eine konstante negative Steigung sowie eine grobe und mehrere kleine Korrekturen hin zu etwas über 80% der Ausgangssumme.



**Abb. 5.3:** Arbeitskalkulation der Kostenarten im Projektverlauf Projekt A

**Tab. 5.2:** Werteübersicht Projekt A

Kostenart	Mittelwert $\mu$	Standardabweichung $\sigma$	Varianz $\sigma^2$
KOA 1	-26,17	6,44	0,42
KOA 2	27,27	15,33	2,38
KOA 3	-13,75	5,01	0,25
KOA 4	10,96	37,95	14,59
KOA 5	161,21	34,09	11,77
KOA 6	56,35	11,97	1,45
KOA 7	-29,81	12,20	1,51

Die in Abbildung 5.4 graphisch aufbereiteten Werte können Tab. 5.2 entnommen werden. Diese sind nach der in Kapitel 4.4 angeführten Methodik ermittelt. Betrachtet man nun die in Abb. 5.4 dargestellten Werte der Kostenarten, drängt sich KOA 5 in den Vordergrund, denn diese Kostenart weist den mit Abstand größten Mittelwert auf. Bemerkenswert ist die Tatsache, dass trotz des sehr geringen Mittelwertes von KOA 4 diese eine größere Standardabweichung als KOA 5 aufweist. Eine den Mittelwert betragsmäßig übersteigende Standardabweichung lässt den Rückschluss zu, dass es sowohl Werte über und unter der AK0-Summe gab, dies dürfte bei KOA 4 der Fall gewesen sein. Keine andere Kostenart weist dieses Merkmal auf. Sehr geringe Standardabweichungen sind bei den Kostenarten 1 und 2 zu erkennen. Den zweitgrößten Mittelwert besitzt KOA 6. Generell ist anzumerken, dass bei diesem Projekt die AK0-Summe unterschreitenden Kostenarten eher geringe Standardabweichungen aufweisen. Analog zur Auswertung des Projekt 0 in Kap. 4.4 ist anzumerken, dass erneut eine einzelne Kostenart dieses Diagramm wertetechnisch dominiert.

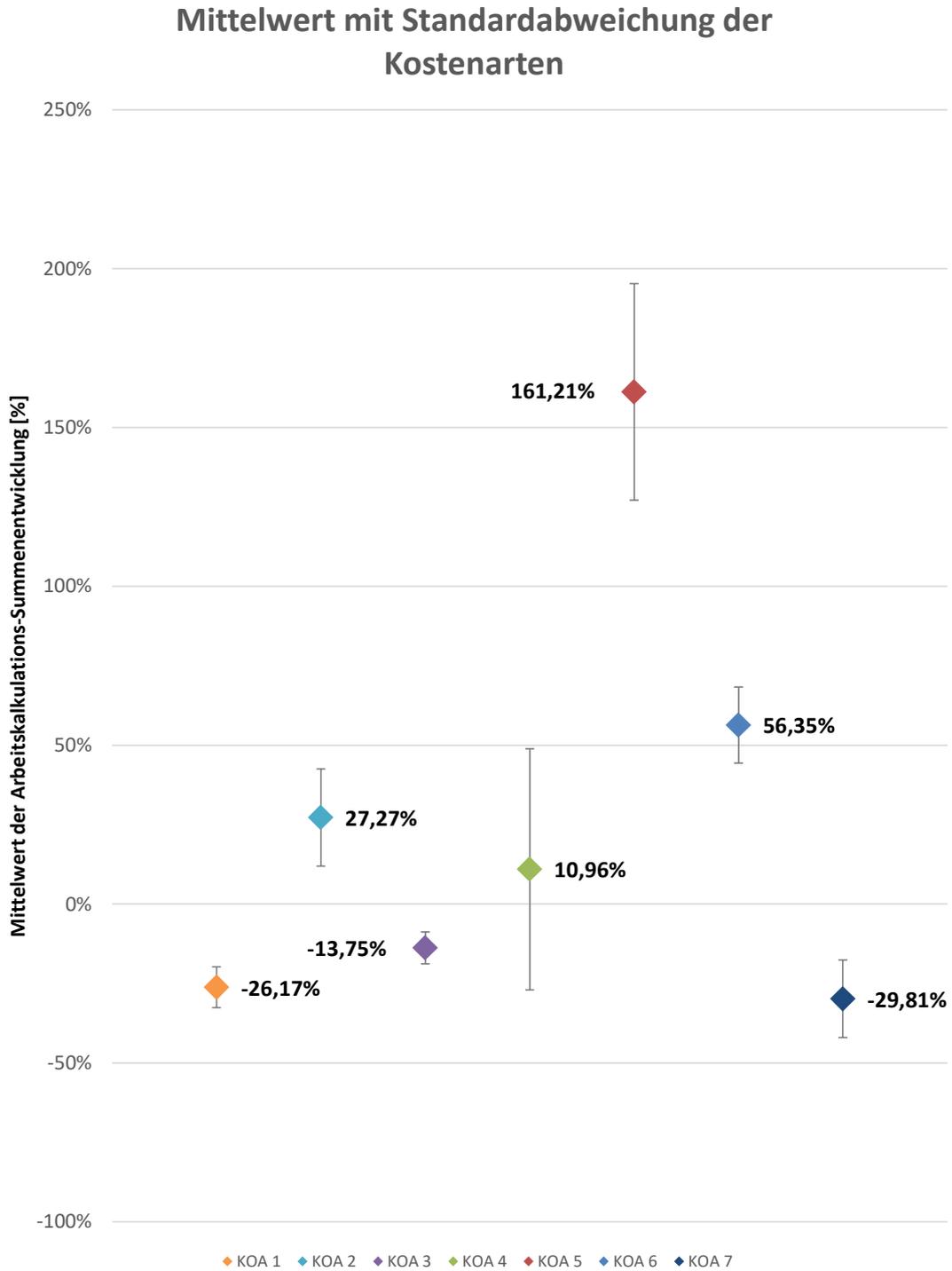


Abb. 5.4: Mittelwerte und Standardabweichung der AKn-Summentwicklung Projekt A

### 5.1.2 Projekt B

Projekt B besteht aus vier Tunnelbauwerken mit einer Gesamttunnellänge von mehreren Zehnkilometern. In den Spitzenzeiten wurde das gegenständliche Projekt mit sieben gleichzeitig laufenden Vortrieben aufgeföhren. Dabei wurde auf sechs konventionelle Vortriebe und einen maschinellen Vortrieb gesetzt. Die Sprengvortriebe wiesen Ausbruchquerschnitte von bis zu 200 m<sup>2</sup> auf, der maschinelle Vortrieb wurde mit einem Bohrdurchmesser von unter 8 m als Kreisquerschnitt hergestellt. Teil der Leistung waren auch diverse Verbindungs-, Rettungs- und Erweiterungsbauwerke. Tabelle 5.3 zeigt die relevanten bautechnischen Parameter.<sup>86</sup>

**Tab. 5.3:** Parameterübersicht Projekt B [37]

Bezeichnung	Parameter
Maschinelles Vortrieb	44%
Konventioneller Vortrieb	50%
diverse Verbindungsbauwerke	6%
Ausbruchquerschnitt	variiert
Überdeckung	variiert

Die in Abb. 5.5 dargestellten Säulen zeigen den Vergleich der Kostenartenanteile zwischen AK0 und den tatsächlich eingetretenen IST-Kosten. Betrachtet man nun den linken der beiden Säulen, weisen vier der neun Kostenarten, nämlich Kostenart 1, 2, 3 und 9, einen maßgebenden Anteil an der Gesamtsumme auf. Die restlichen Kostenarten spielen in der AK0 lediglich eine untergeordnete Rolle. Im Vergleich dazu zeigen die IST-Kosten ein etwas differenzierteres Bild. KOA 5, KOA 7 und KOA 9 steigerten ihren Anteil, so dass hier sechs der neun Kostenarten eine maßgebende Größe aufweisen. Die zum Zeitpunkt der AK0 noch zur Gänze unberücksichtigte KOA 8 (0,00%) tritt bei den IST-Kosten mit -1,01% auf. Hervorzuheben ist die Tatsache, dass zum Zeitpunkt der AK0 KOA 5 einen verschwindend geringen Anteil an den Gesamtkosten aufweist, jedoch in den IST-Kosten einen maßgeblichen Anteil annimmt. Neben KOA 5 kann KOA 9 den zweitgrößten Zuwachs verbuchen. Sie verdoppelte ihren Anteil von ausgehend 7,15% auf 16,13%.

<sup>86</sup>Vgl. [37] Strabag AG, S. 1

### Veränderung Kostenartenanteile über den Projektverlauf

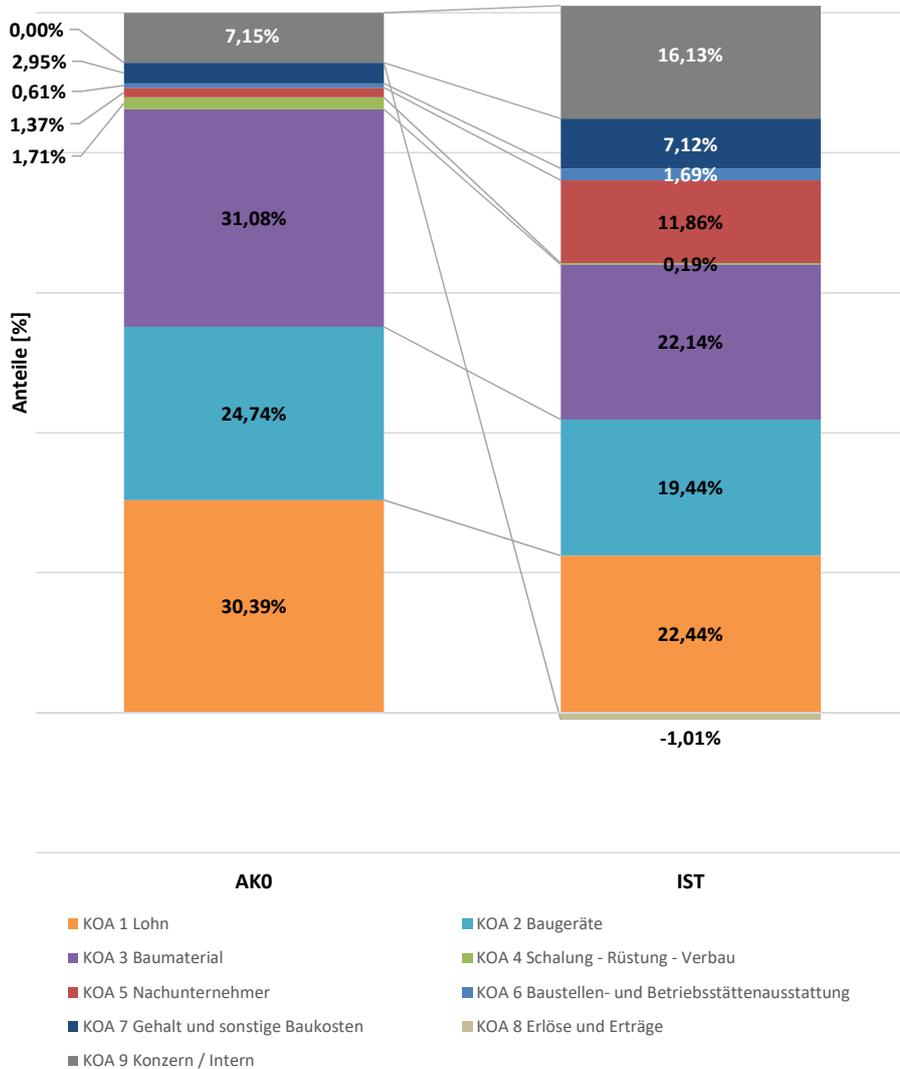


Abb. 5.5: Veränderung der Kostenanteile Projekt B

Betrachtet man den in Abb. 5.6 abgebildeten Kalkulationsverlauf in summierter Variante, kann man erkennen, dass es über den gesamten Projektverlauf eine steigende Tendenz bei KOA 8 gibt. Zwischen Baumonat 16 und 21 sind die größten Sprünge der AKn-Gesamtsumme ersichtlich, sie werden primär durch die Kostenarten 3, 5 und 8 verursacht. Gegen Projektende ist nochmals ein Anstieg erkennbar, dieser ist zum einen auf den Anstieg in KOA 8 und zum anderen auf KOA 3 zurückzuführen. Analog zu den IST-Kosten ist in der AKn-Gesamtsumme der sehr starke Zuwachs in Kostenart 9 ersichtlich.

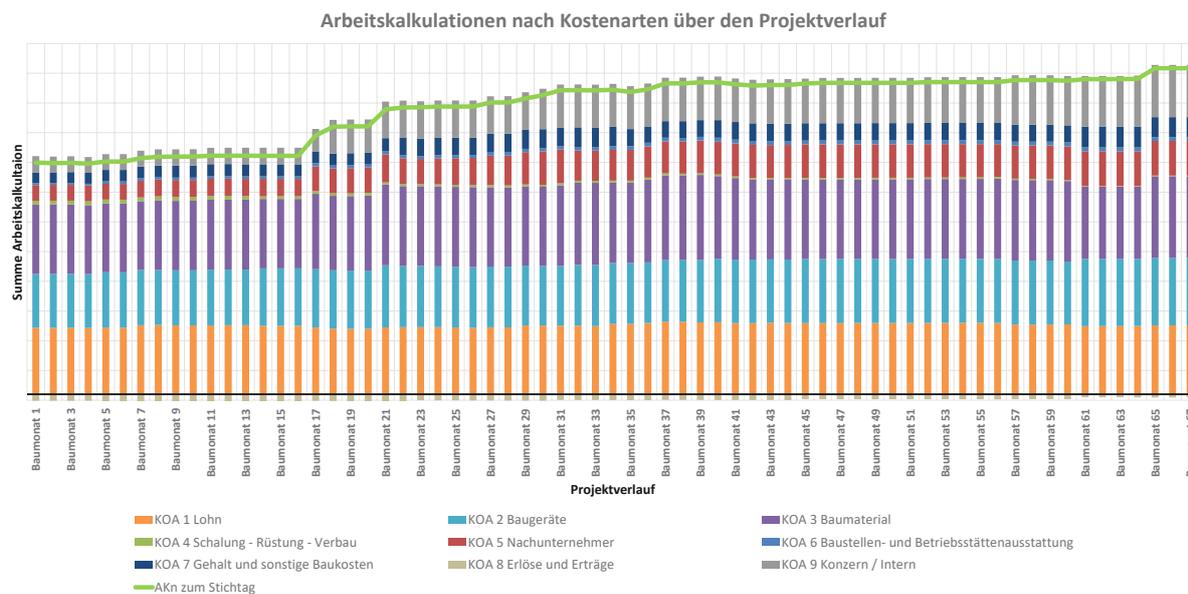


Abb. 5.6: Arbeitskalkulation nach Kostenarten im Projektverlauf Projekt B

In Abb. 5.7 gibt es bei den Kostenarten 4, 7 und 8 wenig Veränderung über den Kalkulationsverlauf, lediglich KOA 8 steigt immer wieder an. Betrachtet man den Zeitraum von Baumonat 16 und 21 wird ersichtlich, dass die Kostenarten 3, 5 und 9 hohe Zuwächse verbuchen. Eine erneute Phase größerer Veränderungen befindet sich zwischen Baumonat 26 und 40, anschließend treten bis Baumonat 56 fast keine größeren Korrekturen auf. Gegen Projektende sind Steigerungen in KOA 2, KOA 7 und KOA 9 erkennbar. Eine im Baumonat 60 berücksichtigte Reduktion von KOA 3 ist mit Baumonat 65 wieder nach oben korrigiert worden.

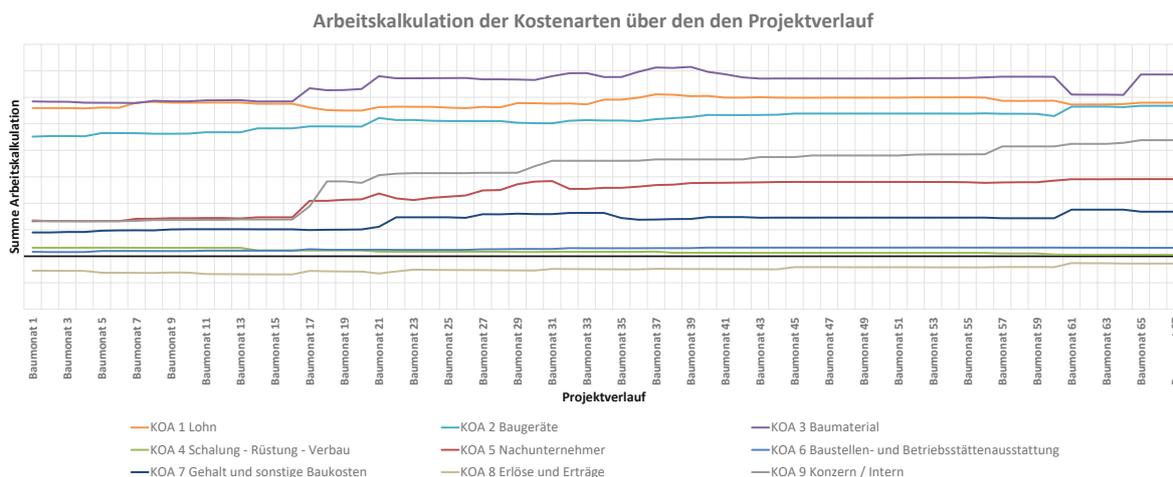


Abb. 5.7: Arbeitskalkulation der Kostenarten im Projektverlauf Projekt B

Die in Abb. 5.8 graphisch aufbereiteten Werte können Tab. 5.4 entnommen werden. Sie sind nach der in Kapitel 4.4 angeführten Methodik ermittelt. Speziell KOA 5 ist bei diesem Projekt hervorzuheben, denn Mittelwert 836,60%, Standardabweichung 230,85% und Varianz

540,98% übersteigen sämtliche andere Werte bei Weitem. Dies legt den Verdacht nahe, dass es sich dabei um einen Ausreisser nach oben handeln könnte. Bei näherer Betrachtung der zugrundeliegenden Daten wird ersichtlich, dass bereits der AK1 Wert um rund 500% über dem in der AK0 berechneten Wert liegt. Als mögliche Erklärung dafür kann eine gravierende Änderung im Bauprozess und ein dadurch stark abgeändertes Verhältnis zwischen Eigenleistung und Fremdleistung (Leistungen von Nachunternehmer) dienen. Fraglich ist die Tatsache, dass eine dafür notwendige Reduktion in anderen Kostenarten in den Daten nicht ersichtlich ist, was den Verdacht auf eine Leistungserweiterung aus der Sphäre des AG lenkt.

**Tab. 5.4:** Werteübersicht Projekt B

Kostenart	Mittelwert $\mu$	Standardabweichung $\sigma$	Varianz $\sigma^2$
KOA 1	4,05	2,92	0,09
KOA 2	12,88	7,22	0,53
KOA 3	13,70	7,41	0,56
KOA 4	-44,01	26,12	6,92
KOA 5	836,60	230,85	540,98
KOA 6	147,73	49,33	24,70
KOA 7	149,79	48,53	23,91

Betrachtet man nun die eben behandelten Werte in einem graphischen Kontext, wie in Abb. 5.8 dargestellt, wird das Ausmaß dieser Abweichung ersichtlich. Da es sich offensichtlich um einen, für diese Auswertung nicht aussagekräftigen Wert handelt, wird die Auswirkung in Punkt 5.3 eigens behandelt. Dabei wird der Unterschied zwischen einer Berechnung mit und ohne Berücksichtigung dieses als Ausreißer eines klassifizierten Datenpunktes gezeigt.

Mit Blick auf die restlichen Kostenarten sieht man, dass KOA 1, KOA 2 und KOA 3 sehr geringe Mittelwerte und auch vergleichsweise geringe Standardabweichungen aufweisen. Demgegenüber stehen die Kostenarten 6 und 7. KOA 6 hat mit 147,73% einen sehr hohen Mittelwert und eine durchaus hohe Standardabweichung mit 49,33%. Fast identische Werte, nämlich 149,79% für den Mittelwert und 48,53% für die Standardabweichung, zeigt KOA 7. Konstant unterschätzt wurde KOA 4, denn mit -44,01% Mittelwert und einer Standardabweichung von 26,12% ist nicht davon auszugehen, dass viele Veränderungswerte größer Null sind. Generell zeigt sich, dass keine der sieben Kostenarten eine Standardabweichung aufweist, die größer als ihr betragsmäßiger Mittelwert ist. Meist wurden die AK0-Summen über den Projektverlauf hin also entweder über- oder unterschätzt, selten bewegte sich ein Kalkulationsverlauf unter und danach über (oder umgekehrt) der AK0-Summe.

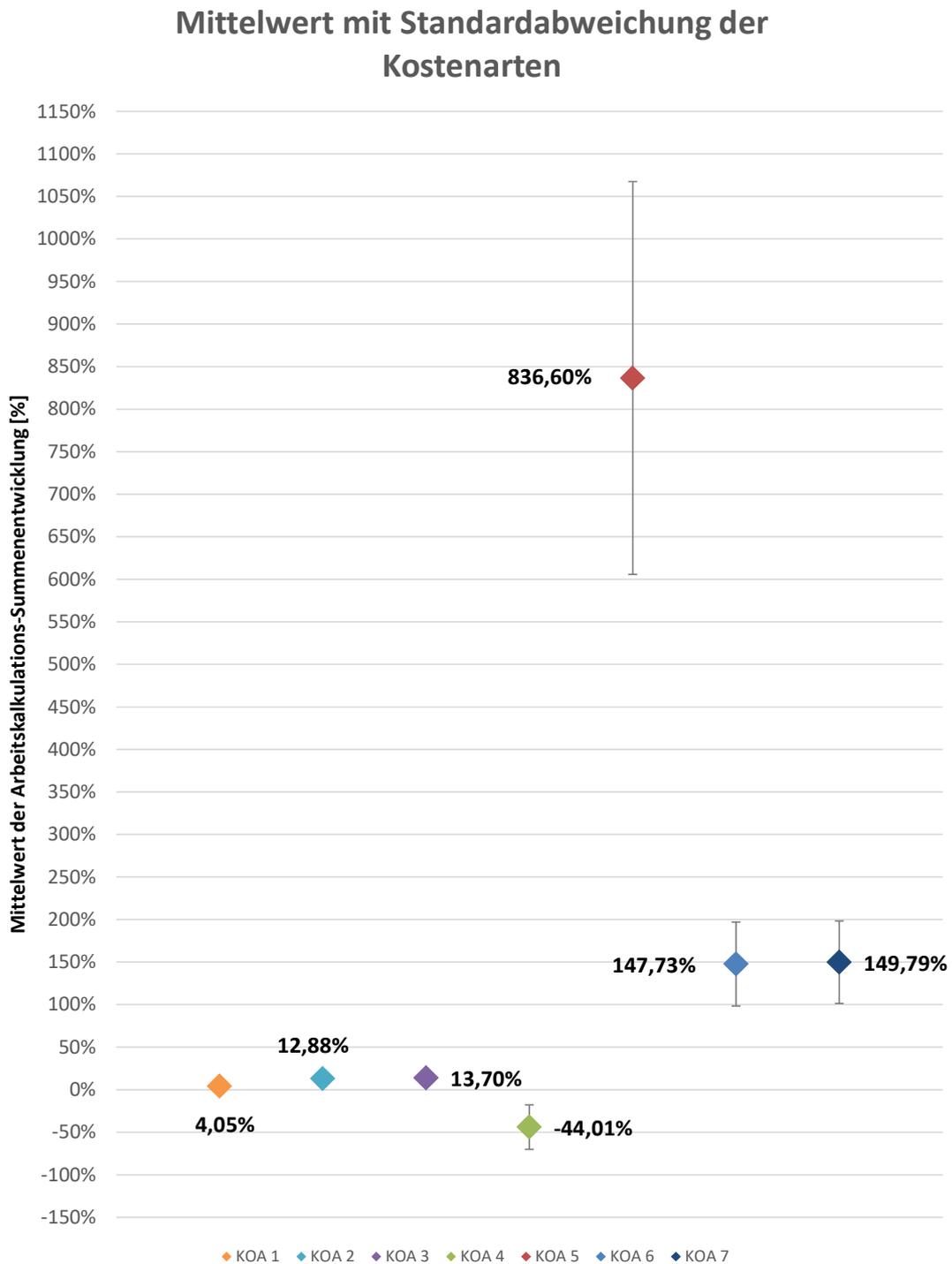


Abb. 5.8: Mittelwerte und Standardabweichung der AKn-Summentwicklung Projekt B

### 5.1.3 Projekt C

Projekt C umfasst zwei eingleisige Tunnelröhren mit mehreren Kilometern Länge. Für den Vortrieb wurden Maschinen vom Typ SM-V4, umgangssprachlich als Hydroschildmaschine bezeichnet, mit Bohrdurchmesser von über 10 m gewählt. Der Ausbau erfolgte einschalig mit 50 cm dicken Tübbing. Zusätzlich zu den beiden Hauptvortrieben waren mehrere Verbindungsbauwerke und Tunnel in offener Bauweise Teil des Projektes. Neben den tunnelbautechnischen Leistungen wurden im Zuge des gegenständlichen Projekts auch diverse Spezialtiefbau- und Ingenieurbauleistungen erbracht. Tab. 5.5 zeigt die relevanten bautechnischen Parameter.<sup>87</sup>

**Tab. 5.5:** Parameterübersicht Projekt C [38]

Bezeichnung	Parameter
Maschinelles Vortrieb	94%
Maschinentyp	Hydroschildmaschinen SM-V4
Innendurchmesser	9,60 m
Aussendurchmesser	10,97 m
Überdeckung	4 – 20 m
Offene Bauweise	6%

Die beim gegenständlichen Projekt aufgetretenen Veränderungen der Kostenartenanteile über den Projektverlauf zeigt Abb. 5.9. Dabei ist erkennbar, dass die Kostenarten 8 und 9 bei 0,00% liegen und somit weder kalkuliert noch realisiert wurden. Beginnend mit KOA 1 zeigt sich eine Anteilssteigerung von ursprünglich 6,92% auf 10,31%. Analog dazu steigt KOA 2 von ausgehend 21,94% auf 23,48%. KOA 3 verringerte sich um annähernd zwei Drittel von 24,21% auf 9,03%. Keiner großen Veränderungen ist KOA 4 unterworfen, der Anteil blieb bei knapp unter einem Prozent. Den prozentuell betrachtet größten Zuwachs weist KOA 5 auf, hier steigerte sich der Anteil ausgehend von der AK0 um ca. 8,5% auf 44,15% Anteil an den Gesamtkosten. Die verbleibenden Kostenarten 6 und 7 weisen leichte Zuwächse von 0,3% und 1,5% auf. Betrachtet man die vielen moderaten Anteilssteigerungen und die diesen Steigerungen entgegenlaufende Verringerung lediglich einer Kostenart, lässt diese Tatsache denn Schluss einer wohl stark überschätzten KOA 3 zu. Säulendiagramme dieser Art zeigen jedoch oftmals nicht die gesamte Wahrheit und es kann durchaus leicht zu Fehlinterpretationen kommen. Grund dafür ist die Tatsache, dass sich, obwohl eine Kostenart unverändert bleibt, ihr Anteil an der Gesamtsumme ändern kann. Voraussetzung dafür ist eine über den Projektverlauf angestiegene oder abgefallene Summe der Gesamtkosten. Erst bei Betrachtung der einzelnen Kalkulationsverläufe in Abb. 5.11 kann diese Tatsache zweifelsfrei geklärt werden.

<sup>87</sup>Vgl. [38] Strabag AG, S. 1

### Veränderung Kostenartenanteile über den Projektverlauf

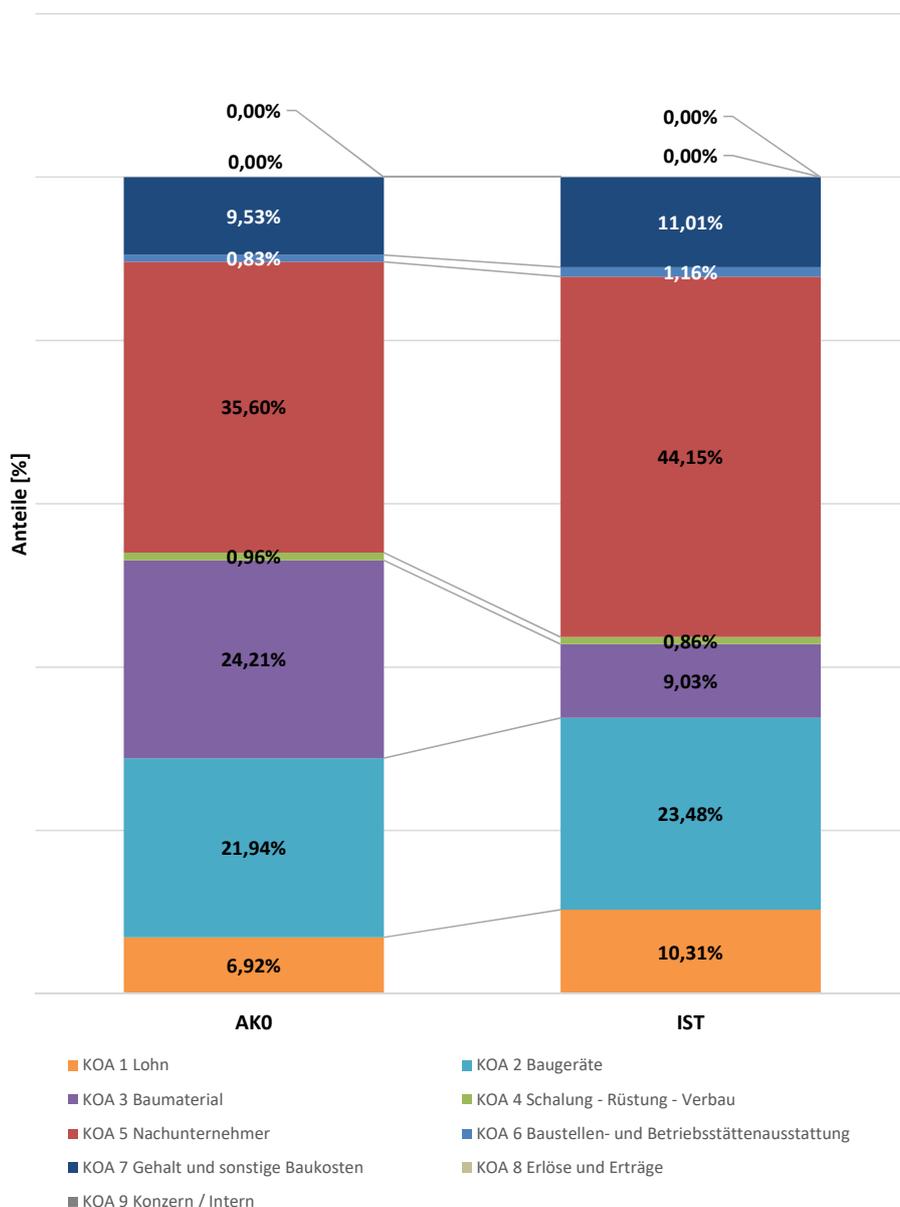
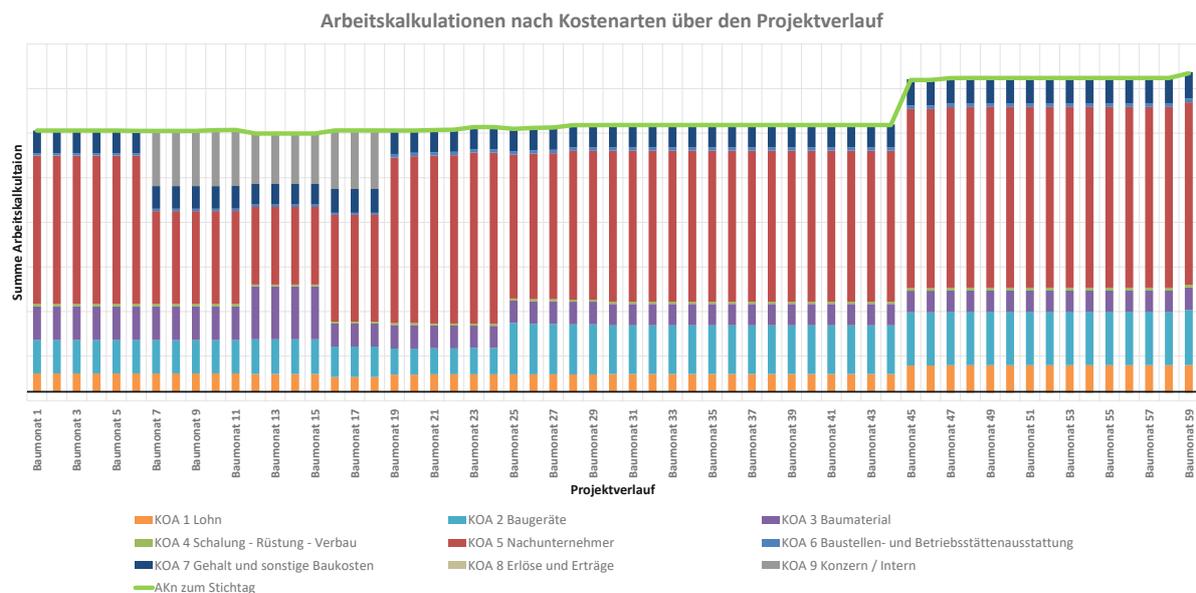


Abb. 5.9: Veränderung der Kostenanteile Projekt C

Beginnend mit dem Verlauf der AKn-Gesamtsumme ist in Abb. 5.10 erkennbar, dass sich quasi keine maßgebenden Veränderungen zwischen Projektbeginn und Baumonats 44 einstellen. Erst mit Baumonats 45 tritt eine Kostensteigerung von ca. 17% auf. Dabei stellt sich die Frage, ob es sich tatsächlich um einen derart großen Sprung handelt oder, ob die dabei berücksichtigten Kosten bereits früher bekannt waren und erst zu diesem Zeitpunkt eingearbeitet wurden. Bis hin zum Bauende stellen sich erneut keine nennenswerten Veränderungen in der AKn-Gesamtsumme ein. Mit Bauende steigt die Kalkulationssumme wieder. Betrachtet man die einzelnen Kostenartenanteile, weist der Zeitraum zwischen Baumonats 7 und 19 Auffälligkeiten auf. Die Gesamtsumme bleibt in diesem Zeitraum annähernd gleich, doch gibt es innerhalb der Kostenarten eklatante

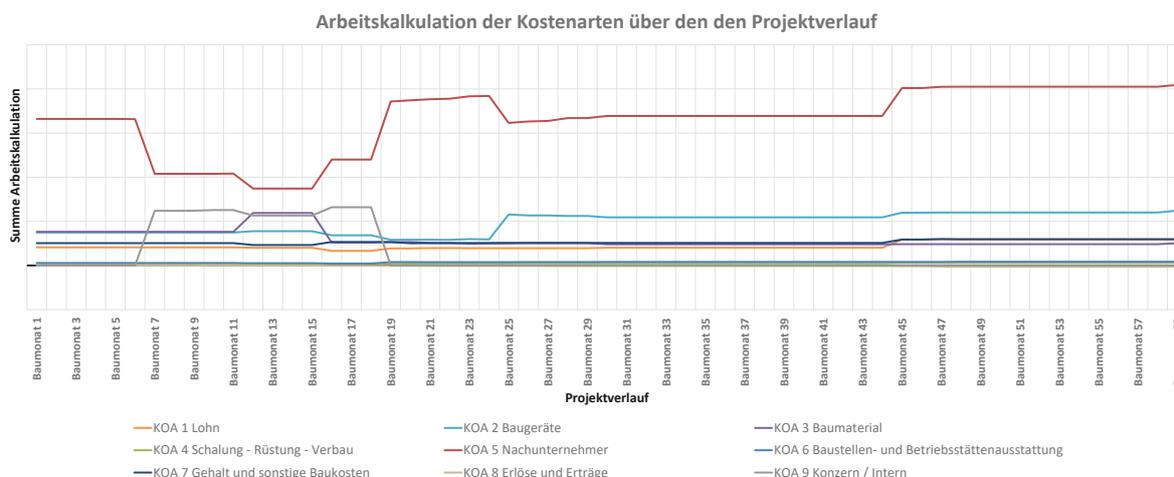
Verschiebungen. Zuerst reduziert sich KOA 5 und KOA 9 steigt im gleichen Maße an. Danach findet erneut eine Reduktion von KOA 5 statt, doch dieses Mal steigt KOA 3 um fast genau diesen Anteil. Im Baumonat 16 revidiert sich dieser Vorgang jedoch und KOA 3 fällt auf den bis dato niedrigsten Anteil. Die Kosten dafür werden erneut hauptsächlich in KOA 5 verschoben. Am Ende des zuvor angesprochenen Zeitraums (Baumonat 19) werden sämtliche zuvor getätigte Veränderungen quasi rückabgewickelt und es stellt sich ziemlich genau jenes Verhältnis ein, dass es vor den ersten Änderungen gab. Dabei verschwindet KOA 9 zur Gänze und KOA 2 reduziert sich um einen kleinen Anteil. Derartige Verwerfungen im Zuge einer Kalkulation, die ohne maßgebende Änderungen der Kalkulationsgesamtsomme einhergehen sind meist auf Konzeptänderung im Bauprozess und/oder auf Verschiebungen des Verhältnis zwischen Eigenleistung und Fremdleistung zurückzuführen. Da die aufgetretenen Sprünge primär in KOA 5 verbucht worden sind, ist wohl zweiteres zutreffend. Betrachtet man das schon fast invers verlaufende Zusammenspiel zwischen KOA 5 und KOA 9, ergibt sich der Verdacht, dass es sich nicht um Eigenleistungen, sondern konzernintern ausgeführte Leistungen handeln muss.

Zwischen Baumonat 19 und 44 passieren, abgesehen von einer Steigerung in KOA 2 im Baumonat 25, keine maßgebenden Korrekturen. Erst der eingangs erwähnte Sprung der Gesamtsomme um 17% bringt Steigerungen in den KOA 1 und KOA 5 mit sich. Die zu Bauende in der Kalkulationsgesamtsomme auftretende Steigerung ist erneut auf KOA 5 zurückzuführen.



**Abb. 5.10:** Arbeitskalkulation nach Kostenarten im Projektverlauf Projekt C

Bezieht man die zuvor gezogenen Schlüsse die KOA 5 und KOA 9 betreffend, nun in die Betrachtung von Abb. 5.11 ein, so bemerkt man sehr schnell, dass diese Annahmen zumindest für die im Baumonat 7 und 19 auftretenden Sprünge richtig sein können. Im Zeitraum zwischen Baumonat 11 und 16 verhalten sich die Kalkulationsverläufe jedoch nicht mehr invers, sondern qualitativ ähnlich. In diesem Zeitraum verlaufen die KOA 2 und KOA 3 wechselseitig. Dies spricht für zusätzlich berücksichtigte Eigenleistungen anstatt Fremd- oder konzernintern durchgeführter Leistungen in diesem Bereich. Im Baumonat 25 ist eine Reduktion in KOA 5 und ein Zuwachs in KOA 2 erkennbar. Im Baumonat 45 und zu Projektende sind moderate Steigerungen in mehreren Kostenarten zu erkennen.



**Abb. 5.11:** Arbeitskalkulation der Kostenarten im Projektverlauf Projekt C

Tab. 5.6 gibt eine Übersicht der in Abb. 5.12 graphisch abgebildeten Werte. Analog zu den anderen Referenzprojekten sind sie nach der in Kapitel 4.4 angeführten Methodik ermittelt. Betrachtet man die Mittelwerte der einzelnen Kostenarten betragsmäßig, erkennt man im Vergleich zu den vorherigen Referenzprojekten relativ geringe Werte und keine dominierende Kostenart. Demgegenüber finden sich drei Standardabweichungen, die betragsmäßig den dazugehörigen Mittelwert überschreiten. Dies ist bei den Kostenarten 1, 4 und 7 der Fall.

**Tab. 5.6:** Werteübersicht Projekt C

Kostenart	Mittelwert $\mu$	Standardabweichung $\sigma$	Varianz $\sigma^2$
KOA 1	9,82	21,60	4,74
KOA 2	-24,55	17,69	3,18
KOA 3	-58,16	13,74	1,92
KOA 4	-10,48	10,84	1,19
KOA 5	57,81	33,86	11,66
KOA 6	46,76	29,12	8,63
KOA 7	-5,56	6,94	0,49

Die eben angesprochenen Kostenarten 1, 4 und 7 deuten somit auf unter und über der AK0-Summe liegende AKn-Werte hin. Die verbleibenden Kostenarten 2, 3, 5 und 6 weisen daher hauptsächlich Kalkulationswerte entweder unter oder über der AK0-Summe auf. Generell ist anzumerken, dass gegenständlicher Datensatz als einziges Projekt mehr als drei negative Mittelwerte, nämlich vier, aufweist. Zusätzlich liegt das hier auftretende Maximum der Mittelwerte von 57,81% vergleichsweise niedrig. Das hier auftretende Minimum von -58,16% liegt knapp unter den Minima der restlichen Projekte. Allgemein zeigt sich in Abb. 5.12 eine gemischte Aufteilung der verschiedenen Kostenarten.

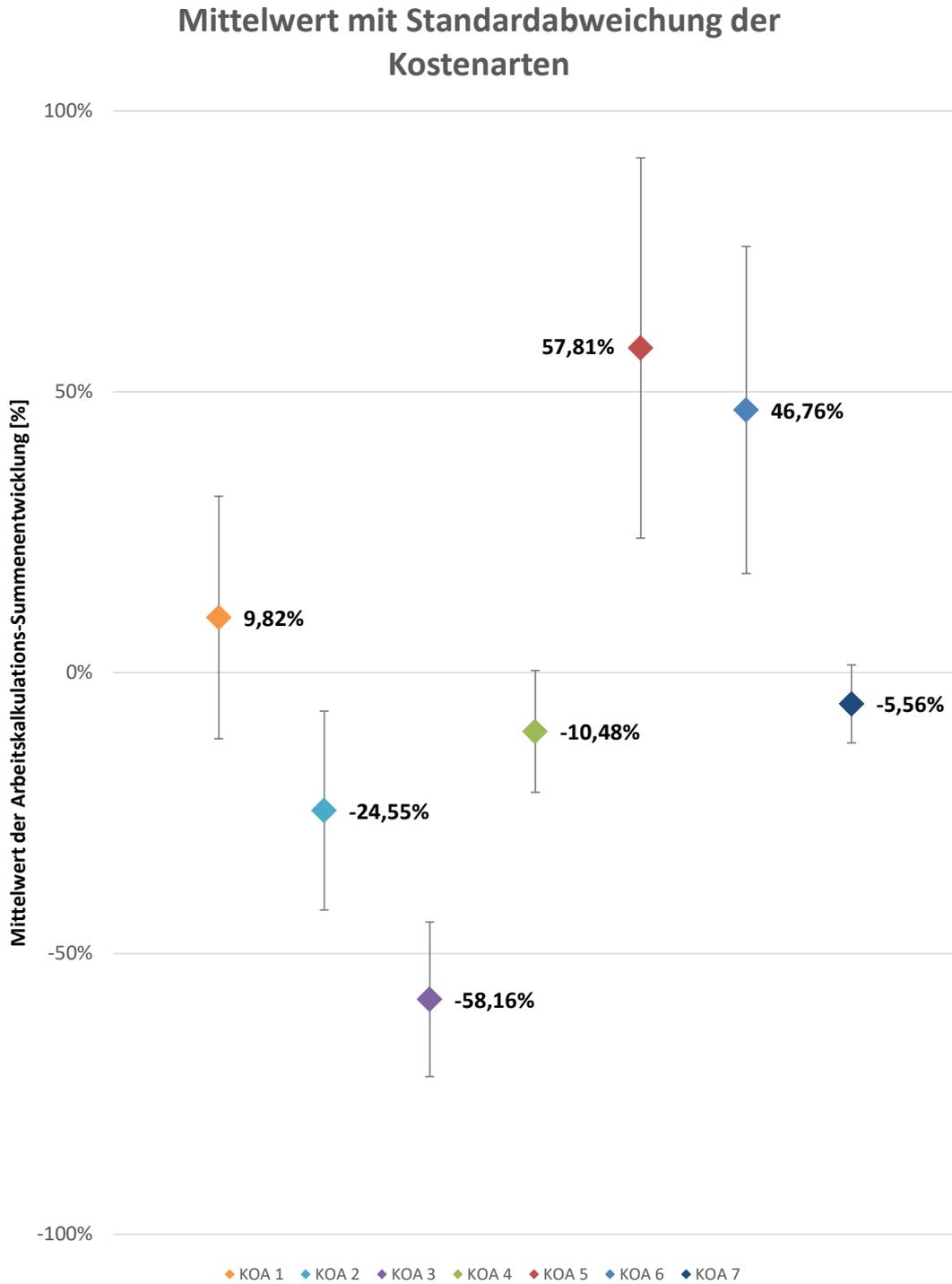


Abb. 5.12: Mittelwerte und Standardabweichung der AKn-Summentwicklung Projekt C

## 5.2 Mittelwertbildung der Veränderungswerte

Bearbeitet durch Ömer.

In diesem Kapitel werden die von den Autoren ausgewerteten Projekte 0, A, B und C zusammengeführt und bezüglich der Veränderungen im Kalkulationsverlauf analysiert. Dazu werden sämtliche Veränderungswerte, welche in den Abschnitten zuvor nach Formel 4.2, ermittelt werden, einbezogen. Unter Veränderungswerte verstehen die Autoren die in Kapitel 4.4 definierten prozentuellen Abweichungen zwischen AK0 und AKn zum jeweiligen Stichtag. Erneut wird eine Mittelwertberechnung mit Standardabweichung und Varianz durchgeführt. Dies geschieht analog zu den Formeln 4.3, 4.4 und 4.5. Dabei sei erwähnt, dass es sich nicht um eine Mittelwertbildung auf Basis der in den Kapitel 4.4, 5.1.1, 5.1.2 und 5.1.3 ermittelten Mittelwerte handelt. Sondern die Mittelwerte aller Projekte sind in dieser Mittelwertbildung ungewichtet eingegangen. Um der jeweiligen Projektdauer der einzelnen Projekte Rechnung zu tragen sind daher alle Veränderungswerte einer Kostenart zusammengefasst und zur Mittelwertberechnung herangezogen. Im Sinne einer besseren Übersicht und um Ausreißer aufzuzeigen sind in Tab. 5.7 auch Maxima und Minima der Veränderungswerte angeführt. Aus Gründen der Datenstruktur und Vergleichbarkeit der einzelnen Projekte werden Kostenart 8 und 9 in dieser Berechnung nicht berücksichtigt.

Die letzte Spalte der Tab. 5.7 zeigt Mittelwert, Standardabweichung, Varianz und die Extremwerte für die Summe aller Veränderungswerte unabhängig der jeweiligen Kostenart. Ein Mittelwert von 53,8% bedeutet also, dass jeder einzelne Kalkulationswert im Durchschnitt um mehr als 50% unterschätzt wird. Diese Aussage ist jedoch infolge der sehr hohen dazugehörigen Standardabweichung von 172,4% keinesfalls allgemein auf den einzelnen Kalkulationswert anwendbar, zeigt jedoch die große Schwankung, die im Verlauf der meisten Kalkulationen auftritt. Beachtlich ist auch die Tatsache, dass das Maximum (1058,1 %) um mehr als das Zehnfache (betragsmäßig) größer ist als das auftretende Minimum (-94,6 %). Dabei drängt sich der Schluss einer meist zu gering bewerteten Kalkulationssumme auf. Ob diese Aussage tatsächlich stichhaltig ist wird im Zuge des Vergleichs der AK0 mit den IST-Kosten in Kap. 5.4 näher erläutert.

**Tab. 5.7:** Werteübersicht aller Projekte

	KOA1	KOA2	KOA3	KOA4	KOA5	KOA6	KOA7	Gesamt
Mittelwert $\mu$	17,5%	10,9%	-13,7%	-20,8%	284,4%	70,0%	26,2%	53,8%
Standardabweichung $\sigma$	60,0%	24,9%	28,1%	41,8%	353,6%	57,4%	78,5%	172,4%
Varianz $\sigma^2$	36,2%	6,2%	7,9%	17,6%	1255,3%	33,0%	61,8%	297,3%
Maximum	184,6%	67,9%	25,2%	29,1%	1058,1%	194,5%	224,5%	1058,1%
Minimum	-39,1%	-54,8%	-66,2%	-94,6%	-16,6%	-12,2%	-50,4%	-94,6%

Abbildung 5.13 zeigt die in Tab. 5.7 angeführten Werte graphisch aufbereitet. Dabei wird stets der Mittelwert inklusive dazugehöriger Standardabweichung für die Kostenarten 1 bis 7 abgebildet. Betrachtet man die einzelnen Mittelwerte, fällt direkt KOA 5 mit 284,4% auf. Dazu ist anzumerken, dass dieser Wert durch die bei Projekt B in Kapitel 5.1.2 grobe Abweichung zwischen AK0 und AKn entsteht. Ein näherer Vergleich mit den anderen Kostenarten ist daher nicht zielführend, jedoch wird im folgenden Kapitel 5.3 die Berechnung unter Ausscheidung von KOA 5 Projekt B durchgeführt.

Abgesehen von KOA 6 bewegen sich die Mittelwerte aller Kostenarten in einem Korridor von etwa  $\pm 26\%$  um Null. KOA 6 weist einen Mittelwert von exakt 70,0% auf, hat allerdings eine

geringere Standardabweichung (57,4%) als die viel kleineren Kostenarten 1 ( $\sigma = 60,0\%$ ) und 7 ( $\sigma = 78,5\%$ ). Das ist insofern bemerkenswert da es sich somit bei KOA 6 um eine meist viel höhere, aber weniger stark schwankende Abweichung handelt. Den betragsmäßig kleinsten Mittelwert und die kleinste Standardabweichung hat KOA 2 mit einem Mittelwert von 10,9% und einer Standardabweichung von 24,9%.

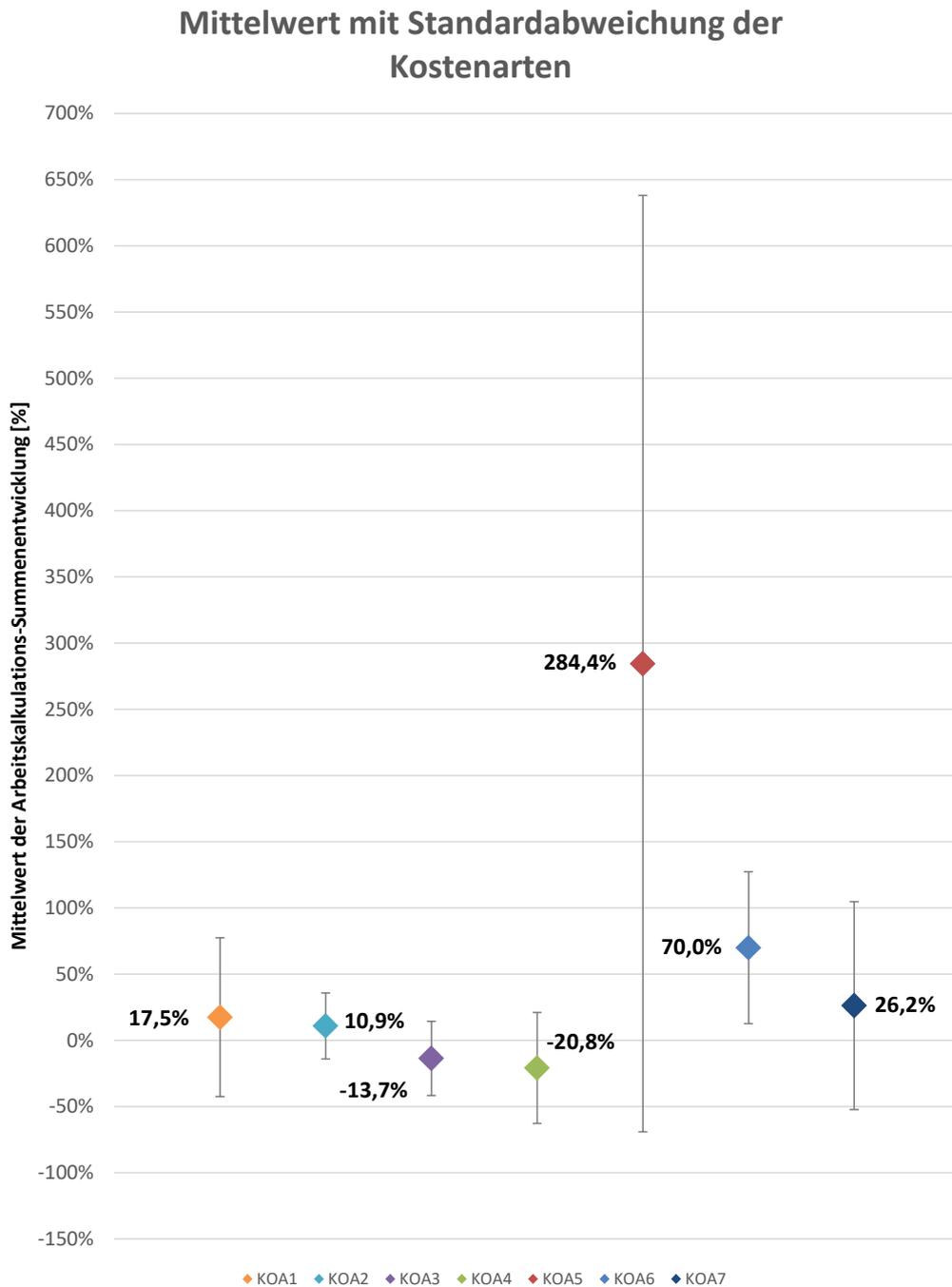


Abb. 5.13: Mittelwerte und Standardabweichung der AKn-Summenentwicklung aller Projekte

### 5.3 Mittelwertbildung ohne KOA 5 – Projekt B

Bearbeitet durch Ömer.

In diesem Punkt werden erneut die Mittelwerte analog zu Abschnitt 5.2 berechnet, jedoch wird KOA 5 aus Projekt B als Ausreißer klassifiziert und infolge ausgeschieden. Dadurch wird der Effekt einer einzelnen, stark abweichenden Kalkulation auf diese Statistik mit 4 Projekten gezeigt. Tabelle 5.8 gibt die nun neu errechneten und im Vergleich dazu, die zuvor ermittelten Werte der dadurch beeinflussten Bereiche wieder. Hier wird ersichtlich, wie groß der Einfluss eines Ausreißers auf eine Statistik mit derartiger Stichprobengröße tatsächlich ist. Der Mittelwert von KOA 5 hat sich um den Faktor 3 von 284,4% auf 89,7% reduziert und der Gesamtmittelwert von ausgehend 53,8% auf nunmehr 23,6% halbiert. Demzufolge sind auch die Standardabweichungen auf 70,1% für KOA 5 und auf 64,7% im Gesamten geschrumpft.

**Tab. 5.8:** Werteübersicht aller Projekte mit und ohne KOA 5 – Projekt B

	KOA5	ohne KOA5	Gesamt	Gesamt neu
Mittelwert	284,4%	89,7%	53,8%	23,6%
Standardabweichung	353,6%	70,1%	172,4%	64,7%
Varianz	1255,3%	49,4%	297,3%	41,9%
Maximum	1058,1%	207,9%	1058,1%	224,5%
Minimum	-16,6%	-16,6%	-94,6%	-94,6%

Abb. 5.14 zeigt die aus Tab. 5.8 entnommenen Werte graphisch aufbereitet. KOA 5 ist nachwievor bezogen auf den Mittelwert mit 89,7% die maßgebende Kostenart, hat jedoch nicht mehr die größte Standardabweichung und befindet sich in der selben Größenordnung wie die anderen Kostenarten. Die in Kapitel 5.2 getroffene Aussage zur allgemeinen Unterbewertung eines jeden Kalkulationswertes um 53,8% muss also bereits jetzt zumindest der Höhe nach hin zu 23,6% korrigiert werden. Diese Tatsache zeigt, dass eine derartige Aussage nur mit sehr großen Stichproben möglich ist.

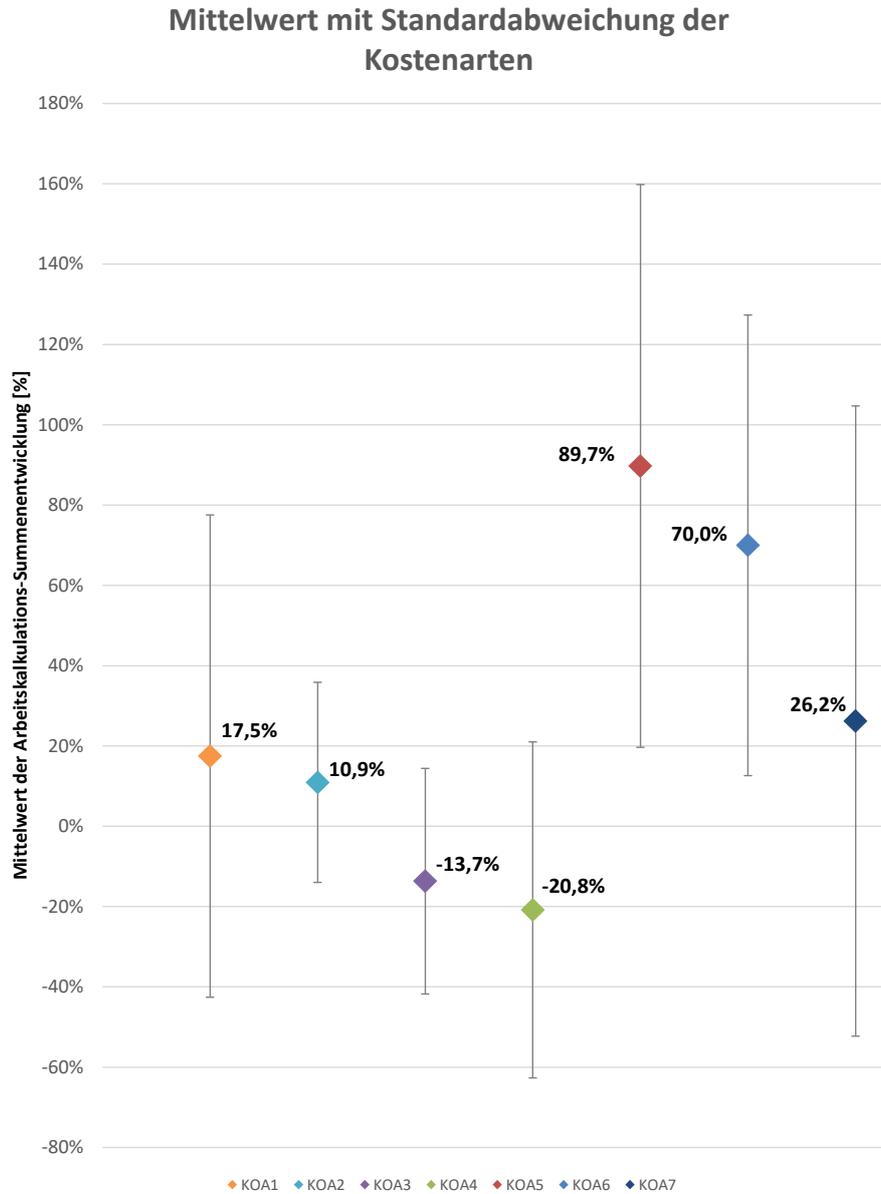


Abb. 5.14: Mittelwerte und Standardabweichung ohne KOA 5 – Projekt B

## 5.4 Bandbreitenbildung

*Bearbeitet durch Ömer und Schulter.*

Ziel dieses Kapitels ist es im Zuge der Bildung von Bandbreiten Aussagen über die wahrscheinliche Entwicklung von Projektkosten zu tätigen. Dafür werden im ersten Schritt die vier analysierten Projekte größentechnisch zueinander in Kontext gesetzt. Dem folgend wird die Zusammensetzung der Kostenartenanteile zum Zeitpunkt der AK0 mit den tatsächlich realisierten IST-Kosten verglichen. Gleichzeitig werden prozentuelle Anteile der Kostenarten für jedes Einzelprojekt ausgewiesen. Zur besseren Vergleichbarkeit werden Zahlenwerte von Projekt 0 in Grafiken mit einem

Umrechnungsfaktor von 1,5 von CAD in Euro überführt. Die restlichen Projekte sind ebenfalls auf Euro umbasiert. Im zweiten Schritt wird basierend auf den Unterschieden zwischen der in den AK0 kalkulierten Gesamtkostensummen und den IST-Kosten-Summen pro Kostenart jeweils eine Bandbreite der Kostenentwicklung ermittelt. Abschließend wird für die Projektgesamtkosten eine derartige Bandbreite errechnet, welche sämtliche Kostenarten zusammenführt. Die in den Prozess der Bandbreitenbildung eingehenden Kostenveränderungen werden nach Formel 5.1 ermittelt.

$$\frac{(IST - AK0)}{AK0} * 100 \quad (5.1)$$

Formel 5.1 gibt die prozentuelle Veränderung eines Wertes bezogen auf eine vorher definierte Basis wieder. In diesem Fall bildet die zur jeweiligen Kalkulation gehörende AK0 die Basis.

Der in Abb. 5.15 dargestellte Projektvergleich zeigt eine Spannweite der Projektkosten zum Zeitpunkt der AK0 von ausgehend 53 Mio. Euro für Projekt 0 bis zum größten Volumen für Projekt B. Bemerkenswert dabei ist, dass bereits die Lohnkosten von Projekt B in Summe höher als die gesamten Ausgangsprojektkosten von Projekt 0 sind. Dies ist insofern wichtig, da es klar den relativ geringen Einfluss von Projekt 0 auf alle Projekte umfassende Werte zeigt. Neben dem Verhältnis der vier Projekte zueinander ist die sehr geringe Größe von KOA 5 bei Projekt B zu diesem Zeitpunkt interessant, denn in Kapitel 5.2 wird KOA 5 von Projekt B infolge sehr hoher Abweichungen zwischen dem AK0-Wert und den Werten der AKn als Ausreißer qualifiziert. Betrachtet man die anderen Referenzprojekte im Vergleich, wird ersichtlich, dass KOA 5 im Zuge der AK0 bei Projekt B wohl zu gering kalkuliert wurde und somit der Grund für derart hohe Veränderungswerte im vorhergehenden Kapitel ist.

Projektvergleich KOA AK0

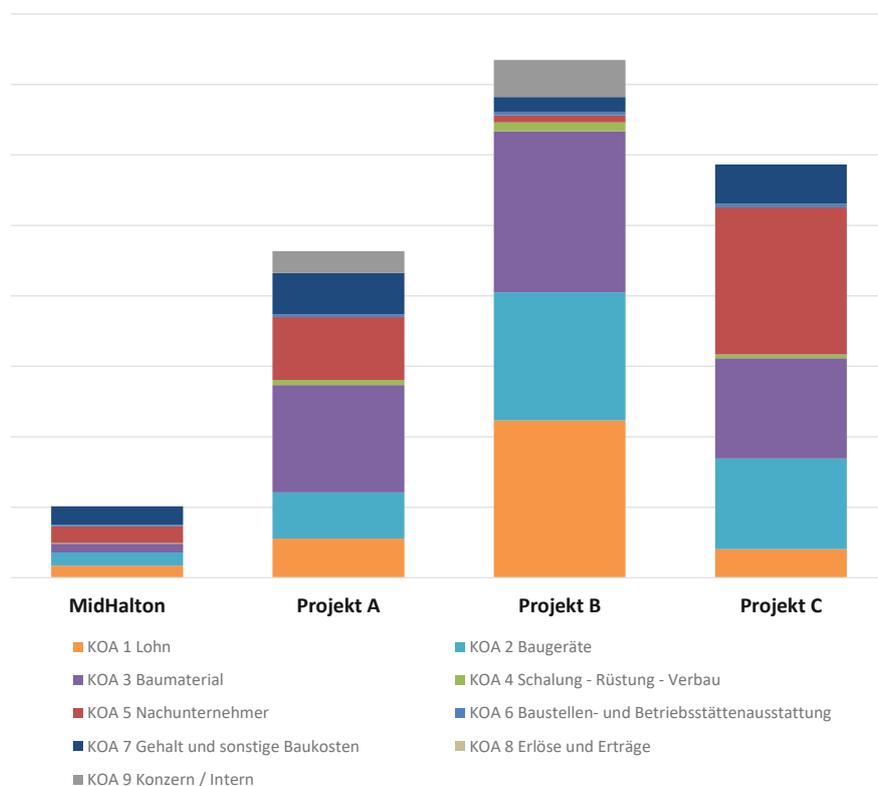
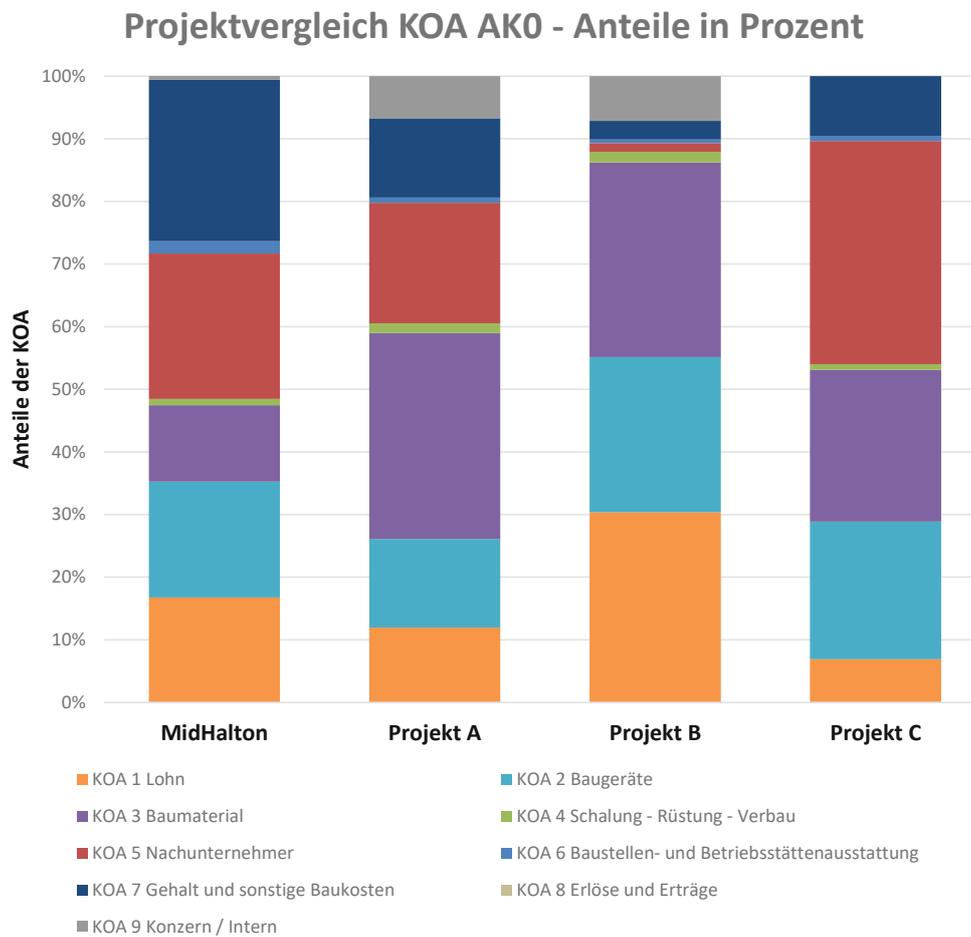


Abb. 5.15: Projektvergleich AK0-Summen in Absolutzahlen

Ein Blick auf Abb. 5.16 zeigt die prozentuellen Anteile der Kostenarten. Dabei wird neben der bereits erwähnten Tatsache der zu gering geschätzten KOA 5 bei Projekt B ein relativ kleiner Anteil von KOA 1 bei Projekt C ersichtlich. Demgegenüber steht ein sehr großer Anteil von KOA 5. Vergleicht man also die Projekte B und C, ergibt sich der Rückschluss, dass die Kostenarten 1 und 5 maßgeblich voneinander abhängig sind und sich gegengleich verhalten. KOA 2 zeigt keine eklatanten Unterschiede. Projekte A, B und C weisen einen Anteil von mindestens 25% für KOA 3 auf, nicht so das Projekt 0 (ca. 12%). Kostenarten 4 und 6 spielen lediglich untergeordnete Rollen. Speziell Projekt 0 weist einen hohen Anteil für KOA 7 (ca. 25%) auf, einen vergleichsweise niedrigen Wert zeigt Projekt B mit lediglich 3%. Bemerkenswert ist die Tatsache, dass KOA 8 nur bei Projekt 0 vorkommt und bei Projekt C die KOA 9 keinen Anteil besitzt.

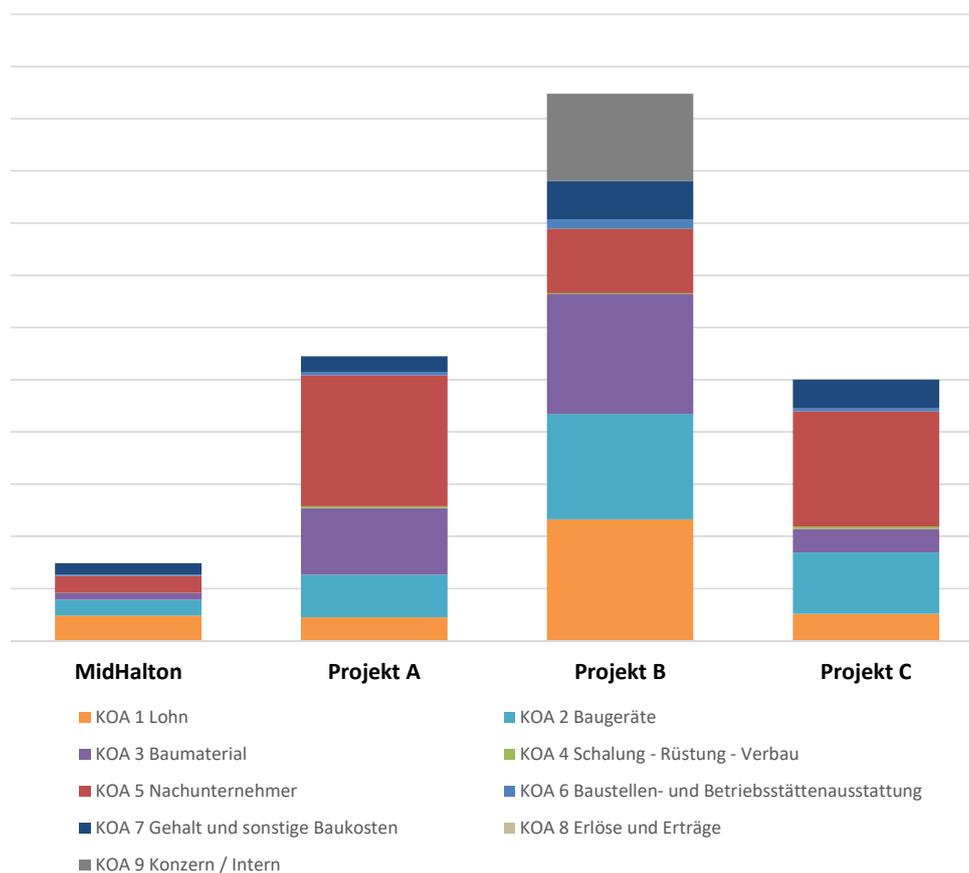


**Abb. 5.16:** Projektvergleich AK0 Summenanteile

Der in Abb. 5.17 dargestellte Projektvergleich zeigt die Höhe der IST Kosten von ca. 73 Mio. Euro für Projekt 0 bis zum Maximum von Projekt B. Analog zum Vergleich der AK0-Gesamtsummen ist auch hier ersichtlich, dass bereits die IST-Lohnkosten von Projekt B größer als die Gesamtkosten von Projekt 0 sind. Betrachtet man KOA 9 ist erkennbar, dass lediglich Projekt B einen maßgebenden Anteil an den IST-Kosten für diese Kostenart aufweist. Da es sich dabei um Kosten für konzerninterne Leistungen handelt, ist es nur nachvollziehbar, dass der Anteil für Nachunternehmer im Projektvergleich geringer ausfällt. Bei Projekt C sind die IST-Kosten im

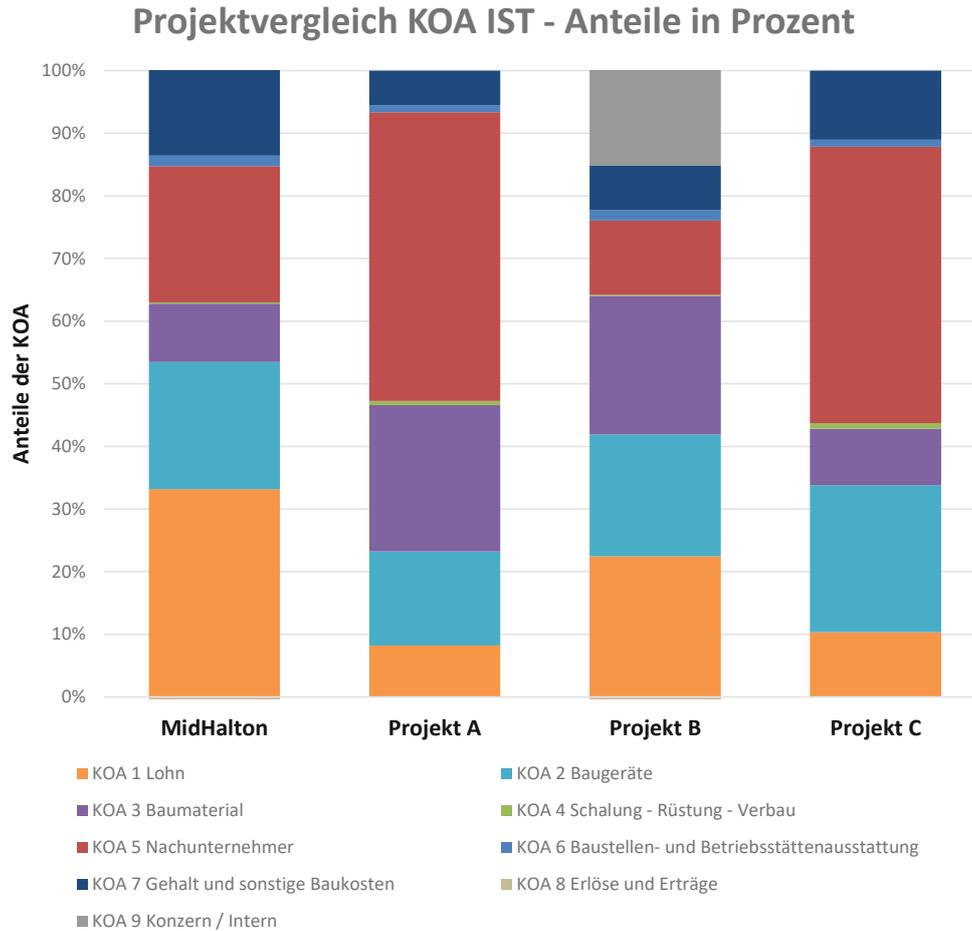
Vergleich zur AK0 nicht nur geringer ausgefallen, sondern auch die prognostizierten Anteile relativ genau eingehalten worden.

### Projektvergleich KOA IST



**Abb. 5.17:** Projektvergleich IST-Kosten Summen in Absolutzahlen

Ein Blick auf Abb. 5.18 zeigt wiederum die prozentuale Verteilung der Anteile für die IST-Kostenarten. Erneut ist hier erkennbar, dass die Kostenarten 1 und 5 voneinander abhängig sind und sich durchaus gegengleich verhalten. Eine generelle Aussage über die Zusammensetzung der Kostenartenanteile ist nicht möglich, da im Zuge der Auswertung ersichtlich wird, dass das Verhältnis zwischen Eigenleistung, Fremdleistung und konzerninterner Leistung projektspezifisch stark variiert und als maßgebender Faktor angesehen werden muss.



**Abb. 5.18:** Projektvergleich IST-Kosten Summenanteile

Führt man die einzelnen Kostenarten aller Projekte zusammen, fällt bei der Betrachtung von Abb. 5.19 auf, dass der Anteil an Nachunternehmerleistungen meist unterschätzt wird. Demgegenüber steht eine maßgebliche Überschätzung von KOA 3. Bei den restlichen Kostenarten sind keine maßgebenden Veränderungen erkennbar, jedoch ist das auch auf die unterschiedlichen Projektgesamtsummen und die dadurch fehlende Gewichtung zurückzuführen. Eine generelle Aussage zur Anteilsverteilung der IST-Kosten auf Basis der berechneten Werte aus Abb. 5.19 kann folgendermaßen aussehen:

- KOA 1 Lohn ca. 17 – 18 %
- KOA 2 Baugeräte ca. 19 – 20 %
- KOA 3 Baumaterial ca. 18 – 19 %
- KOA 4 Schalung - Rüstung - Verbau ca. 0,5 – 1 %
- KOA 5 Nachunternehmer ca. 27 – 28 %
- KOA 6 Baustellen- und Betriebsstättenausstattung ca. 1 – 2 %
- KOA 7 Gehalt und sonstige Baukosten ca. 8 – 9 %

- KOA 8 Erlöse und Erträge ca. -1 – 0 %
- KOA 9 Konzern / Intern ca. 7 – 8 %

Dabei ist zu beachten, dass jedes Tunnelbauprojekt einzigartig ist und niemals eine pauschale Aussage getroffen werden kann. Oben angeführte Bereiche entsprechen Größenordnungen und können stark abweichen.

### Veränderung Kostenartenanteile über den Projektverlauf

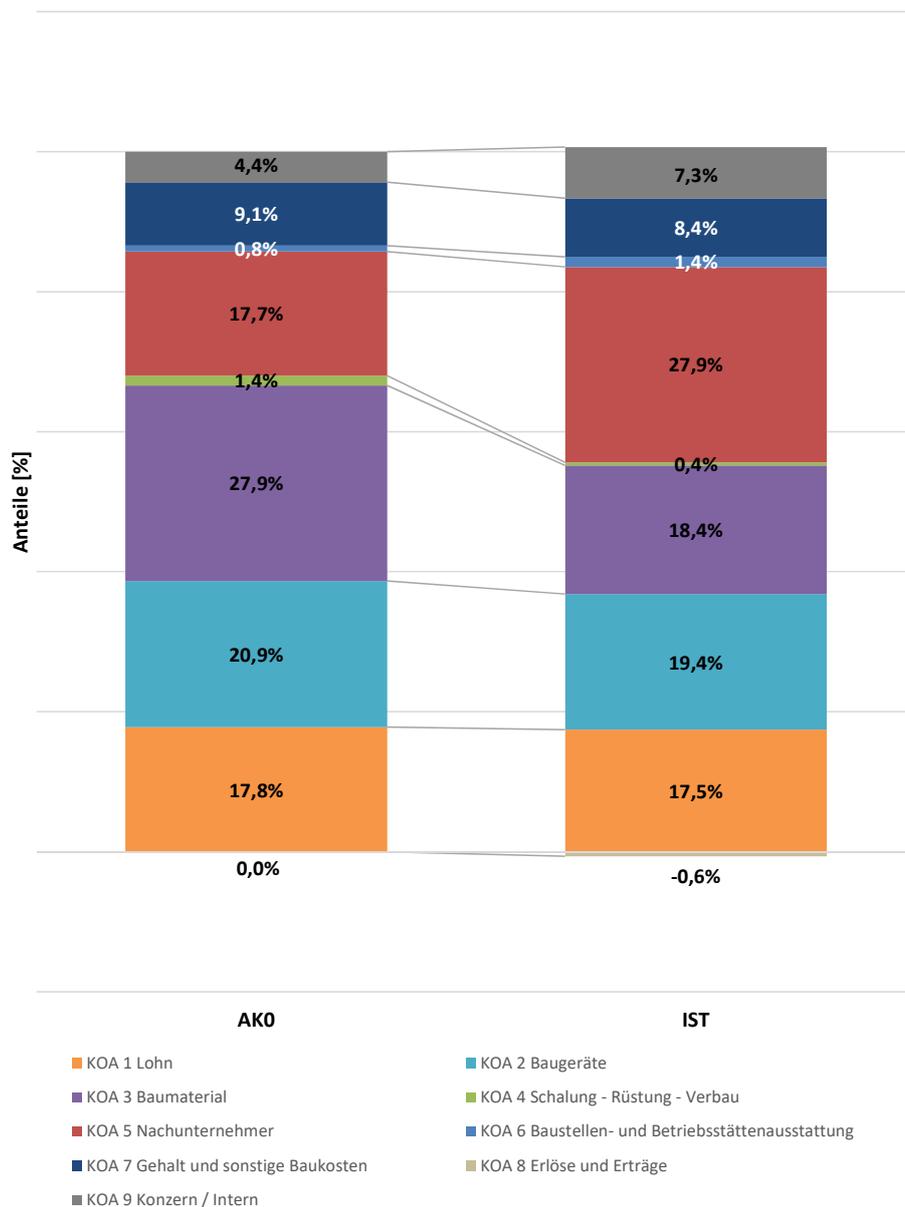
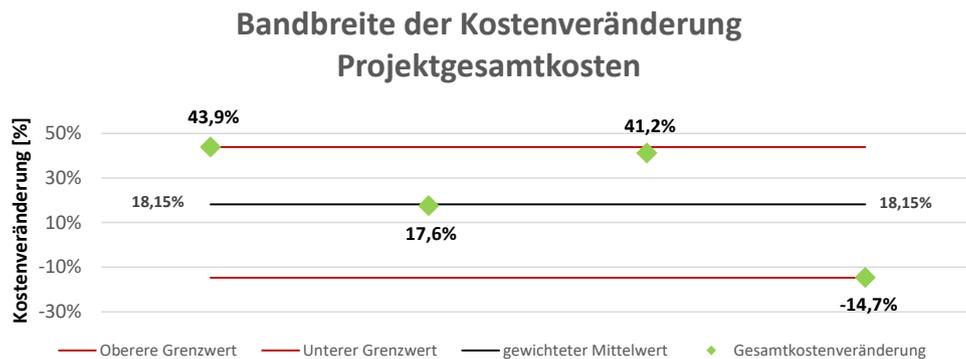


Abb. 5.19: Veränderung der Kostenanteile aller Projekte

Die nun folgenden Bandbreiten werden auf Grundlage der zuvor getätigten Auswertungen erstellt. Als oberer Grenzwert gilt stets die größte prozentuale Abweichung eines der vier Projekte. Analog dazu wird die untere Schranke durch die kleinste Abweichung repräsentiert. Zusätzlich

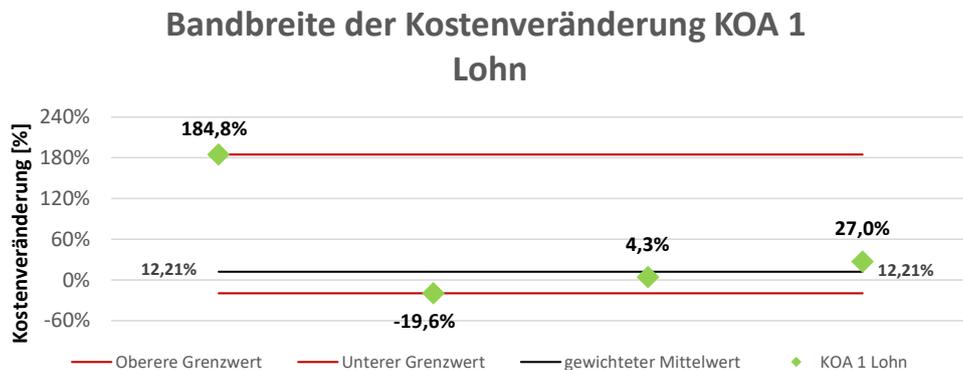
wird der nach den AK0-Summen gewichtete Mittelwert berechnet und als schwarzer horizontaler Strich eingetragen.

Abb. 5.20 gibt die Bandbreite der Projektgesamtkosten wider. Dabei ist ersichtlich, dass sich die Bandbreite von +43,9% bis -14,7% erstreckt. Sie weist also eine Schwankungsbreite von 58,6% auf. Der gewichtete Mittelwert liegt bei 18,82% und damit sehr nahe am Wert von Projekt B mit 17,6%. Speziell hervorzuheben ist die Tatsache, dass sich bei Projekt C die Gesamtkosten unter dem in der AK0 ermittelten Niveau befinden.



**Abb. 5.20:** Bandbreite Projektgesamtkosten

KOA 1 weist in Abb. 5.21 mit 12,21% einen zu den Gesamtkosten sehr ähnlichen Mittelwert auf. Die Bandbreite erstreckt sich jedoch von 184,8% für Projekt 0 bis -19,6% von Projekt A. Durch die Differenz der beiden Grenzwerte von 204,4% ergibt sich eine sehr große Bandbreite. Diese Tatsache ist auf den sehr großen oberen Grenzwert infolge Projekt 0 zurückzuführen. Die dazwischen befindlichen Werte für Projekt B und C liegen im Bereich des Mittelwertes und sind bedeutend näher am unteren Grenzwert.



**Abb. 5.21:** Bandbreite Kostenart 1

Die für KOA 2 ermittelte Bandbreite ist in Abb. 5.22 dargestellt. Mit 57,7% als oberer Grenzwert und -8,7% für den unteren Grenzwert ergibt sich eine Schwankungsbreite von 66,4%. Die Werte der restlichen Projekte liegen gut verteilt dazwischen und der gewichtete Mittelwert beläuft sich auf 10,24%. Projekt B liegt somit sehr nahe bei diesem.

### Bandbreite der Kostenveränderung KOA 2 Baugeräte

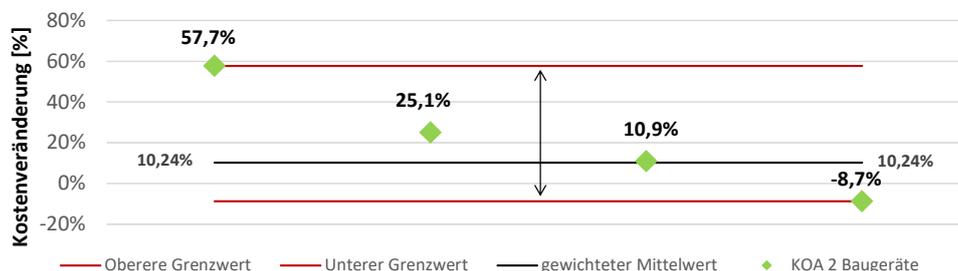


Abb. 5.22: Bandbreite Kostenart 2

Analog zu den bereits behandelten Kostenarten stellt in Abb. 5.23 das Projekt 0 den oberen Grenzwert. Dieser beläuft sich auf etwa 10,1%. Die untere Schranke ist mit -68,2% sehr niedrig und bislang der tiefste Wert. Ein erstmals negativer Mittelwert von -21,92% zeigt das Potential von KOA 3. Generell ist die Bandbreite mit 78,3% hingegen sehr groß.

### Bandbreite der Kostenveränderung KOA 3 Baumaterial

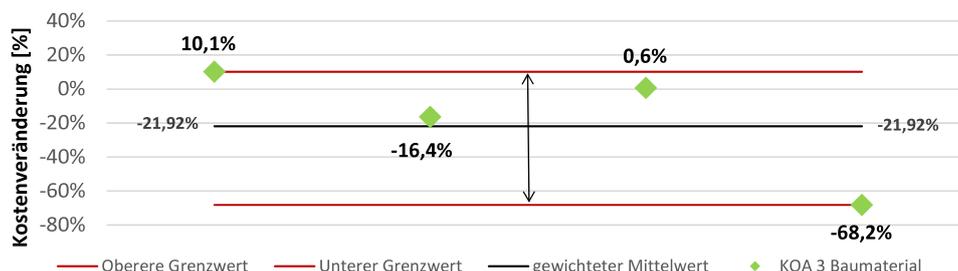


Abb. 5.23: Bandbreite Kostenart 3

Abb. 5.24 bildet die von Projekt C nach oben mit -23,5% und nach unten durch Projekt B mit -84,0% begrenzte Bandbreite von KOA 4 ab. Die Schwankungsbreite beläuft sich auf 60,5% mit einem Mittelwert von -62,02%. Bemerkenswert ist, dass sämtliche Projekte einen negativen Wert für KOA 4 aufweisen. Daher ergibt sich der gewichtete Mittelwert kleiner Null.

### Bandbreite der Kostenveränderung KOA 4 Schalung - Rüstung - Verbau

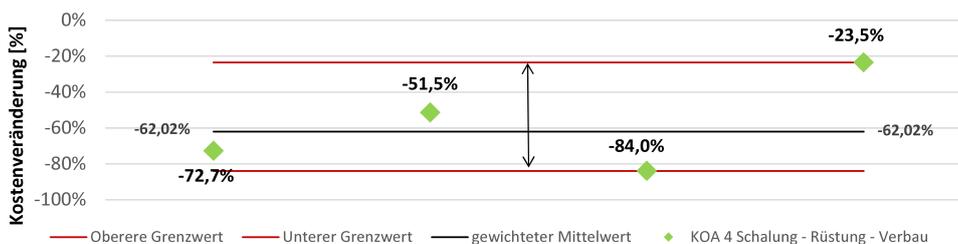
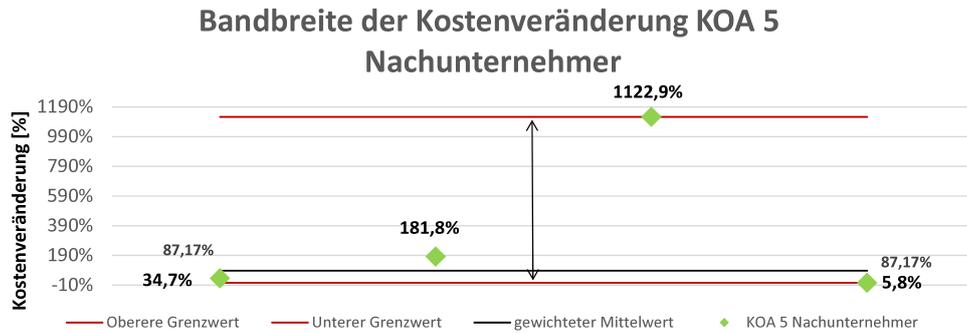


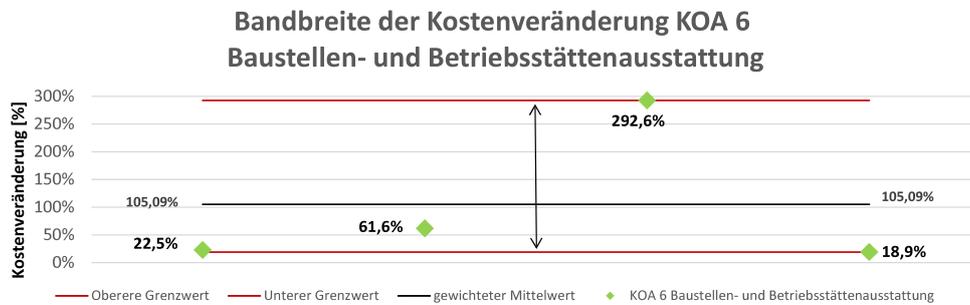
Abb. 5.24: Bandbreite Kostenart 4

Abb. 5.25 zeigt die lediglich unter Vorbehalt ermittelte Bandbreite für KOA 5. Darin beinhaltet ist der bereits in Kapitel 5.3 thematisierte Ausreißer in Projekt B. Aus Gründen der Vollständigkeit wird er im Rahmen der Bandbreitenbildung berücksichtigt. Daher ergibt sich der obere Grenzwert zu 1122,9%. Demgegenüber stehen 5,8% von Projekt C als unterer Grenzwert. Der über die AK0-Summe gewichtete Mittelwert beläuft sich auf 87,17%. Die Bandbreite kann mit 1117,1% angegeben werden.



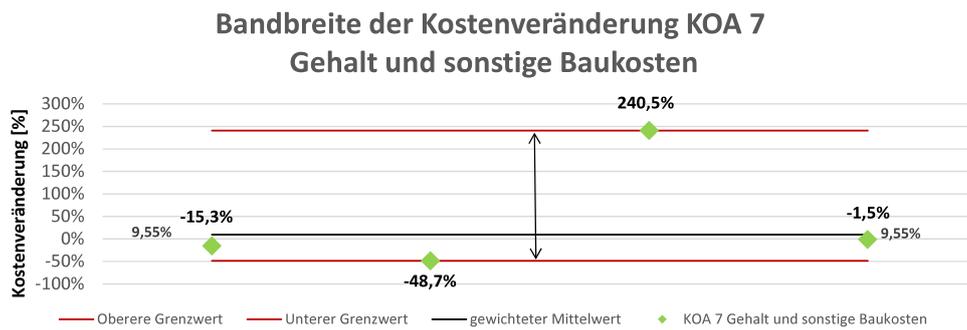
**Abb. 5.25:** Bandbreite Kostenart 5

Betrachtet man die in Abb. 5.26 gezeigten Werte, erkennt man den durchaus hohen Mittelwert von 105,09%. Dieser ergibt sich aus dem erneut durch Projekt C gestellten unteren Grenzwert von 18,9%, dem oberen Grenzwert durch Projekt B mit 292,6% und die dazwischen befindlichen Werte für die Projekte 0 und A. Daraus folgend kann die ermittelte Bandbreite mit 273,7% angegeben werden.



**Abb. 5.26:** Bandbreite Kostenart 6

KOA 7 zeigt in Abb. 5.27 zwischen den Projekten sehr unterschiedliche Werte. Mit 240,5% markiert Projekt B den oberen Grenzwert. Die untere Schranke wird durch Projekt A mit -48,7% gestellt. Der gewichtete Mittelwert von 9,55% ist unabhängig der Tatsache, dass drei der vier Werte negativ sind, größer Null. Erneut ergibt sich eine sehr große Bandbreite von 289,2%.



**Abb. 5.27:** Bandbreite Kostenart 7

Eine generelle Gültigkeit dieser Bandbreiten ist bei gegenständlicher Stichprobengröße auszuschließen, da jedes Tunnelbauprojekt eigene Charakteristika und Gegebenheiten aufweist. Primär sollen sie ein Gefühl für Schwankungsbreiten der einzelnen Kostenarten vermitteln und dem Leser verdeutlichen wie wichtig eine realistische und korrekte Arbeitskalkulation ist.



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 6

## Fazit

*Bearbeitet durch Ömer und Schulter.*

Im Rahmen des Fazits dieser Diplomarbeit werden die zu Beginn gestellten Forschungsfragen beantwortet, die Kernaussagen dieser Arbeit formuliert und der Ausblick für weitere Forschungstätigkeiten in diesem Themengebiet umrissen. Mit Hilfe der Beantwortung jener vier Forschungsfragen sollen Aussagen und Empfehlungen für künftige Kalkulationsvorgänge geschaffen werden. Dabei sind Grundaussage sowie Grundinhalt dieser Diplomarbeit als Basis für weiterführende Forschungen auf den Gebieten des Risiko- und Kostenmanagements im Tunnelbau zu verstehen.

### 6.1 Beantwortung der Forschungsfragen

Die Beantwortung der Forschungsfragen basiert zur Gänze auf den in Kap. 4 und 5 erarbeiteten Informationen. Im Zuge dieser Analysen werden vier Tunnelbauprojekte mit über 62 km Tunnelvortrieb und IST-Kosten von in Summe 111 Mio. CAD sowie 1.042 Mio. Euro bearbeitet. Trotz dieser immensen Projektgrößen sind allgemein gültige Aussagen basierend auf diesen Ergebnissen, infolge der Einzigartigkeit des Tunnelbaus sowie durch die Stichprobengröße, nicht möglich.

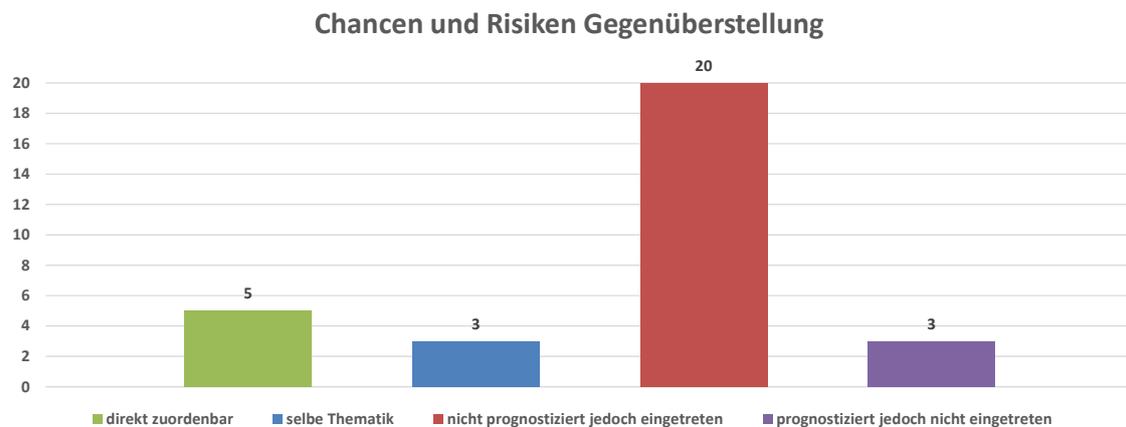
#### **Forschungsfrage 1**

**Welche Chancen und Risiken werden im Zuge einer Angebotskalkulation berücksichtigt und sind diese, sofern sie im Projektverlauf eintreten, in der laufenden Arbeitskalkulation berücksichtigt?**

Ausgehend von den durch die Strabag AG zur Verfügung gestellten Daten wird am Beispiel von Projekt 0 zuerst das Risikomanagement der Strabag SE dargestellt. Dabei tritt ein breit aufgestelltes System zur qualitativen und quantitativen Chancen- und Risikoerfassung zutage. Die dabei behandelten Themen finden Eingang in eine durch das Projektteam erstellte Chancen und Risikoliste. Dieser Liste stehen die von den Autoren im Zuge der Analyse identifizierten Kostensteigerungen sowie -reduktionen gegenüber. Um einen direkten bzw. thematischen Konnex zwischen den prognostizierten und tatsächlich eingetretenen Elementen herzustellen bedienen sich die Autoren der Ursachenkategorien die im Zuge des Risikomanagements der Strabag SE festgelegt wurden. Die dabei ermittelten Auftretenshäufigkeiten der einzelnen Ursachenkategorien in Kap. 4.2.2 sind in Tab. 4.6 zu entnehmen. Speziell hervorzuheben ist das Verhältnis von Chancen zu Risiken, welches sich hier mit 1 : 3 ergibt. Vergleicht man beide Tabellen, ist zu erkennen, dass die in den Chancen angeführte Substituierung des Schachtausbaus die eingetretenen Konzeptänderungen der Inneschale thematisch gut abdeckt. Auf Seiten der Risiken können geologische Risiken dem berücksichtigten starken Wasserzutritt zugeordnet werden. Darüber hinaus ist eine direkte Zuordnung der Forcierungsmaßnahmen mittels Samstagsarbeit zu den tatsächlich gesetzten Forcierungsmaßnahmen möglich. Erhöhte Erstsicherungsmaßnahmen überschneiden

sich thematisch mit Risiken für Leistungsansätzen im Vortrieb. Unvorhersehbares ist im Zuge dieser Arbeit nicht zuordenbar und wurde daher nicht weiter untersucht.

Den tatsächlich aufgetretenen Elementen sind in Kap. 4.2.2 Tab. 4.4 aufgelisteten prognostizierten Chancen und Risiken gegenübergestellt. Dabei hervorzuheben ist, dass sich in den prognostizierten Elementen ein Verhältnis von 1 : 2,5 zwischen Chancen und Risiken einstellt. Dieses Faktor ist dem der tatsächlich eingetretenen Elemente (1 : 3) sehr ähnlich. Im Rahmen der Gegenüberstellung finden vier verschiedene Möglichkeiten der Zuordnung Anwendung. Das Ergebnis ist Abb. 6.1 zu entnehmen. Darin ist ersichtlich, dass jene 28 Chancen und Risiken aus Tab. 4.6 in den ersten drei Säulen auftreten. Die vierte Säule bildet die von dem Projektteam und der Preiskommission in Tab. 4.7 berücksichtigten, jedoch nicht eingetretenen, Elemente ab.



**Abb. 6.1:** Übersicht Gegenüberstellung Chancen und Risiken

Das Ergebnis dieser Fragestellung ist in wenigen Sätzen zusammengefasst und lautet folgendermaßen: *Die von der Strabag AG prognostizierten Chancen und Risiken konnten von den Autoren zu einem nicht unwesentlichen Anteil aufgespürt werden. Das sowohl von den Autoren ermittelte und von der Strabag AG prognostizierte Verhältnis zwischen Chancen und Risiken von etwa 1 : 3 zeigt von guter Voraussicht seitens des durchgeführten Risikomanagements. In den Bereichen der Kosten- und Leistungsansätze, speziell bei den Vortriebsleistungen, empfiehlt es sich weitere Risiken im Rahmen der Preiskommission bzw. konservativere Leistungsansätze in der Kalkulation zu berücksichtigen. Der Vollständigkeit halber muss jedoch erwähnt werden, dass ein Angebot am Markt noch konkurrenzfähig bleiben muss.*

### Forschungsfrage 2

**Wie verändern sich die einzelnen Kostenarten im Kalkulationsverlauf? Welche Kostenarten weisen besonders große Schwankungen über den Projektverlauf auf? Welche Schlüsse können daraus für zukünftige Kalkulationen gezogen werden?**

Die Basis zur Beantwortung dieser Fragestellung bildet die in Kap. 5.2 ermittelten Werte aus Tab. 6.1. Die darin beinhalteten Werte sind nach der in Kap. 4.4 entworfenen Vorgehensweise errechnet. Zuerst sind die prozentualen Veränderungswerte jeder AKn auf die AK0 berechnet worden. Dies ist bei jedem Projekt und KOA geschehen. Anschließend ist über alle Werte der Mittelwert gebildet worden, aufgeteilt auf die einzelnen KOA. Bei näherer Betrachtung fällt der bei KOA 5, im Gegensatz zu den restlichen Kostenarten, sichtlich erhöhte Mittelwert von 284,4% auf. Im Rahmen der Analyse konnten von den Autoren ein in KOA 5 bei Projekt B

befindlicher Ausreißer identifiziert werden. Demzufolge wurde der betroffene Datensatz in Kap. 5.3 ausgeschieden.

**Tab. 6.1:** Werteübersicht aller Projekte

	KOA1	KOA2	KOA3	KOA4	KOA5	KOA6	KOA7	Gesamt
Mittelwert $\mu$	17,5%	10,9%	-13,7%	-20,8%	284,4%	70,0%	26,2%	53,8%
Standardabweichung $\sigma$	60,0%	24,9%	28,1%	41,8%	353,6%	57,4%	78,5%	172,4%
Varianz $\sigma^2$	36,2%	6,2%	7,9%	17,6%	1255,3%	33,0%	61,8%	297,3%
Maximum	184,6%	67,9%	25,2%	29,1%	1058,1%	194,5%	224,5%	1058,1%
Minimum	-39,1%	-54,8%	-66,2%	-94,6%	-16,6%	-12,2%	-50,4%	-94,6%

Tab. 6.2 zeigt die im Rahmen der adaptierten Berechnung, ohne KOA 5 – Projekt B, ermittelten Werte. Dabei ersichtlich ist die große Reduktion der Werte von KOA 5 und des Gesamtmittelwertes. Als Gesamtmittelwert wird jener Mittelwert verstanden, der sämtliche Veränderungswerte aller Kostenarten und Projekte enthält. Ein ähnliches Bild zeigt sich bei der Standardabweichung, die sich von 353,6% auf 70,1% für KOA 5 und von 172,4% auf 64,7% für den Gesamtmittelwert verändert. Gegenständliches Beispiel zeigt somit den Einfluss eines einzigen „aus dem Rahmen fallenden“ Wertes auf eine Statistik mit Stichprobengröße 4.

**Tab. 6.2:** Werteübersicht aller Projekte mit und ohne KOA 5 – Projekt B

	KOA5	ohne KOA5	Gesamt	Gesamt neu
Mittelwert	284,4%	89,7%	53,8%	23,6%
Standardabweichung	353,6%	70,1%	172,4%	64,7%
Varianz	1255,3%	49,4%	297,3%	41,9%
Maximum	1058,1%	207,9%	1058,1%	224,5%
Minimum	-16,6%	-16,6%	-94,6%	-94,6%

Die im Rahmen der Fragestellung gewünschten Aussagen über den Kalkulationsverlauf und die darin beinhalteten Kostenarten liefert Abb. 6.2. Darin abgebildet sind die den Kostenarten zugehörigen Mittelwerte sowie Standardabweichungen unter Berücksichtigung der in Tab. 6.2 neu ermittelten Werte für KOA 5. Es ist ersichtlich, dass vier der sieben Kostenarten einen Mittelwert kleiner als der Gesamtmittelwert von 23,6% aufweisen. Der Kalkulationsverlauf der Kostenarten 1, 2, 3 und 4 bewegt sich somit überdurchschnittlich nahe an den dazugehörigen AK0-Werten. KOA 5 und KOA 6 befinden sich mit ihren Mittelwerten von 89,7% sowie 70,0% weit über dem Gesamtmittelwert und weichen daher stark von den AK0-Werten ab. Mit 26,2% weicht KOA 7 nur minimal vom Gesamtmittelwert ab. Bezugnehmend auf die den Mittelwerten zugeordneten Standardabweichungen sind die Kostenarten 1, 2, 3, 4, 5 und im Speziellen 7 hervorzuheben. All diese Kostenarten weisen Standardabweichungen auf, die ihren dazugehörigen Mittelwert übersteigen. Das bedeutet, dass die auftretenden Veränderungswerte oftmals ihr Vorzeichen ändern und daher der Kalkulationsverlauf die AK0-Summe nicht konstant in eine Richtung (oben/unten) über- oder unterschreitet. Bei den Kostenarten 5 und 6 ist das nicht der Fall, hier werden die AK0-Summen primär überschritten. Bemerkenswert ist die Größe der

Standardabweichung von KOA 7. Diese bildet mit 78,5% das Maximum und steht einem eher geringen Mittelwert gegenüber. Das spricht für eine stark schwankende, jedoch meist geringere Abweichung der Kalkulation bei KOA 7.

### Mittelwert mit Standardabweichung der Kostenarten

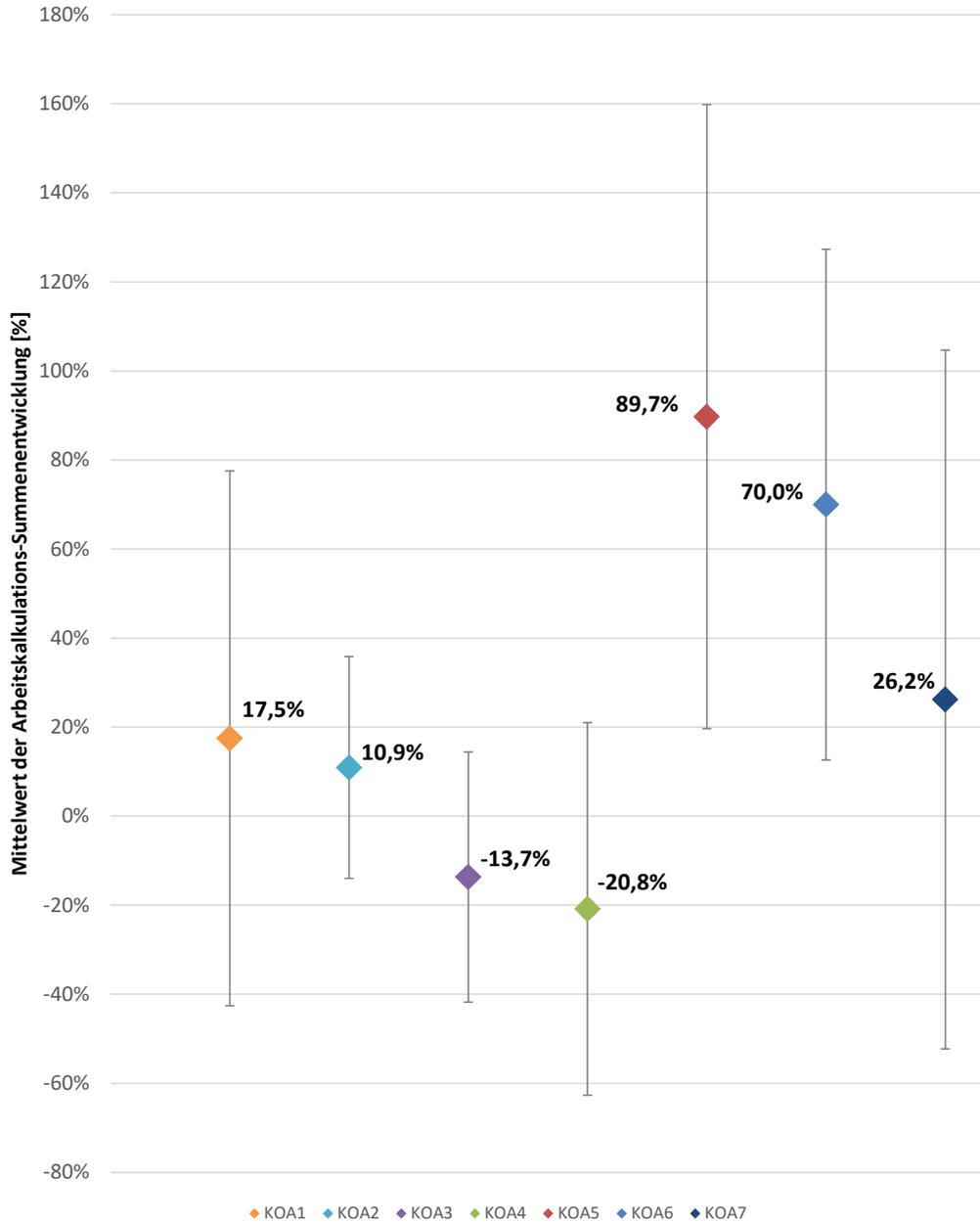


Abb. 6.2: Mittelwerte und Standardabweichung ohne KOA 5 – Projekt B

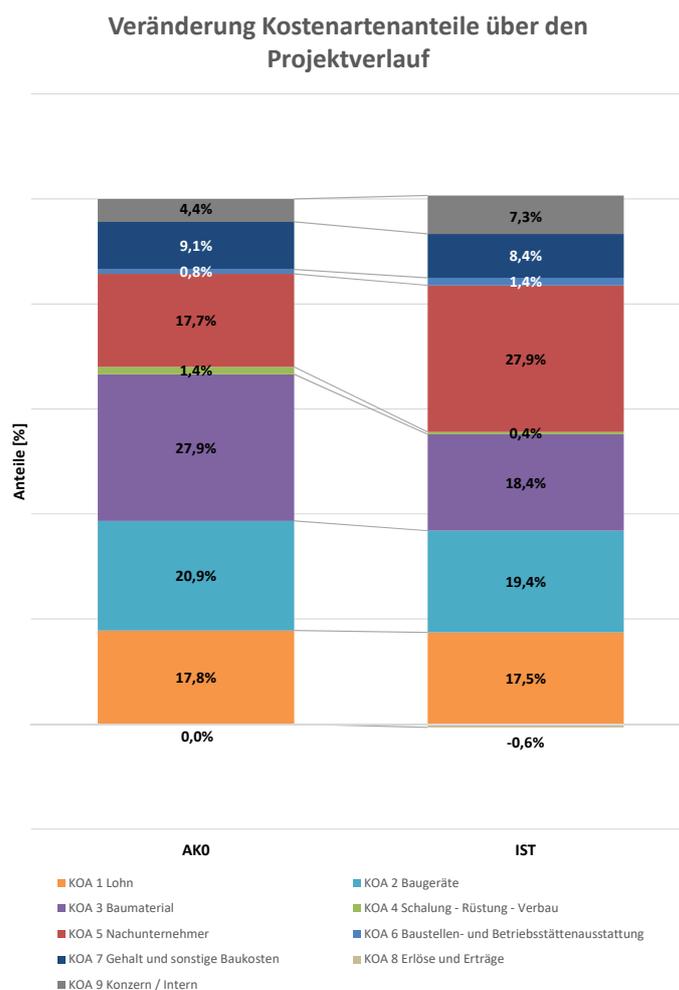
Zusammengefasst kann folgende Schlussfolgerung gezogen werden: *Die im Rahmen der Mittelwertberechnung ermittelten Veränderungswerte bewegen sich durchschnittlich bei 23,6% und schwanken in einem Korridor von ±64,7% um diesen Wert. Eine allgemeine Aussage, dass jeder Kalkulationswert grundsätzlich um 23,6% unterschätzt wurde, ist jedoch nicht treffend, da jede*

*Kostenart eigene Merkmale und ein eigenes Verhalten aufweist. Es zeichnet sich allerdings das Bild einer grundsätzlich eher zu geringen Kalkulation auf. Dies ist durch die meist über Null befindlichen Mittelwerte begründet.*

### Forschungsfrage 3

**Wie entwickeln sich die im Zuge der Arbeitskalkulation 0 ermittelten Anteile der Kostenarten über den Projektverlauf bis hin zu den tatsächlich festgestellten IST-Kosten? Welche Schlüsse können daraus für zukünftige Kalkulationen gezogen werden?**

Die Beantwortung dieser Fragestellung fußt auf den in Abb. 6.3 dargestellten Anteilen der einzelnen Kostenarten. Grundlage dafür sind die AK0-Summen und die tatsächlich realisierten IST-Kosten der vier ausgewerteten Projekte. Dabei ist ersichtlich, dass sich die Kostenarten KOA 1, KOA 2, KOA 4 und KOA 7 prozentual nur sehr gering verändert haben und alle leicht gesunken sind. Dazu ist anzumerken, dass das nicht bedeutet, dass die Kosten insgesamt gesunken sind. KOA 3 hat die größte prozentuale Minderung erlitten, welche von 27,9% auf 18,4% gesunken ist. Den größten prozentualen Zuwachs erlitt KOA 5 von 17,7% auf 27,9%. Schlussendlich fällt der Anteil der Nachunternehmer in der AK-0 meist höher und jener des Baumaterials meist geringer aus.



**Abb. 6.3:** Veränderung der Kostenanteile aller Projekte

Dabei ergibt sich folgende Reihung der Kostenarten nach ihrem Anteil an den IST-Kosten in absteigender Reihenfolge:

1. KOA 5 Nachunternehmer	27 – 28%
2. KOA 2 Baugeräte	19 – 20%
3. KOA 3 Baumaterial	18 – 19%
4. KOA 1 Lohn	17 – 18%
5. KOA 7 Gehalt und sonstige Baukosten	8 – 9%
6. KOA 9 Konzern / Intern	7 – 8%
7. KOA 6 Baustellen- und Betriebsstättenausstattung	1 – 2%
8. KOA 8 Erlöse und Erträge	-1 – 0%
9. KOA 4 Schalung - Rüstung - Verbau	0 – 1%

Anteil KOA IST - Anteile in Prozent

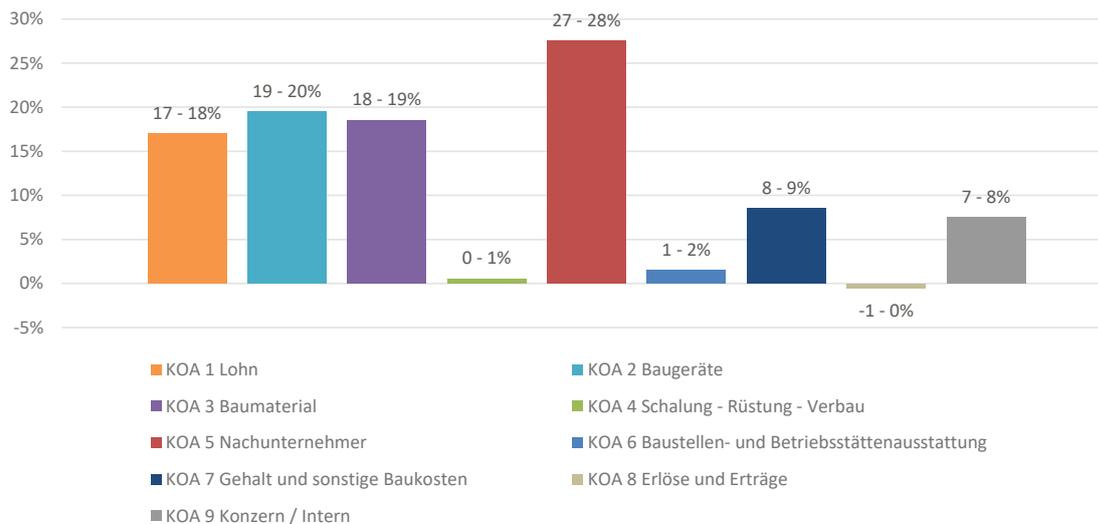


Abb. 6.4: Bandbreite der IST Kosten

Die Beantwortung dieser Forschungsfrage lautet in zusammengefasster Form folgendermaßen: Die ermittelten Kostenartenanteile zeigen, dass etwa 44% der Kostenarten (4/9) mehr als 80% der IST-Gesamtkosten ausmachen. Jene vier Kostenarten sind die Nummern 1, 2, 3 und 5, diese können bzgl. ihrer Höhe als primär bezeichnet werden. Darüber hinaus sind KOA 7 und KOA 8 mit 8 - 9% und 7 - 8% als sekundäre Kostenarten zu betrachten. Als tertiäre Kostenarten würden somit 4, 6 und 8, mit Anteilen im Bereich von einem Prozent, gelten. Für zukünftige Kalkulationen empfiehlt sich somit besondere Sorgfalt im Umgang mit den vier primären Kostenarten, da diese den Löwenanteil der Projektgesamtkosten verursachen. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass jedes Tunnelprojekt einzigartig ist und daher spezielle Gegebenheiten aufweist. Die getätigten Aussagen sind aufgrund dessen im Allgemeinen nur bedingt gültig.

#### Forschungsfrage 4

Ist es möglich mittels der zur Verfügung gestellten Daten Bandbreiten für die Kostenentwicklungen zu bilden? Welchen Schwankungsbereich weisen die einzelnen Kostenarten über den Projektverlauf auf?

Die von den Autoren ermittelten Bandbreiten der verschiedenen Kostenarten sind in Kap. 5.4 ersichtlich. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind im Zuge der Beantwortung dieser Forschungsfrage lediglich die Projektgesamtksoten angeführt. Es sei jedoch angemerkt, dass sich die einzelnen Kostenarten sehr unterschiedlich verhalten und daher eine genauere Betrachtung der verschiedenen Bandbreiten unumgänglich ist. Die von den Autoren ermittelte Bandbreite der Projektgesamtksoten ist in Abb. 6.5 dargestellt. Sie zeigt die im Projektverlauf aufgetretene Veränderung der IST-Kosten bezogen auf die AK0-Gesamtsumme der einzelnen Projekte. Dabei weist das Projekt 0 mit 43,9% den größten Wert auf. Die bei Projekt C realisierte Kostenreduktion ist mit -14,7% zu beziffern. Diese zwei Werte bilden den oberen sowie den unteren Grenzwert und spannen zwischen sich die Brandbreite auf. Innerhalb dieser Bandbreite von 58,6% liegen der gewichtete Mittelwert sowie die Werte für Projekt A und B. Der nach den AK0-Gesamtsummen gewichtete Mittelwert liegt bei 18,82%.

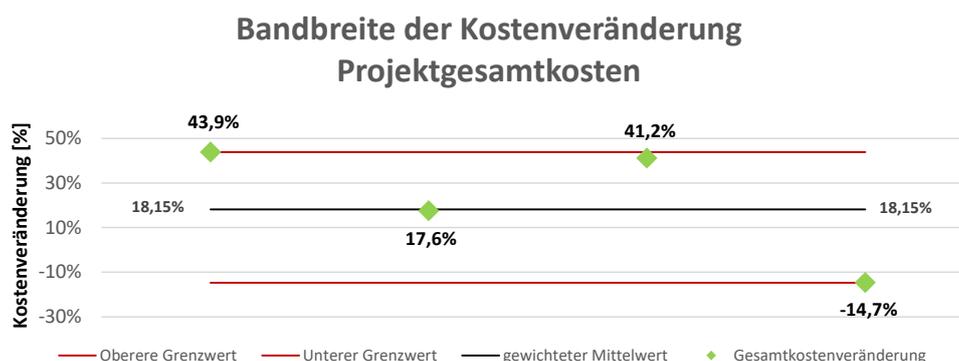


Abb. 6.5: Bandbreite Projektgesamtksoten

Zusammengefasst lautet die Aussage der Autoren zu dieser Fragestellung folgendermaßen: *Mit einem Mittelwert von ca. 20% zeigt sich, dass die Projektgesamtksoten im Zuge der AK0 wohl grundsätzlich eher zu gering als zu hoch ausfallen. Außerdem wird ersichtlich, dass sich durchaus Kostenreduktionen über den Projektverlauf einstellen können. Erneut ist aber anzumerken, dass Tunnelprojekte nur schwer vergleichbar sind und daher generelle Aussagen nur bedingt Gültigkeit haben.*

## 6.2 Kerninhalt und -aussage

Auf Basis der zuvor durchgeführten Beantwortung der Forschungsfragen wird in diesem Punkt der Kerninhalt der gegenständlichen Arbeit beschrieben sowie die Kernaussagen zu den drei primären Thematiken getätigt.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wird von den Autoren ein Verfahren zur Projektanalyse entwickelt. Der Fokus liegt dabei auf den Kalkulationsverläufen, den IST-Kosten sowie den Chancen und Risiken. Die den Kostenentwicklungen zugrundeliegenden Kalkulationsverläufe werden vorrangig mit Hilfe einer in dieser Arbeit entwickelten mathematischen Vorgehensweise abgehandelt. Dabei bedienen sich die Autoren sogenannter Veränderungswerte, die Abweichungen zwischen AKn- und AK0-Werten zeigen. Sie sind als Maß für die Volatilität der einzelnen

Verläufe zu sehen. Neben dem Kalkulationsverlauf liegt der Fokus dieser Arbeit auf den IST-Kosten analysierter Projekte. Um diese in ihrer Entwicklung zu beurteilen werden sie den zugehörigen AK0-Gesamtsumme gegenübergestellt und die prozentuale Abweichung ermittelt. Diese Abweichungen finden Eingang in die von den Autoren angestrebte Bandbreitenbildung der Projektkosten. Die dabei erarbeiteten Ergebnisse beinhalten vier Tunnelbauprojekte mit Projektgesamtkosten von über einer Milliarde Euro und mehr als 62 km Tunnelvortrieb.

Neben der kosten-technischen Aufarbeitung besagter Projekte findet sich in gegenständlicher Arbeit ein Verfahren zur Identifizierung und Gegenüberstellung von prognostizierten und tatsächlich realisierten Chancen sowie Risiken. Angewandt wird die entworfene Vorgehensweise auf das Projekt 0. Als Grundlage für die durchgeführte Chancen- und Risikoidentifikation dienen Kalkulationsdaten der fortgeschriebenen Arbeitskalkulation. Verglichen werden diese identifizierten Elemente mit den im Zuge der Angebotserstellung berücksichtigten Chancen und Risiken. Das Resultat dieser Analyse liefert ein für zukünftige Bauvorhaben erwartbares Verhältnis von Chancen zu Risiken und zeigt potentielle Ansatzpunkte zusätzlicher Berücksichtigungen im Rahmen des Risikomanagements. Zu den drei Analysethematiken wird abschließend folgendes festgehalten:

**Kalkulationsverlauf** Generell zeichnet sich ein Bild großer Volatilität der Kalkulationsverläufe ab. Im Mittel pendeln sich diese bei 23,6% über dem zugehörigen AK0-Wert ein. Es ist jedoch mit großen Unterschieden zwischen den einzelnen Kostenarten zu rechnen.

**IST-Kosten** Im gewichteten Durchschnitt übersteigen die IST-Kosten den prognostizierten Betrag der AK0 um 18,15%. Des weiteren zeigt sich, dass 44% der Kostenarten über 80% der Projektgesamtkosten verursachen.

**Chancen und Risiken** Im Rahmen des von der Strabag AG durchgeführten Risikomanagements zeigt sich ein Verhältnis zwischen prognostizierten Chancen und Risiken von 1 : 2,5. Das in der Analyse von Projekt 0 ermittelte, tatsächliche Verhältnis zwischen eingetretenen Chancen und Risiken beläuft sich auf 1 : 3 und bestätigt somit den von der Strabag AG getätigten Ansatz. Im Vergleich der prognostizierten mit den realisierten Elementen ergeben sich Überlappungen in vielen Themengebieten. Großes Potential weist die risikotechnische Berücksichtigung von Leistungsansätzen für den Vortrieb auf.

Auf Grundlage dieser Erkenntnisse können im Rahmen des Kosten- und Risikomanagements Schwerpunkte für künftige Abwicklungen gesetzt werden. Dabei ist die entworfene Vorgehensweise bei der Risikobetrachtung in puncto Detaillierungsgrad keine Grenzen gesetzt. Jedoch müssten, um eine detailliertere Auswertung anstellen zu können, qualitativ hochwertigere Daten zur Verfügung stehen. Dies würde aber den Umfang dieser Arbeit übersteigen.

### 6.3 Weiterführende Forschung und Ausblick

Die Vermeidung einer explosionsartigen Kostenentwicklung ohne entsprechender Reserven gründet zuerst auf einem gründlich und nüchtern durchgeführten sowie regelmäßig fortgeschriebenem Risikomanagement und geht schrittweise im Projektverlauf in ein vollständiges Kostencontrolling über. Jede dieser Tätigkeiten lebt von Erfahrungswerten und dem Umgang mit vorhandenen Daten. Da die vorliegende Diplomarbeit lediglich einen kleinen Teil der Grundlage für die eben angesprochenen Prozesse bildet, bietet sich ein breites Spektrum für weitere Forschungstätigkeiten. Die von den Autoren gewählten Vorgehensweisen und Auswertungsmethoden stellten sich als durchaus passend heraus und können ohne Weiteres an zukünftige Gegebenheiten angepasst werden. Die Transformation hin zu einem vollwärtigen Risikomanagement ist langwierig, doch bieten sich ungeahnte Möglichkeiten und großes Potential.

# Literatur

- [1] D. Adam. *Studienblätter zur Vorlesung Felsbau*. Technische Universität Wien, 2016.
- [2] D. Adam. *Studienblätter zur Vorlesung Grundbau und Bodenmechanik*. Technische Universität Wien, 2019.
- [3] D. Adam. *Studienblätter zur Vorlesung Grundlagen der Felsmechanik*. Technische Universität Wien, 2016.
- [4] DAUB. *Empfehlungen zur Auswahl und Bewertung von Tunnelvortriebsmaschinen*. Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e. V. (DAUB), 1997.
- [5] DAUB. *Empfehlungen zur Auswahl und Bewertung von Tunnelvortriebsmaschinen*. Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e. V. (DAUB), 2010. 48 S.
- [6] Epiroc. *Boomer Bohrwagen*. 2021. URL: <https://www.epiroc.com/de-at/products/drill-rigs/face-drill-rigs/boomer-xl3d> (Zugriff am 2021).
- [7] G. Girmscheid. *Bauprozesse und Bauverfahren des Tunnelbaus*. 3. Auflage. Weinheim: Ernst & Sohn, 2013. ISBN: 978-3-433-03047-9.
- [8] G. Girmscheid. *Kalkulation, Preisbildung und Controlling in der Bauwirtschaft*. 2. Auflage. Springer Vieweg, 2013.
- [9] G. Goger. *Studienblätter zur Vorlesung Bauprozessplanung*. Wien: Technische Universität Wien, Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement, Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik, 2019. 261 S.
- [10] G. Goger. *Studienblätter zur Vorlesung Bauverfahren im Tunnel- und Hohlraumbau*. Wien: Technische Universität Wien, Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement, Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik, 2020. 308 S.
- [11] Hatch, Mott und MacDonald. *Projekt 0 Contract Drawings*. 2014.
- [12] Hatch, Mott und MacDonald. *Projekt 0 Geotechnical Baseline Report*. 2014.
- [13] Herrenknecht. *EPB-Tunnelbohrmaschine*. 2021. URL: <https://www.herrenknecht.com/de/produkte/productdetail/epb-schild/> (Zugriff am 2021).
- [14] Herrenknecht. *Teilschnittmaschine*. 2021. URL: <https://www.herrenknecht.com/de/produkte/productdetail/teilschnittmaschine/> (Zugriff am 2021).
- [15] Herrenknecht AG. *Gripper-TBM*. 2021. URL: <https://www.herrenknecht.com/de/produkte/productdetail/gripper-tbm/> (Zugriff am 2021).
- [16] D. Kolymbas. *Geotechnik - Tunnelbau und Tunnelmechanik*. 1998.
- [17] A. Kropik. *Studienblätter zur Vorlesung Kosten- und Terminplanung*. Technische Universität Wien, Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement, 2010.
- [18] Liebherr. *Liebherr Tunnelbagger R 924 Compact*. URL: <https://www.liebherr.com/de/aut/produkte/baumaschinen/erdbewegung/raupenbagger/details/68918.html>.
- [19] B. Maidl. *Handbuch des Tunnel- und Stollenbaus; Band II, 3. Auflage*. 2004.

- [20] B. Maidl, M. Herrenknecht, U. Maidl und G. Wehrmeyer. *Maschinellem Tunnelbau im Schildvortrieb*. 2. Auflage. Berlin: Ernst & Sohn, 2011. ISBN: 978-3-433-02948-0.
- [21] J. Oberndorfer. *Handwörterbuch der Bauwirtschaft - Interdisziplinäre Begriffswelt der Bauwirtschaft*. Austrian Standards plus, 2010.
- [22] ÖGG. *Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit kontinuierlichem Vortrieb*. Forschungsber. Österreichische Gesellschaft für Geomechanik, 2013. 49 S.
- [23] ÖGG. *Richtlinie für die Geotechnische Planung von Untertagebauten mit zyklischem Vortrieb*. Forschungsber. Österreichische Gesellschaft für Geomechanik, 2021.
- [24] ÖGG. *Richtlinie für die Kostenermittlung für Projekte der Verkehrsinfrastruktur*. Forschungsber. Österreichische Gesellschaft für Geomechanik, 2016.
- [25] ÖNORM B 1801-1: 2021-02-01. *ÖNORM B 1801-1: Bauprojekt- und Objektmanagement – Teil 1: Objekterrichtung*. Austrian Standards Institute. Wien.
- [26] ÖNORM B 2061: 2020-05-01. *ÖNORM B 2061: Preisermittlung für Bauleistungen – Verfahrensnorm*. Austrian Standards Institute. Wien.
- [27] ÖNORM B 2203-1: 2001–01. *ÖNORM B 2203-1: Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm – Teil 1: Zyklischer Vortrieb*. Austrian Standards Institute. Wien.
- [28] ÖNORM B 2203-2: 2005-01-01. *ÖNORM B 2203-2: Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm – Teil 2: Kontinuierlicher Vortrieb*. Austrian Standards Institute. Wien.
- [29] Sandvik. *Roadheader MT520*. URL: <https://www.rocktechnology.sandvik/de/produkte/mechanische-schneidmaschinen/teilschnittmaschinen-f%C3%BCr-den-tunnelbau/mt520-teilschnittmaschine-f%C3%BCr-den-tunnelbau/>.
- [30] W. Sievers. *Entwicklungen im Tunnelbau*. *Beton* 34. 1984.
- [31] Statista. *Definition Mittelwert und arithmetisches Mittel*. 2021. URL: [https://de.statista.com/statistik/lexikon/definition/91/mittelwert\\_und\\_arithmetisches\\_mittel/](https://de.statista.com/statistik/lexikon/definition/91/mittelwert_und_arithmetisches_mittel/)  
[https://de.statista.com/statistik/lexikon/definition/91/mittelwert\\_und\\_arithmetisches\\_mittel/](https://de.statista.com/statistik/lexikon/definition/91/mittelwert_und_arithmetisches_mittel/).
- [32] Statista. *Definition Standardabweichung*. 2021. URL: <https://de.statista.com/statistik/lexikon/definition/126/standardabweichung/>.
- [33] Statista. *Definition Varianz*. 2021. URL: <https://de.statista.com/statistik/lexikon/definition/138/varianz/>.
- [34] Strabag AG. *Beschreibung Projekt 0*. 2015.
- [35] Strabag AG. *Preis Kommission Projekt 0 Tunnel Revision 2*. 2014.
- [36] Strabag AG. *Projektbeschreibung A. Übergene Kalkulationsdaten aus der Projektbeschaffungs- und Projektausführungsphase*. Wien, 2021.
- [37] Strabag AG. *Projektbeschreibung B. Übergene Kalkulationsdaten aus der Projektbeschaffungs- und Projektausführungsphase*. Wien, 2021.
- [38] Strabag AG. *Projektbeschreibung C. Übergene Kalkulationsdaten aus der Projektbeschaffungs- und Projektausführungsphase*. Wien, 2021.
- [39] Strabag SE. *Auszug Ursachenkategorisierung Bauprojekte konsolidiert*. 2021.
- [40] Strabag SE. *Common Project Standards (CPS)*. Forschungsber. 2019.
- [41] Strabag SE. *Impressum Strabag SE*. 2021. URL: [https://www.strabag.com/databases/internet/\\_public/content.nsf/web/DE-STRABAG.COM-impressum.html#?h=7](https://www.strabag.com/databases/internet/_public/content.nsf/web/DE-STRABAG.COM-impressum.html#?h=7) (Zugriff am 2021).

# Abbildungsverzeichnis

2.1	Schematische Darstellung verschiedener Ausbruchsarten (Quelle: Girmscheid [7, S. 47]) . . . . .	21
2.2	4-armiger Bohrwagen (Quelle: Epiroc [6]) . . . . .	22
2.3	Tunnelbagger (Quelle: Liebherr [18]) . . . . .	24
2.4	Mischvortrieb (Quelle: Goger [10, S. 94]) . . . . .	25
2.5	Teilschnittmaschine für den zyklischen Vortrieb (Quelle: Sandvik [29]) . . . . .	25
2.6	Schematische Darstellung eines Messerschildes (Quelle: Goger [10, S. 100]) . . . . .	26
2.7	Profilformen von Tunnelbögen (Quelle: Goger [10, S. 221]) . . . . .	29
2.8	Schematischer Ablauf der Geotechnischer Planung Phase 1 (Quelle: ÖGG [23, S. 13])	32
2.9	Schematischer Ablauf der Geotechnischer Planung Phase 2 (Quelle: ÖGG [23, S. 31])	33
2.10	Schematische Darstellung der Bewertungsflächen (Quelle: ÖNORM B 2203-1: 2001–01 [27, S. 14]) . . . . .	34
2.11	Systemskizze der Abrechnungslinien im konventionellen Vortrieb (Quelle: ÖNORM B 2203-1: 2001–01 [27, S. 16]) . . . . .	35
2.12	Bewertungsfaktor der Stützmittel und Zusatzmaßnahmen (Quelle: ÖNORM B 2203-1: 2001–01 [27, S. 13]) . . . . .	36
2.13	Geltungsbereich für die zweite Ordnungszahl (Quelle: ÖNORM B 2203-1: 2001–01 [27, S. 14]) . . . . .	36
2.14	Vortriebsklassenmatrix für Vortrieb der Kalotte, der Strosse oder Kalotte mit Strosse (Quelle: ÖNORM B 2203-1: 2001–01 [27, S. 12]) . . . . .	37
2.15	Einteilung der Tunnelvortriebsmaschinen (Quelle: DAUB [5, S. 19]) . . . . .	38
2.16	offene Tunnelbohrmaschine (Quelle: Herrenknecht AG [15]) . . . . .	39
2.17	Tunnelbohrmaschine mit Erddruckstützung (Quelle: Herrenknecht [13]) . . . . .	41
2.18	Möglichkeiten zur Gebirgsstützung und Wasserhaltung an der Ortsbrust von Schildmaschinen (Quelle: Sievers [30, S. 347]) . . . . .	42
2.19	Teilschnittmaschine (Rohrvortrieb) ohne Stützung Fa. Herrenknecht (Quelle: Herrenknecht [14]) . . . . .	43
2.20	Einsatzbereiche von Tunnelvortriebsmaschinen (Quelle: DAUB [4, S. 33]) . . . . .	44
2.21	Flussdiagramm geotechnische Planung Phase 1 (Quelle: ÖGG [22, S. 15]) . . . . .	47
2.22	Übergeordnete Kategorien von Gebirgsverhaltenstypen (Quelle: ÖGG [22, S. 19])	48
2.23	Bestimmungsbereiche für das Gebirge- und Ortsbrustverhalten (Quelle: ÖGG [22, S. 13]) . . . . .	49
2.24	TVM-Bereiche (Quelle: ÖGG [22, S. 14]) . . . . .	50
2.25	Bewertung der Regelstützmittel für kontinuierlichen Vortrieb mit Tunnelbohrmaschinen TBM-O, TBM-A (Quelle: ÖNORM B 2203-2: 2005-01-01 [28, S. 15]) . . . . .	52
2.26	Systemskizze TBM-O (Quelle: ÖNORM B 2203-2: 2005-01-01 [28, S. 32]) . . . . .	52
2.27	Systemskizze TVM-Vortrieb mit konventionellem Ausbau (Quelle: ÖNORM B 2203-2: 2005-01-01 [28, S. 17]) . . . . .	54
2.28	Vortriebsklassenmatrix TBM-O, TBM-A (Quelle: ÖNORM B 2203-2: 2005-01-01 [28, S. 14]) . . . . .	55
2.29	Vortriebsklassenmatrix TBM-S, TBM-DS, SM (Quelle: ÖNORM B 2203-2: 2005-01-01 [28, S. 16]) . . . . .	55

3.1	Schematische Darstellung der Kostenbestandteile zur Ermittlung der prognostizierten Gesamtkosten (Quelle: ÖGG [24, S. 11]) . . . . .	61
3.2	Datenblatt für Einzelrisiko für die qualitative Analyse ohne Maßnahmen (Quelle: ÖGG [24, S. 40]) . . . . .	64
3.3	Datenblatt für Einzelrisiko für die qualitative Analyse mit Maßnahmen (Quelle: ÖGG [24, S. 40]) . . . . .	65
3.4	Bestimmung des pauschalen Risikozuschlags im Richtwertverfahren (Quelle: ÖGG [24, S. 21]) . . . . .	66
3.5	Darstellung einer Kostenverteilung mit VaR 80 (Quelle: ÖGG [24, S. 24]) . . . . .	68
3.6	Übersicht Kalkulationsstatus (Quelle: Strabag SE [40, S. 59]) . . . . .	70
3.7	Bildung der Umlage (Quelle: Strabag SE [40, S. 64]) . . . . .	72
4.1	Innenschale (Quelle: Hatch et al. [11, S. 55]) . . . . .	81
4.2	Georgian Bay / Queenston Formation (Quelle: Hatch et al. [12, S. 57]) . . . . .	82
4.3	Ablaufdiagramm Risikomanagement . . . . .	83
4.4	Kalkulations- und Kostenverlauf . . . . .	89
4.5	Arbeitskalkulation nach Kostenarten im Projektverlauf . . . . .	89
4.6	Arbeitskalkulation der Kostenarten im Projektverlauf . . . . .	90
4.7	Veränderung der Kostenartenanteile . . . . .	91
4.8	Kalkulations- und Kostenverlauf KOA 1 . . . . .	94
4.9	Kalkulations- und Kostenverlauf KOA 2 . . . . .	94
4.10	Kalkulations- und Kostenverlauf KOA 3 . . . . .	95
4.11	Kalkulations- und Kostenverlauf KOA 4 . . . . .	96
4.12	Kalkulations- und Kostenverlauf KOA 5 . . . . .	97
4.13	Kalkulations- und Kostenverlauf KOA 6 . . . . .	98
4.14	Kalkulations- und Kostenverlauf KOA 7 . . . . .	99
4.15	Kalkulations- und Kostenverlauf KOA 8 . . . . .	100
4.16	Kalkulations- und Kostenverlauf KOA 9 . . . . .	101
4.17	Mittelwerte und Standardabweichungen der AKn-Summenentwicklungen Projekt 0	102
4.18	Störstellenidentifikation . . . . .	103
4.19	Analysepunkt 1 Datenübersicht . . . . .	105
4.20	Analysepunkt 2 Datenübersicht . . . . .	106
4.21	Analysepunkt 3 Datenübersicht . . . . .	107
4.22	Analysepunkt 4 Datenübersicht . . . . .	108
4.23	Analysepunkt 5 Datenübersicht . . . . .	109
4.24	Analysepunkt 6 Datenübersicht . . . . .	110
4.25	Analysepunkt 7 Datenübersicht . . . . .	111
4.26	Identifizierte Chancen und Risiken AP1 . . . . .	112
4.27	Identifizierte Chancen und Risiken AP2 . . . . .	112
4.28	Identifizierte Chancen und Risiken AP3 . . . . .	113
4.29	Identifizierte Chancen und Risiken AP4 . . . . .	113
4.30	Identifizierte Chancen und Risiken AP5 . . . . .	114
4.31	Identifizierte Chancen und Risiken AP6 . . . . .	114
4.32	Identifizierte Chancen und Risiken AP7 . . . . .	114
4.33	Übersicht Gegenüberstellung Chancen und Risiken . . . . .	117
5.1	Veränderung der Kostenanteile Projekt A . . . . .	121
5.2	Arbeitskalkulation nach Kostenarten im Projektverlauf Projekt A . . . . .	122
5.3	Arbeitskalkulation der Kostenarten im Projektverlauf Projekt A . . . . .	123

5.4	Mittelwerte und Standardabweichung der AKn-Summentwicklung Projekt A .	124
5.5	Veränderung der Kostenanteile Projekt B . . . . .	126
5.6	Arbeitskalkulation nach Kostenarten im Projektverlauf Projekt B . . . . .	127
5.7	Arbeitskalkulation der Kostenarten im Projektverlauf Projekt B . . . . .	127
5.8	Mittelwerte und Standardabweichung der AKn-Summentwicklung Projekt B .	129
5.9	Veränderung der Kostenanteile Projekt C . . . . .	131
5.10	Arbeitskalkulation nach Kostenarten im Projektverlauf Projekt C . . . . .	132
5.11	Arbeitskalkulation der Kostenarten im Projektverlauf Projekt C . . . . .	133
5.12	Mittelwerte und Standardabweichung der AKn-Summentwicklung Projekt C .	134
5.13	Mittelwerte und Standardabweichung der AKn-Summenentwicklung aller Projekte	136
5.14	Mittelwerte und Standardabweichung ohne KOA 5 – Projekt B . . . . .	138
5.15	Projektvergleich AK0-Summen in Absolutzahlen . . . . .	139
5.16	Projektvergleich AK0 Summenanteile . . . . .	140
5.17	Projektvergleich IST-Kosten Summen in Absolutzahlen . . . . .	141
5.18	Projektvergleich IST-Kosten Summenanteile . . . . .	142
5.19	Veränderung der Kostenanteile aller Projekte . . . . .	143
5.20	Bandbreite Projektgesamtkosten . . . . .	144
5.21	Bandbreite Kostenart 1 . . . . .	144
5.22	Bandbreite Kostenart 2 . . . . .	145
5.23	Bandbreite Kostenart 3 . . . . .	145
5.24	Bandbreite Kostenart 4 . . . . .	145
5.25	Bandbreite Kostenart 5 . . . . .	146
5.26	Bandbreite Kostenart 6 . . . . .	146
5.27	Bandbreite Kostenart 7 . . . . .	147
6.1	Übersicht Gegenüberstellung Chancen und Risiken . . . . .	150
6.2	Mittelwerte und Standardabweichung ohne KOA 5 – Projekt B . . . . .	152
6.3	Veränderung der Kostenanteile aller Projekte . . . . .	153
6.4	Bandbreite der IST Kosten . . . . .	154
6.5	Bandbreite Projektgesamtkosten . . . . .	155



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

3.1	Projektplanungsphasen von Verkehrsinfrastruktur, adaptiert nach ÖGG [24, S. 7]	58
4.1	Parameterübersicht Projekt 0 [34]	80
4.2	andere Arbeiten	82
4.3	Check of Major Contractual Risks [35]	85
4.3	Check of Major Contractual Risks (Fortsetzung)	86
4.4	Chancen- und Risikoliste [35]	87
4.5	Werteübersicht Projekt 0	101
4.6	Übersicht der eingetretenen Chancen und Risiken	115
4.7	Risikoliste [35]	116
5.1	Parameterübersicht Projekt A [36]	120
5.2	Werteübersicht Projekt A	123
5.3	Parameterübersicht Projekt B [37]	125
5.4	Werteübersicht Projekt B	128
5.5	Parameterübersicht Projekt C [38]	130
5.6	Werteübersicht Projekt C	133
5.7	Werteübersicht aller Projekte	135
5.8	Werteübersicht aller Projekte mit und ohne KOA 5 – Projekt B	137
6.1	Werteübersicht aller Projekte	151
6.2	Werteübersicht aller Projekte mit und ohne KOA 5 – Projekt B	151