

Diplomarbeit

Variantenstudien von zeitgebundenen Kosten bei der Kalkulation im zyklischen Tunnelvortrieb

Risiko von Umlagen aus baubetrieblicher Sicht

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grads

Diplom-Ingenieur

eingereicht an der TU Wien, Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwesen

Diploma Thesis

Variant studies of time-related costs in the calculation of drill and blast excavation

submitted in satisfaction of the requirements for the degree

Diplom-Ingenieur

of the TU Wien, Faculty of Civil and Environmental Engineering

Julian Stoitzner, BSc

Matr.Nr.: 01226692

Betreuung: Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Gerald Goger**
Univ.Ass. Dipl.-Ing. **Alexander Bender**, BSc
Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft
Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik
Technische Universität Wien
Karlsplatz 13/235-1, 1040 Wien, Österreich

Wien, im Oktober 2022



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

Ein großes Dankeschön geht an meine Mutter und an meinem Vater sowie an meine Freunde, die mich im Laufe meiner langjährigen Ausbildung tatkräftig unterstützt haben. Ebenso möchte ich mich bei meinem Stiefvater bedanken.

Besonders bedanken möchte ich mich bei Herrn Univ.Ass. Dipl.-Ing. Alexander Bender, Bsc, der mich bei der Erstellung der vorliegenden Arbeit unermüdlich bestärkt und unterstützt hat. Weiters möchte ich Herrn Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerald Goger für die Betreuung meinen Dank aussprechen. Im Rahmen seiner Vorlesung *Bauverfahren im Tunnel- und Hohlraumbau* wurde mein Interesse am Tunnelbau geweckt.

Ein besonderer Dank gebührt auch Herrn Dipl.-Ing. Dr.techn. Kurt Hechenblaickner, Leiter der Bauwirtschaft im Unternehmensbereich Tunnelbau und International der Strabag AG. Seine Expertise und Betreuung haben den Grundstein für die vorliegende Arbeit gelegt.

Schließlich möchte ich das größte Dankeschön an meine Freundin Katharina richten. Ihre unermüdliche Unterstützung hat großen Anteil daran, dass ich das Studium abschließen konnte. Ein weiterer Dank gilt meiner Stiefmutter Dr. Claudia Stoitzner, MBA. für die laufende Korrektur der gegenständlichen Arbeit.



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: Zyklischer Vortrieb, Kalkulation, Umlage, Modellbildung, Variantenstudien

Die vorliegende Diplomarbeit ist im Rahmen der Forschungstätigkeit des Instituts für Baubetrieb und Bauwirtschaft der TU Wien verfasst worden. Der Forschungsschwerpunkt der Arbeit liegt auf dem Umgang von zeitgebundenen Baustellengemeinkosten in der Angebotserstellung sowohl nationaler als auch internationaler Tunnelbauprojekte. Dahingehend werden die Kosten mithilfe von Umlagemodellen entweder im Mittellohn, im Gesamtzuschlag, in mengenabhängigen Umlageträgern oder in eigenen Positionen für zeitgebundene Baustellengemeinkosten, berücksichtigt. Die bauwirtschaftliche Beurteilung erfolgt auf Basis der erarbeiteten Umlagemodelle mithilfe von Variantenstudien. Das Ziel der gegenständlichen Arbeit ist es, jenes Modell ausfindig zu machen, das eine faire und sichere Vergütung der zeitgebundenen Baustellengemeinkosten in der Ausführung darstellt.

Im ersten Kapitel der Arbeit findet eine ausführliche Beschreibung des zyklischen Vortriebs statt. Der Fokus liegt dabei auf baubetrieblichen Besonderheiten der Vortriebsmethode.

Im folgenden Kapitel werden die betriebswirtschaftlichen Begriffe in Bezug auf den Tunnelbau beschrieben. Die Kalkulation stellt dabei das preisbildende Element im Tunnelbau dar und führt zum Angebotspreis. Ein kostenbestimmendes Element des Angebotspreises stellen die Baustellengemeinkosten dar. Diese gilt es, im Leistungsverzeichnis verursachungsgerecht zu berücksichtigen. In diesem Sinne wird aufgezeigt, welche Umlagemöglichkeiten die österreichischen Normenwerken für diese Kosten darbieten.

Am Beginn des dritten Kapitels werden im Rahmen eines Analyseprojekts in Schweden allgemeine, geologische, technische und vertragliche Aspekte näher beschrieben. Nationale und internationale Normenwerken zeigen hinsichtlich des Umgangs mit den zeitgebundenen Gemeinkosten wesentliche vertragliche Divergenzen auf. Einer dieser Gegensätze ist, dass eigene Positionen für die zeitgebundenen Baustellengemeinkosten vorgesehen werden. Um allgemein gültige Aussagen für den Tunnelbau in Hinblick auf die Umlage der zeitgebundenen Baustellengemeinkosten treffen zu können, wird der exemplarische Bauvertrag des Tunnelbauprojekts bzw. das Leistungsverzeichnis um diese Position erweitert. Dahingehend soll nachgewiesen werden, welche monetäre Auswirkung die Umlage von zeitgebundenen Baustellengemeinkosten auf eigene Positionen in der Ausführung hat. Sieht ein Bauvertrag diese Position nicht vor, so gilt es einen alternativen kalkulatorischen Weg im Umgang mit den zeitgebundenen Baustellengemeinkosten einzuschlagen. Dabei können die Kosten entweder im Mittellohn, im Gesamtzuschlag oder in mengenabhängigen Umlageträgern berücksichtigt werden. In diesem Sinne stellt die Modellbildung der sechs Umlagemodelle den Abschluss des Kapitels dar.

Der Fokus des fünften Kapitels liegt auf einer Feldstudie und drei Variantenstudien. Mithilfe der Feldstudie wird die Umlage von zeitgebundenen Kosten auf divergente Umlageträger aufgezeigt. Die erste Variantenstudie stellt eine Modellsimulation der Umlagemodelle nach baupraktischen Annahmen dar. Anhand der zweiten Studie werden die monetären Auswirkungen auf die entwickelten Umlagemodelle bei gleichbleibenden Bauzeit dargelegt. In der abschließenden Variantenstudie wird demgegenüber die Bauzeit variable und fix angenommen. Einem ausführenden Unternehmen werden anhand der Variantenstudien aufgezeigt, wo Risiken und Chancen für die Umlage der zeitgebundenen Baustellengemeinkosten liegen.



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: drill and blast excavation, calculation, apportionment, variant studies

This diploma thesis has been written within the framework of the research activities of the Institute for Construction Management and Construction Economics of the TU Wien. The research focus of the thesis is on the handling of time-related construction site overhead costs in the bidding process of both national and international tunnel construction projects. To this end, the costs are taken into account with the help of allocation models either in the average wage, in the total surcharge, in quantity-dependent allocation carriers or in separate items for time-related construction site overhead costs. The construction economic evaluation is carried out on the basis of the developed allocation models with the help of variant studies. The aim of the present work is to find the model that represents a fair and secure remuneration of time-related construction site overhead costs in execution.

In the first chapter of the thesis, a detailed description of cyclic tunnelling is given. The focus is on the special construction features of the jacking method.

The following chapter describes the business terms in relation to tunnel construction. Costing is the price-forming element in tunnel construction and leads to the bid price. The construction site overheads are a cost-determining element of the bid price. These must be taken into account in the bill of quantities in a way that is appropriate to the source of the costs. With this in mind, the possibilities offered by Austrian standards for allocating these costs are shown.

At the beginning of the third chapter, general, geological, technical and contractual aspects are described in more detail in the context of an analysis project in Sweden. National and international sets of standards reveal significant contractual divergences with regard to the handling of time-related overhead costs. One of these divergences is that separate items are provided for time-bound site overhead costs. In order to be able to make generally valid statements for tunnel construction with regard to the allocation of time-related construction site overhead costs, the exemplary construction contract of the tunnel construction project or the bill of quantities will be expanded to include this item. The aim is to demonstrate the monetary effect of allocating time-related construction site overhead costs to separate items in the execution. If a construction contract does not provide for this item, an alternative way of calculating the time-related construction site overhead costs must be taken. In this case, the costs can be taken into account either in the average wage, in the total overhead or in quantity-dependent allocation carriers. In this sense, the modeling of the six allocation models represents the conclusion of the chapter.

The fifth chapter focuses on a field study and three variant studies. With the help of the field study, the allocation of time-related costs to divergent payers is shown. The first variant study represents a model simulation of the allocation models according to practical building assumptions. The second study shows the monetary effects on the developed allocation models with constant construction time. In the final variant study, on the other hand, the construction time is assumed to be variable and fixed. The variant studies are used to show a contractor where the risks and opportunities lie for the allocation of time-related construction site overheads.



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

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	11
1.1	Motivation	11
1.2	Forschungsfragen	12
1.3	Forschungsmethodik	12
1.4	Begriffsbestimmungen	13
1.5	Abkürzungsverzeichnis	15
2	Grundlagen des Tunnelbaus – Zyklischer Vortrieb	17
2.1	Einleitung	17
2.2	Ausbruchsmethoden	18
2.2.1	Vollausbruch	18
2.2.2	Teilausbruch	19
2.2.3	Kalottenvortrieb	19
2.3	Arbeitsschritte im zyklischen Vortrieb	20
2.3.1	Bohren	21
2.3.2	Besetzen	22
2.3.3	Bewettern	25
2.3.4	Schüttern	27
2.3.5	Spritzbeton	29
2.3.6	Stützmittel	30
2.4	Injektionsarbeiten	33
2.5	Zusammenfassung	36
3	Baubetriebliche Betrachtung der Kalkulation im Tunnelbau	37
3.1	Allgemeines zur Kalkulation im Tunnelbau	37
3.2	Kalkulationsphasen	39
3.3	Grundlagen der Kosten im Bauwesen	41
3.3.1	Gliederung der Kosten	42
3.3.2	Direkte und indirekte Kosten	45
3.3.3	Ausgabewirksame und nicht ausgabewirksame Kosten	46
3.3.4	Fixe und variable Kosten	47
3.3.5	Kausalzusammenhänge von Kosten	53
3.4	Kosten- und Preisermittlung nach ÖNORM B 2061	54
3.4.1	Kostenartengruppen der Baukalkulation	56
3.4.2	Aufbau der Preisermittlung	58
3.5	Umgang mit zeitgebundenen und nicht zeitgebundenen BGK in Österreich	60
3.5.1	Nicht zeitgebundene und zeitgebundene BGK	61
3.5.2	Definition der zeitgebundenen Anteile an den Gesamtkosten	61
3.5.3	ÖNORM B 2118 und ÖNORM B 2061	61
3.5.4	ÖNORM B 2203-1	62
3.5.5	Standardleistungsbeschreibung LB-VI	65

3.5.6	Die Umlage von zeitgebundenen und nicht zeitgebundenen Baustellengemeinkosten nach ÖNORM	67
3.6	Zusammenfassung	69
4	Entwicklung von Umlagemodellen für den zyklischen Vortrieb	71
4.1	Allgemeine Projektbeschreibung	71
4.2	Geologische Beschreibung	73
4.3	Technische Beschreibung	73
4.4	Vertragliche Beschreibung	74
4.4.1	Standardvertrag – AB 04	74
4.4.2	Standardleistungsbeschreibung – AMA Anläggning 17	76
4.5	Bauvertrag und notwendige Umlage von BGK	78
4.6	Die Umlage von zeitgebundenen Baustellengemeinkosten	79
4.7	Gegenüberstellung des österreichischen und des schwedischen Vertragsmodells	80
4.8	Modellbildung	82
4.8.1	Umlagemodelle im zyklischen Tunnelvortrieb	83
4.8.2	Modell 1 – Ausbruch	84
4.8.3	Modell 2 – Sicherung	85
4.8.4	Modell 3 – Injektion	86
4.8.5	Modell 4 – Mittellohn	87
4.8.6	Modell 5 – Gesamtzuschlag	89
4.8.7	Modell 6 – Zeitgebundene Position	90
4.9	Gegenüberstellung der entworfenen Umlagemodelle	91
4.10	Zusammenfassung – Spezielle Risiken in der Angebotskalkulation aus Umlagen	92
5	Variantenstudien von Umlagemodellen für den zyklischen Vortrieb	95
5.1	Feldstudie der entworfenen Umlagemodelle	96
5.2	Grundsätzliche Vorgehensweise der Variantenstudien	102
5.3	Variantenstudie 1 – Modellsimulation	105
5.4	Variantenstudie 2 – Modellsimulation und -gegenüberstellung bei festgelegter Bauzeit	109
5.4.1	Festgelegte Bauzeit – 15,00 Monate	110
5.4.2	Festgelegte Bauzeit – 16,50 Monate	111
5.4.3	Festgelegte Bauzeit – 20,00 Monate	113
5.4.4	Festgelegte Bauzeit – 30,00 Monate	115
5.5	Variantenstudie 3 – Modellsimulation und -gegenüberstellung bei variabler Bauzeitveränderung	117
5.6	Zusammenfassung	120
6	Fazit	121
6.1	Beantwortung der Forschungsfragen	121
6.2	Kernaussage	128
6.3	Weiterführende Forschung und Ausblick	129

Kapitel 1

Einleitung

Der Tunnelbau zählt zu einer fordernden Disziplin des Bauingenieurwesens. Er ist während der Herstellung eines Untertagebauwerks durch eine Vielzahl von Risiken bestimmt. Eines dieser Risiken stellt die Bauzeitveränderung (Bauzeitverkürzung oder -verlängerung) in der Ausführung eines Tunnelbauprojektes dar, dies völlig unabhängig vom Ausführungsgebiet sowohl national als auch international, im innerstädtischen Bereich, im ländlichen Bereich oder im Hochgebirge. Ein wesentlicher Faktor, der diese maßgeblich beeinflusst sind die vorherrschenden Untergrundverhältnisse. Treten Abweichungen im Bauablauf auf (baubetrieblicher, geologischer, hydrologischer Natur etc.), werden die Ressourcen Personal und Geräte entsprechend länger genutzt. Aus diesem Grund legt der Autor besonderes Augenmerk auf jene Kostenbestandteile, die diesen variablen Ressourceneinsatz abbilden, nämlich die zeitgebundenen Baustellengemeinkosten. Die Elemente einer Kalkulation werden in einem Bauvertrag aus kalkulatorischer Sicht in unterschiedlicher Art und Weise berücksichtigt. Von besonderer Bedeutung ist daher der sachgerechte Umgang mit diesen. Der Autor hat sich mit der vorliegenden Arbeit zum Ziel gesetzt, mittels der Entwicklung von Umlagemodellen die Umlagemöglichkeiten für zeitgebundene Baustellengemeinkosten für Bauingenieurinnen¹ darzulegen. Ein ausführendes Unternehmen muss unternehmerische Handlungen in der Phase der Angebotserstellung setzen, um die zeitgebundenen Kosten vergütet zu bekommen. Die Unsicherheiten, die mit einer Umlage der Kosten im Zusammenhang stehen, treffend darzustellen, werden die entwickelten Umlagemodelle mittels einer Feldstudie und Variantenstudien beleuchtet.

Damit dieses Thema nicht ausschließlich nach normativen Gesichtspunkten behandelt wird und somit nicht nur auf die vorhandene Literatur stützt, basiert die gegenständliche Arbeit insbesondere auf einem tatsächlich ausgeführten Projekt, welches im Zuge einer intensiven Zusammenarbeit mit dem Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der TU Wien und Experten aus dem Bereich Tunnelbau der Strabag AG behandelt wurde. Ein herzliches Dankeschön an alle Beteiligten für die ausgesprochen wertvolle und konstruktive Zusammenarbeit. Glück auf!

1.1 Motivation

In Österreich entspringt der Umgang mit zeitgebundenen Baustellengemeinkosten der jahrelangen Abstimmungsarbeit zwischen AG, AN, Planern, Ingenieurkonsulenten und sonstigen fachkundigen Experten. Diese Abstimmungsarbeiten wurden in den tunnelbauspezifischen Normengremien vollbracht und stellen ein neutrales Ergebnis dar.

Die ÖNORM-Modelle sehen eigene Positionen für diese Kosten im Leistungsverzeichnis vor. Hingegen werden diese im internationalen Kontext meist nicht auf separate Positionen kalkuliert. Die Umlage dieser Kosten ist auf nicht zeitabhängige Umlageträger notwendig. Eine Ausnahme

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

bildet dabei der Mustervertrag der FIDIC für den Tunnelbau. Mit Hilfe dieser Diplomarbeit soll aufgezeigt werden, welche nationalen und internationalen Umlagemöglichkeiten es im Zusammenhang mit zeitgebunden Anteilen der Baustellengemeinkosten gibt. Dahingehend werden sechs unterschiedliche Umlagemodelle entwickelt, die jeweils divergente Umlageträger für die zeitgebundenen Baustellengemeinkosten in einem Leistungsverzeichnis vorsehen.

Die Motivation der vorliegenden Arbeit ist es, einem ausführenden Unternehmen in Bezug auf die Umlage der zeitgebundenen Baustellengemeinkosten in der Angebotsphase Ratschläge, Hilfestellungen und Anregungen zu geben, um das Vergütungsrisiko in der Ausführung des Tunnelbauprojekts zu minimieren.

1.2 Forschungsfragen

Auf Basis der vier formulierten Forschungsfragen erfolgt der Aufbau der Diplomarbeit. Im Rahmen der Zusammenarbeit mit Herrn Dipl.-Ing. Alexander Bender (Betreuer – TU Wien) wurden die folgenden Fragestellungen erarbeitet:

1. Welche Möglichkeiten bieten LVs Baustellengemeinkosten im Angebot zu berücksichtigen? Kann dabei zwischen zeitgebundenen und nicht zeitgebundenen BGK unterschieden werden?
2. Welche Möglichkeiten der Umlage der zeitgebundenen Baustellengemeinkosten gibt es in einer Angebotskalkulation? Wie verhalten sich die Umlagemodelle monetär?
3. Welche Umlagemodelle weisen die größten Vergütungsrisiken in der Ausführung, im Hinblick auf Mengenerhöhung bzw. Mengensenkung des Vordersatzes im LV, auf? Kann hier eine Systematik identifiziert werden?
4. Welche Schlüsse können aus der Variantenstudie 3 gezogen werden? Welches Modell berücksichtigt die zeitgebundenen Baustellengemeinkosten am adäquatesten? Wieso stellt sich dieses Modell am geeignetsten für die Umlage der zeitgebundenen Baustellengemeinkosten dar? Wo liegt das kleinste und wo das größte Risiko?

1.3 Forschungsmethodik

Um die soeben dargestellten Forschungsfragen zu beantworten, bedient sich der Autor der Diplomarbeit fünf unterschiedlicher Methoden. Eingangs findet eine umfangreiche **Literaturrecherche** statt. Auf Basis des von der Strabag AG für den empirischen Teil zur Verfügung gestellten baupraktischen Projekts, das im zyklischen Vortrieb ausgeführt wird, liegt der Fokus der Recherche auf dem Sprengvortrieb. Dadurch soll dem Leser ein grundsätzliches Verständnis im Umgang mit dieser Vortriebsmethode aufgezeigt werden.

Im ersten Teil des Kapitels 3 werden die im Zuge einer Kalkulation auftretenden wirtschaftlichen Begriffe näher erläutert und im Zusammenhang mit dem Tunnelbau gesetzt. Der Schwerpunkt liegt dabei vor allem auf dem nationalen Normenwerk *ÖNORM B 2061*, das zur Ermittlung des Baupreises genutzt wird. Im zweiten Teil dieses Kapitels findet eine detaillierte Auseinandersetzung mit der *ÖNORM B 2203-1* statt, die im Zusammenhang mit dem zyklischen Vortrieb steht. Da das Hauptaugenmerk auf den zeitgebundenen Baustellengemeinkosten liegt, wird darüber hinaus deren Umgang in Verbindung mit den nationalen Normenwerken *ÖNORM B 2118* und *ÖNORM B 2061* sowie der tunnelbauspezifischen Norm *ÖNORM B 2203-1* beleuchtet. In diesem Sinne werden die wesentlichen Merkmale, die im Zusammenhang mit den Kosten stehen, ausgearbeitet. Weiters wird deren Berücksichtigung im Bauvertrag, genauer gesagt im Leistungsverzeichnis, anhand der Standardleistungsbeschreibung *LB VI* aufgezeigt.

Ein besonderes Merkmal, das den Tunnelbau von anderen Disziplinen im Bauingenieurwesen unterscheidet, ist, dass die Kalkulation von Personal-, Geräte- und Energiekosten nicht nur dem Resultat einer erstellten Leistung in Form eines Vordersatzes (m, m², m³, to, Stk etc.) entspricht, sondern die Kosten zeitabhängig anfallen. Die Ressourcen Personal und Geräte verweilen über die vollständige Ausführungszeit auf der Baustelle. Dahingehend werden die zeitgebundenen Baustellengemeinkosten um diese Kostenanteile erweitert und als zeitgebundene Anteile der Gesamtkosten betitelt.

In Kapitel 4 erfolgt der **empirische Teil** anhand eines tatsächlich ausgeführten Projekts in Schweden. Es findet eine Projektbeschreibung sowie eine geologische und technische Beschreibung nach einer breit gefächerten Recherche statt. Im Anschluss an die allgemeinen Erläuterungen folgt eine umfangreiche Auseinandersetzung mit den zeitgebundenen Baustellengemeinkosten in Schweden und eine Gegenüberstellung der wesentlichen Merkmale mit dem österreichischen Modell.

Der Fokus gegenständlicher Arbeit liegt auf den Vortriebsarbeiten, da diese die Beziehung zwischen Bauzeit und Kosten verdeutlichen. Dahingehend kann ein Bauvertrag grob in die am kritischen Weg liegenden Tätigkeiten Ausbruch, Sicherung und Injektion im Tunnelbau klassifiziert werden. Sieht ein Bauvertrag für die zeitgebundenen Anteile der Gesamtkosten keine separaten Positionen im Leistungsverzeichnis vor (schwedischer Bauvertrag) so ist eine Umlage auf die entsprechenden Leistungsteile im Leistungsverzeichnis notwendig. Das Ziel ist es, anhand von normativen und projektspezifischen Gesichtspunkten Umlagemodelle auszuarbeiten, die die Auswirkungen der unterschiedlichen Umlageträger auf die Umlage aufzuzeigen. In Anlehnung an die *ÖNORM B 2203-1* wird der schwedische Bauvertrag um eine solche Position ergänzt. Die sechs divergenten Umlagemodelle stellen typische Umlagemöglichkeiten im Tunnelbau dar.

Das abschließende Kapitel 5 setzt sich aus **einer Feldstudie** und **drei Variantenstudien** zusammen. Ziel ist, anhand von Anpassungen der Vordersätze die monetären Auswirkungen und Risiken, die im Zusammenhang mit der Umlage der ZGA stehen, zu verdeutlichen. Der grundsätzliche Aufbau der Studien setzt sich aus dem Bau-SOLL und dem Bau-SOLLTE zusammen. Das Bau-SOLL entspricht dem veränderten Leistungsverzeichnis im Zuge der Modellbildung. Durch Variation des Vordersatzes ergibt sich pro Variante und Variantenstudie ein Bau-SOLLTE.

Die **Feldstudie** soll aufzeigen, welche monetären Auswirkungen die Umlage der ZGA auf unterschiedliche Umlageträger über die Bauzeit hat. Mithilfe der **Variante 1** erfolgt eine Simulation der Umlagemodelle. Anhand dieser wird jenes Modell ermittelt, dass die zeitgebundenen Anteile der Gesamtkosten am ehesten in der Bauausführung darstellt. Unter Einsatz der **Variante 2 und 3** werden die Risiken einer Bauzeitveränderung aufgezeigt. Es werden Unterschiede herausgearbeitet, welche Auswirkungen Mengenänderungen in Relation zur Bauzeit auf die Umlagemodelle in der Bauausführung haben. Anhand von Anpassungen der LV-Menge können eindeutige Aussagen zu den jeweiligen Modellen getroffen werden. Darüber hinaus wird aufgezeigt, welches Modell die sicherste Variante ist, um die tatsächlich Kosten zu erlösen.

Den Abschluss der Arbeit bildet die Beantwortung der ausgearbeiteten Forschungsfragen. Die Beantwortung der Fragen erfolgt anhand der gesammelten Erkenntnisse gegenständlicher Arbeit. Weiters wird ein Ausblick für zukünftige Forschungsfelder im Umgang mit den zeitgebundenen Anteilen der Baustellengemeinkosten gegeben.

1.4 Begriffsbestimmungen

Die nachfolgenden Fachbegriffe fördern einen kongruenten Wortegebrauch in den Bereichen des Tunnelbaus, des Baubetriebs sowie der Bauwirtschaft. Die Fachausdrücke werden dafür aus den Normen *ÖNORM B 2118* [37] und *ÖNORM B 2050* [33] sowie *ÖGG* [32], entnommen.

Abrasivität: Umgangssprachlich wird unter diesem Begriff die Abnutzung von Bohrwerkzeugen im Zuge der Vortriebsarbeiten verstanden. Diese tritt vor allem bei ungünstigen Gebirgseigenschaften auf.²

Abschlag: Unter diesem wird der im zyklischen Vortrieb ausgebrochene Teilabschnitt des herzustellenden Hohlraums.³

Auftraggeber: Jede natürliche oder juristische Person, die einen Bauvertrag zur Erstellung eines Werks gegen Entgelt mit dem Auftragnehmer abschließt.⁴

Auftragnehmer: Jedes Unternehmen, mit dem ein Auftraggeber einen Bauvertrag abschließt. Das Unternehmen schuldet dem Auftraggeber die Erstellung eines Werkes.⁴

Ausbau: Um den Hohlraum zu stabilisieren wird dieser mit einer Innenschale ausgekleidet.³

Bauzeitmodell: Zur Ermittlung der vertraglich festgelegten Bauzeit zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer dient ein Bauzeitmodell. Dieses stellt einen Vertragsbestandteil der Ausschreibung in Österreich dar.³

Injizieren: Druckbehaftete Verfüllung von Poren-/ Hohlräumen, Trennflächen und Klüften mit Injektionsmaterial, um hydrologischen Bedingungen unter Tage unter Kontrolle zu haben. Unter der Prämisse, die Gebirgseigenschaften nicht wesentlich abzuändern.³

Innenschale: Eine andauernde Auskleidung des ausgebrochenen Hohlraums mit Beton. Die Betonauskleidung stellt ein zusätzliches tragendes Element dar.³

Stützmittel: Permanent einzubringende Elemente wie z.B. Anker, Spieße, Spritzbeton, Tunnelbögen oder Bewehrung in das Gebirge.³

Vortriebsunterbrechung: Während einer Vortriebsunterbrechung werden Vortriebsarbeiten durchgeführt, welche nicht nach vereinbarten Vortriebsklassen abgerechnet werden können.³

Vortrieb: Die im Zusammenhang mit den Vortriebsarbeiten zu erstellenden Leistungen zur Herstellung des Hohlraums. Darunter werden die Arbeitsschritte Lösen, Laden, Transport des Ausbruchmaterials und Einbau der Stützmittel im zyklischen Vortrieb verstanden.³

Vortriebsdauer: Zeitangaben erfolgen in Kalendertagen oder Monaten und entsprechen dem vertraglich festgelegten Zeitraum der Vortriebsarbeiten unter Tage.³

prognostizierte Vortriebsdauer: Die Vortriebsdauer ermittelt sich aus der prognostizierten Vortriebsklassenverteilung seitens des Auftraggebers und der kalkulierten Vortriebsgeschwindigkeit seitens des Auftragnehmers inklusive Vortriebsstilliegezeit, Vortriebsunterbrechung, Erschwerniszeiten sowie zu berücksichtigende Zeiten für Sondermaßnahmen. Sie wird in Kalendertagen angegeben.³

tatsächliche Vortriebsdauer: Der Zeitraum der Vortriebsarbeiten zur Erstellung von Teilabschnitten oder eines gesamten Untertagebauwerk. Die tatsächliche beinhaltet Vortriebsdauer, Vortriebsstilliegezeit und Vortriebsunterbrechung angegeben in Kalendertagen.³

²Vgl. [32] ÖGG: 2013-01-01, S. 9

³Vgl. [39] ÖNORM B 2203-1: 2022-01-15, S. 3 ff.

⁴Vgl. [33] ÖNORM B 2050: 2006-01-11, S. 4

vertragliche Vortriebsdauer: Die vertragliche Vortriebsdauer wird durch die tatsächliche Vortriebsklassenverteilung und der kalkulierten Vortriebsgeschwindigkeit inklusive Vortriebsstilliegezeit und -unterbrechung bestimmt.³

Vortriebsmannschaft: Produktives Personal, das die Arbeitsschritte des zyklischen Vortriebs unter Tage ausführt.³

Vortriebsstilliegezeiten: Jener Zeitraum, in dem keine Vortriebsarbeiten durchgeführt werden. Der allgemeine Betrieb in Form von Bewetterung, Beleuchtung und, falls notwendig, Wasserhaltungsmaßnahmen bleibt aufrecht.³

Vortriebsunterbrechung: Jener Zeitraum, in dem Vortriebsarbeiten durchgeführt, aber nicht nach vereinbarten Vortriebsklassen oder Extrapolation abgerechnet werden.³

1.5 Abkürzungsverzeichnis

AG Auftraggeber

AN Auftragnehmer

AVOR Arbeitsvorbereitung

BAB Betriebsabrechnungsbogen

BAS Bauarbeiterschlüssel

BGK Baustellengemeinkosten

bzw. beziehungsweise

d.h. das heißt

EHP Einheitspreis

EHP-V Einheitspreisvertrag

GuV Gewinn und Verlust

i.d.R. in der Regel

KV Kollektivvertrag

LV Leistungsverzeichnis

MKF Mehrkostenforderung

o.g. Oben genannt

RP-V Regiepreisvertrag

SpC Spritzbeton

Ust. Umsatzsteuer

VE Verrechnungseinheit

z. B. zum Beispiel

ZGA zeitgebundene Anteile der Gesamtkosten

ZGKB Zeitgebundenen Kosten der Baustelle

ÖBV Österreichischen Bautechnikervereinigung

ÖGG Gesellschaft für Geomechanik

ÖPWZ Österreichische Produktivitäts- und Wirtschaftlichkeitszentrum

Kapitel 2

Grundlagen des Tunnelbaus – Zyklischer Vortrieb

In der Geschichte der Menschheit entsprachen die Durchquerung von Gebirgsmassiv oder die Schaffung von Infrastruktur im urbanen Raum, ohne dabei den Erdboden gleichzumachen, dem Gedanken visionärer Bauingenieure. Mit dem Einzug der Industrialisierung und dem damit verbundenen Technologiefortschritt wurde dieser Traum Wirklichkeit.

Die stetig wachsende Weltbevölkerung von bis zu 10 Mrd. Menschen bis in das 21. Jahrhundert und die damit einhergehende Urbanisierung haben zur Folge, dass der Lebensraum weiter schwindet.⁵ Die Aufgabe der heutigen Ingenieure liegt darin, die Infrastruktur in Großstädten und umliegenden Ballungsräumen effizienter zu gestalten und einen Großteil unterirdisch zu führen. Federführend in dieser Disziplin ist Japan. Dieses Land ist Pionier in der Errichtung von Hohlraumbauten, mit Fokus auf den maschinellen Vortrieb. Trotz der innovativen Bauvorhaben des Inselstaats liegt Europa immer noch im Spitzenfeld, vor allem Österreich. Das flächenmäßig kleine Alpenland inmitten Europas ist bestimmend im zyklischen wie auch im maschinellen Vortrieb.⁶

Die künftigen Herausforderungen im Sektor Verkehr und Energie sind jedoch mit dem zyklischen Vortrieb alleine nicht zu bewältigen. Der maschinelle Vortrieb nimmt ebenso einen hohen Stellenwert im Tunnelbau ein. Mit diesem können auch in sensiblen Bereichen, wie dem urbanen Raum, lang gestreckte unterirdische Bauwerke errichtet werden. Laut Girmscheid [13] liegt der wirtschaftlich rentable Anwendungsbereich des zyklischen Vortriebs bei einer Tunnellänge von bis zu 2 km. Die Projektlänge ist von geologischen, petrografischen und geometrischen Einflussgrößen abhängig, die sich je nach Verfahren unterschiedlich stark auswirken.⁷ Das Einsatzgebiet des zyklischen Vortriebs liegt im mittleren bis harten Festgestein zwischen 20 und 400 kN/m² (einaxiale Druckfestigkeit). Demgegenüber liegt das Limit beim maschinellen Vortrieb bei knapp 250 kN/m².⁷ Nicht nur das Gestein zeigt der Vortriebsart die Grenzen auf, sondern auch die Form der Maschine. Diese beschränkt den Ausbruch auf einen kreisrunden Voll- und Teilausbruch. Im Gegensatz dazu sorgt die Anpassungsfähigkeit des zyklischen Vortriebs für mögliche Abweichungen der Form der auszubrechenden Kubatur.⁷

Wie bereits beschrieben, nimmt der Tunnelbau eine maßgebende Rolle in der Verbindung des öffentlichen Raums in der Zukunft ein. Dies einerseits in der Versorgung ländlichen und urbanen Raums, andererseits zur Bewältigung des zunehmenden Privat- und Güterverkehrs.

2.1 Einleitung

Die Tektonik hat die Gebirgsformationen in ihrer heutigen Form durch Schichtungen und Faltungen entstehen lassen. Der Bauingenieur hat sich den Umgang dieser Materie in Verbindung mit hydrologischen sowie petrografischen Einflüssen zur Aufgabe gemacht. Dabei kann auf die im Bergbau gewonnenen Erkenntnisse zurückgegriffen werden. Der Fokus liegt nun nicht mehr einzig

⁵Vgl. [42] Statista GmbH

⁶Vgl. [26] Maidl et al., S. 1

⁷Vgl. [13] Girmscheid, S. 68 ff.

und allein in der Gewinnung eines Baustoffes, sondern in der stetigen Weiterentwicklung von Bauverfahren und Sicherungsmaßnahmen für die Schaffung von Stollen, Tunneln für Straßen und Eisenbahnen sowie Kavernen. Der Tunnelbau unterliegt noch heute den damaligen Anforderungen, jedoch konnten diese nur mithilfe von einfachsten Werkzeugen, wie der Spitzhacke für den Abtrag und vorübergehende Sicherungen mit einfachen Holzzimmerarbeiten bewerkstelligt werden. Mit den damals zur Verfügung stehenden Mitteln konnte eine Auflockerung im Gebirge kaum verhindert werden.⁸

Die Entwicklung von Gerät, Werkzeug und Material in Richtung des heutigen mechanisierten Tunnelbaus sorgte für positive Effekte. Neben hohen Vortriebsleistungen finden Methoden zur Sicherung, um Bewegungen des Gebirges vorzubeugen, statt. Diese sind mit einer erheblichen Verbesserung der Arbeitssicherheit unter Tage gleichzusetzen. Neben den geologischen Gegebenheiten ist das angewendete Verfahren von wirtschaftlichen, technischen (Reduzierung der Erschütterungen im urbanen Raum), aber auch von umweltschonenden Bedingungen abhängig. Parameter, wie zum Beispiel (z. B.) die Abmessung der Tunnel (Längs-, Querschnitt und Gefälle), Auswahl der Fördereinrichtung, Bodenkennwerte (CAI-Wert) und Grundwasservorkommen etc. sorgen für eine effiziente Gestaltung der Vortriebsart. Die örtlichen Gegebenheiten haben direkte Auswirkung auf die zeitlich aufeinanderfolgenden Arbeitsschritte, die sich grob in Lösen, Laden, Verfuhr und den Einbau von Stützmitteln einteilen lassen.⁹

In den folgenden Unterabschnitten werden die diskontinuierlichen Arbeitsvorgänge, die summa summarum einen Zyklus im zyklischen Vortrieb bilden, näher erläutert. Für die Ausarbeitung des Kapitels werden die Werke von Goger [16], Girmscheid [13] und Maidl et al. [26] herangezogen. Weiteres nimmt der Autor für die Erarbeitung des zyklischen Vortriebs Bezug auf das nationale Normenwerk *ÖNORM B 2203-1* [39].

2.2 Ausbruchsmethoden

Unter den Ausbruchsmethoden wird die Art des Abtragens von Gestein verstanden. Das Löseverfahren wird an der Ortsbrust von Querschnitten mit bis zu 200 m² angewendet.¹⁰ Einer der wichtigsten Parameter zur Verfahrenswahl ist dabei die vorherrschende Geologie. Diese Einflussgröße wirkt sich unmittelbar auf die auszuwählende Ausbruchsart aus. Eine Kategorisierung findet projektbezogen in Vollausbuch, Teilausbuch und Kalottenvortrieb statt. Diese werden im nachfolgenden Abschnitt genauer erläutert.¹¹

2.2.1 Vollausbuch

Zur Anwendung kommt diese Ausbruchsart beim zyklischen und maschinellen Vortrieb. Die Wahl eines vollflächigen Ausbruchs des Querschnitts hängt von der Gebirgsqualität ab, demnach davon, ob eine ausreichende Standzeit vorliegt. Beim Antreffen einer ausreichenden Standzeit kann auf einen umfangreichen Stützmitteleinbau verzichtet werden. Dieser hat nur in Form von Netzen, als Kopfschutz für die Arbeitssicherheit oder im Firstbereich zu erfolgen und sorgt für eine entsprechende Zeitersparnis während des Vortriebs. Der durch einen einmaligen Abschlag geschaffene Querschnitt sorgt für einen baubetrieblichen Mehrwert. Einrichtungen für das Schuttern, das Bewettern, aber auch für das Fördern des Haufwerks können ökonomisch angeordnet werden.¹²

⁸Vgl. [13] Girmscheid, S. 1

⁹Vgl. [38] ÖNORM B 2203-1: 2001-12-01: 2001-12-01, S. 8

¹⁰Vgl. [13] Girmscheid, S. 53

¹¹Vgl. [16] Goger, S. 69

¹²Vgl. [13] Girmscheid, S. 56 ff.

Unter dem Vollausbruch wird eine gebirgsschonende Ausbruchsvariante verstanden, da Spannungsumlagerungen vom First bis hin zur Sohle nur einmalig stattfinden, anstatt mehrmaliger Umlagerungen im Zuge des Teilausbruchs. Ungeachtet der Vorteile, die diese Ausbruchart mit sich bringt, ist der Tunnelbau vor unerwarteten, sich ändernden Gebirgsverhältnissen nicht gefeit. Damit diesen effektiv entgegengewirkt wird, werden die Abschlagslängen kurzgehalten, um schnellstmöglich einen Ringschluss zu erzeugen. Trotz dieser Gefahren wird der Vollausbruch dem Teilausbruch vorgezogen, da geringere Auflockerungen des Gebirges auftreten.¹³

2.2.2 Teilausbruch

Der Teilausbruch kommt im zyklischen Vortrieb zum Einsatz, falls die Querschnittsfläche ein derartiges Ausmaß annimmt, dass diese nicht im Vollausbruch ausgebrochen werden kann. Ein Teilausbruch findet weiters dann statt, wenn die zum Einsatz kommenden Geräte an ihre Belastungsgrenze geraten. Diese Ausbruchmethode fördert auch die Einleitung eines Bruchmechanismus an der Ortsbrust, da es zu mehrmaligen Spannungsumlagerungen und zur Veränderung des räumlichen Traggerüsts am Tunnel kommt. Der steigende Zeitbedarf für Sicherungsmaßnahmen während des Vortriebs sorgt zusätzlich für eine Erhöhung der Projektkosten sowie eine Verlängerung der Bauzeit. Anwendung findet diese Variante vor allem beim Sprengvortrieb.¹³

2.2.3 Kalottenvortrieb

Die Unterteilung des Querschnitts gliedert sich in die Bereiche Kalotte, Strosse und Sohle. In Abhängigkeit der geologischen Bedingungen unter Tage und der Größe des auszubrechenden Tunnelquerschnitts ist ein vollständiger Ausbruch (Kalotte bis Sohle) oder ein Teilausbruch je Ebene (Kalotte, Strosse und Sohle folgend) möglich. Im Fall des Teilausbruchs wird der zyklische Vortrieb, beginnend in der Kalotte, über die gesamte Tunnellänge aufgefahren. Im Anschluss erfolgen Ausbruch und Sicherung von Strosse und Sohle. Der Vorteil dieser Methode liegt im frühzeitigen Einbau von Stützmittel (Anker, Spritzbeton etc.) im Firstbereich (Kalotte), um Auflockerungen vorzubeugen. Die Sicherung des vollständigen Querschnitts (Sohlschluss) findet erst zu einem späteren Zeitpunkt statt. Zu achten ist dabei auf den Seitendruck, da mit diesem Hohlraumverformungen in Erscheinung treten können. Zusätzlich sind Sicherungsmaßnahmen durch Anker im Fußpunktbereich vorzusehen.

Aus baubetrieblicher Sicht liegt der Vorteil des Kalottenvortriebs im nachlaufenden Abtrag an der Ausbruchfläche. Es können dadurch bis zu drei Arbeitsebenen (Kalotte/ Strosse/ Sohle) realisiert werden. Je nach Größe des zu schaffenden Hohlraums ist der Einsatz von Standardmaschinen möglich. Dies sorgt für eine Reduktion der Gerätekosten, da keine Spezialgeräte verwendet werden müssen. In Abb. 2.1 ist ein schematischer Kalottenvortrieb dargestellt. Die Einteilung des Querschnitts erfolgt dabei in folgende Bereiche:¹²

- 1,2,3: Kalotte
- 4,5: Strosse
- 6,7: Sohle

Ein kostengünstiger und effizienter Vortrieb ist nicht nur durch die Einteilung des auszubrechenden Querschnitts nach den oben beschriebenen Methoden gewährleistet. Wesentliche Kostenfaktoren des zyklischen Vortriebs sind auch die Abstimmung der Arbeitsvorgänge sowie die Ressourcen Personal und Geräte. Im folgenden Kapitel 2.3 werden die einzusetzenden Gerätschaften und Arbeitsschritte des Sprengvortriebs im Detail ausgearbeitet.

¹³Vgl. [13] Girmscheid, S. 58 ff.

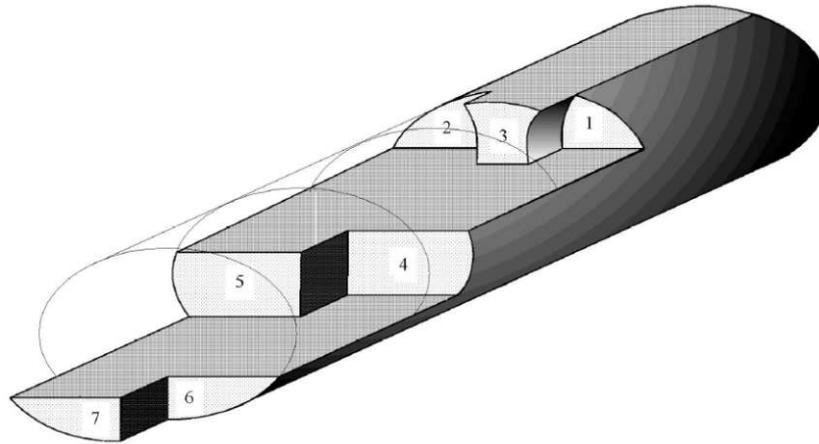


Abb. 2.1: Darstellung eines Kalottenvortriebs (Quelle: Girmscheid [13, S. 59])

2.3 Arbeitsschritte im zyklischen Vortrieb

Die stetige Weiterentwicklung der Sprengtechnik sorgt für die Wettbewerbsfähigkeit dieser traditionellen Arbeitsweise. Blickt man auf deren Entwicklung zurück, so fällt laut Goger [16] auf, dass die Bohrleistung signifikant zugenommen hat. Von den damaligen 50 Bohrmeter pro Stunde und Mann im 19. Jahrhundert mit einfachen Bohrhämmern, bis hin zu Leistungen von 300 Bohrmeter pro Stunde und Mann durch die Unterstützung von hochmechanisierten Bohrgeräten, heute. Das Einsatzgebiet dieser Methode liegt im Festgestein mit mittlerer bis hoher Festigkeit und spielt vor allem ihre Vorteile bei Gestein mit hoher Abrasivität aus. Vortriebsarten, wie etwa der maschinelle Vortrieb, gelangen durch den erhöhten Werkzeugverschleiß im Festgestein an ihre Grenzen. Ein weiterer baubetrieblicher Vorteil liegt in der Aufbereitung des gewonnenen Gesteins. Im Vergleich zum Vortrieb mit Tunnelvortriebsmaschinen eignet sich das abgetragene Material besser als Betonzuschlagsstoff für die Betonherstellung.¹⁴

Diese Lösungsmethode sticht durch einen diskontinuierlichen Arbeitszyklus hervor. Die in Serie stattfindenden Arbeitsvorgänge setzen sich aus mehreren Schritten zusammen. Im ersten Schritt werden unter Einsatz des Bohrgeräts Sprenglöcher anhand eines vordefinierten Sprengschemas in die Ortsbrust gebohrt. Befüllt wird das hergestellte Bohrloch mit Sprengstoff. Zum Einsatz kommen je nach den geologischen Verhältnissen zwei Arten von Sprengmitteln, die sich durch ihren Aggregatzustand unterscheiden. Die flüssige Form wird mithilfe von Pumpen in das Bohrloch gefüllt. Das Einbringen der festen Ladung erfolgt mit einem Ladestock. Seine hochexplosive Wirkung erhält das Gemisch durch den Einsatz eines Zünders. Dieser wird an der tiefsten Stelle des Bohrlochs positioniert. Im Anschluss werden die Sprengladungen zu einem Zündkreislauf zusammengeschlossen. Die Zündung wird mit einer Zündmaschine verrichtet. Der immensen Staubentwicklung nach der Sprengung wird durch eine Bewetterungspause entgegengewirkt. Die Schutterung des Haufwerks und die Sicherung der Ortsbrust und Tunnellaibung (Einbau von Ankern, Spritzbeton etc.) erfolgen im Anschluss.¹⁵ In Abb. 2.2 ist der Gesamtzyklus eines Sprengvortriebs dargestellt.¹⁶ Um einen optimalen Bauablauf zu realisieren, müssen die einzelnen Schritte des Gesamtzyklus aufeinander abgestimmt werden. Die Grundlage dafür wird bereits

¹⁴Vgl. [13] Girmscheid, S. 71

¹⁵Vgl. [39] ÖNORM B 2203-1: 2022-01-15, S. 6

¹⁶Vgl. [16] Goger, S. 70

in der Planungsphase geschaffen.¹⁷ Einflussfaktoren, wie die Querschnittsgröße aber auch das auszuarbeitende Sicherheitskonzept, spielen dabei eine wichtige Rolle.¹⁸

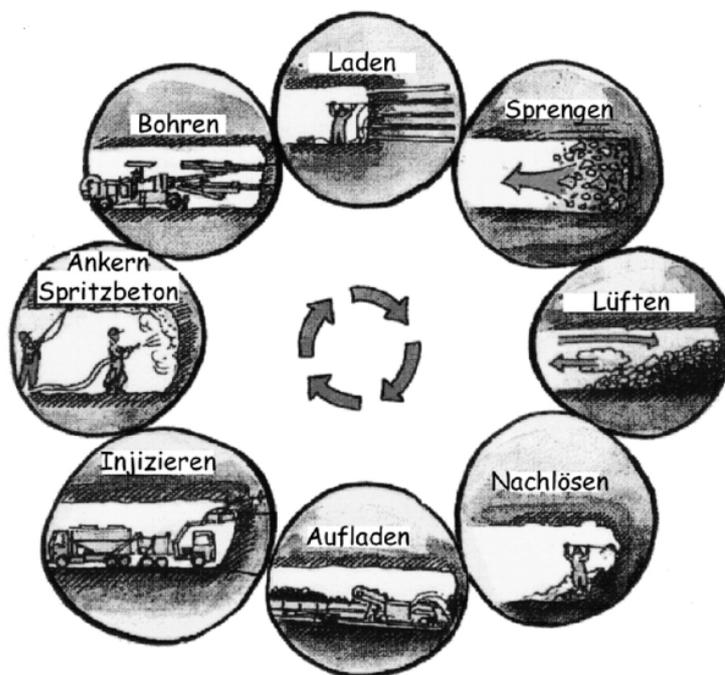


Abb. 2.2: Darstellung Sprengvortrieb (Quelle: Girmscheid [13, S. 71])

2.3.1 Bohren

Für das Erreichen eines effektiven Sprengvortriebs ist der Einsatz von leistungsfähigen Geräten unabdingbar. Die zu verwendenden Bohrgeräte (pneumatische- oder hydraulische Bohrmaschinen) unterteilen die Ortsbrust nach einem vordefinierten Sprengschema. Dieses gibt die Anordnung, die Anzahl sowie die Bohrlochtiefe der Bohrlöcher vor. Die Bohrlochtiefe (max. 5 m) ist dabei von Einflussgrößen, wie der Bohrbarkeit des Gesteins, abhängig. Darunter wird der Einfluss der geologischen-, maschinentechnischen- und baubetrieblichen Faktoren auf das Bohrgerät bzw. Bohrwerkzeug verstanden. Zu den geologischen Faktoren zählen unter anderem Gesteinsfestigkeit und Abrasivität (Cerchar Abrasivitätsindex). Der CAI-Wert ist maßgebend für den Verschleiß des Bohrwerkzeuges verantwortlich. Ein ansteigender Wert sorgt für eine zunehmende Abnutzung des Bohrwerkzeuges. Eine Bohrleistung von 2 m/min bei einem Bohrdurchmesser von 38 mm sind dabei die Regel.^{18,16}

Die auf den Bohrgeräten montierten Bohrmaschinen (Bohrhämmer) werden in Schlagbohr-, Drehbohr- und Drehschlagbohrmaschinen klassifiziert. Als Standardeinrichtung dient die Drehschlagbohrmaschine mit einem ölhydraulischen Antrieb. Die Zerstörung des Gesteins findet durch eine Drehschlagbewegung statt. Die am Bohrkopf situierte Bohrkronen wird an die Ortsbrust gedrückt (geschlagen). In Kombination mit einer zusätzlich einwirkenden Rotationsbewegung löst sich das Material. Die Gesteinssplinter werden unter Einsatz von Wasser aus dem Bohrloch befördert. Das Fördermittel sorgt zusätzlich für die Kühlung des Bohrvorganges und eine Reduktion der Staubeentwicklung.¹⁹

¹⁷Vgl. [39] ÖNORM B 2203-1: 2022-01-15, S. 10

¹⁸Vgl. [13] Girmscheid, S. 72 f.

¹⁹Vgl. [16] Goger, S. 77

Für einen effizienten Vortrieb wird der über 20 kg schwere Bohrhämmer auf einer Lafette montiert. Diese ist mit dem elektrohydraulischen, allseits beweglichen Bohrarm des Trägergeräts, auch genannt Bohrwagen, verbunden. Das Trägergerät, das mit ein oder mehreren Bohrarmen ausgestattet ist, erreicht während des Bohrvorgangs nicht nur die Ortsbrust. Aufgrund von horizontalen, vertikalen und drehenden Bewegungsrichtungen sind ebenso Überkopfarbeiten möglich. Um ein optimales Sprengergebnis zu erreichen, ist eine computergestützte Steuerung des Bohrwagens unverzichtbar.²⁰ Mit einem, bereits vor Bohrbeginn, auf einem Computer durch den Vermesser erzeugten Sprengbild werden dreidimensional die Anordnung, Positionierung und die Bohrlochtiefe festgelegt. Das Trägergerät übermittelt das Sprengbild und dieses wird vom Mineur überprüft. Die Ausrichtung der Bohrarme und die Positionierung des Bohrwagens erfolgen laserunterstützt. Ein händisches Anzeichnen an der Ortsbrust ist nicht mehr notwendig. Um die Schadstoffbelastung während des Sprengvortriebs so gering als möglich zu halten, wird der Betrieb während des Bohrvorgangs elektrisch durchgeführt, im Gegensatz zum dieselbetriebenen Antrieb während des Bewegungsvorgangs.²¹

Das radfahrbare Trägergerät, siehe Abb. 2.2, zeichnet sich durch hohe Flexibilität während des Vortriebs aus. Strecken mit einer Neigung von bis zu 20 Grad im Tunnel können problemlos zurückgelegt werden. Dies sorgt für kurze Wegzeiten während des Umstellvorgangs vor und nach dem Bohrbetrieb und spart somit Zeit.²¹



Abb. 2.3: Bohrwagen – Sandvik DT923i (Quelle: Bauforum 24 [5])

2.3.2 Besetzen

Einen wesentlichen Anteil am Gesamtzyklus des Sprengvortriebs stellt der Sprengvorgang selbst dar. Die Anordnung im Sinne des Sprengschemas, siehe Abb. 2.4, sorgt für einen geringen Einsatz von Sprengstoff und Zündern. Je größer die auszubrechende Fläche ist, desto tiefere Abschlagslängen sind möglich.²² Der Ladevorgang unterscheidet sich je nach der Beschaffenheit des Sprengstoffes (pulverförmig, flüssig, gelatinös). Der pulverförmige Sprengstoff inklusive Zünder wird mit Unterstützung einer pneumatischen Lademaschine eingeblasen. Das Einbringen des

²⁰Vgl. [13] Girmscheid, S. 78

²¹Vgl. [16] Goger, S. 72 ff.

²²Vgl. [16] Goger, S. 79 ff.

gelatinösen Sprengstoffs erfolgt entweder direkt durch ein Misch-Lade-Fahrzeug oder mithilfe von Patronen in das Bohrloch. Die mit Sprengstoff befüllten Patronen werden in Folien gewickelt und mit einem Ladestock (Holz oder Plastik) in das Bohrlochtiefste geschoben. Nach Abschluss des Ladevorgangs schließt das Verdämmen an. Dieser Arbeitsschritt sorgt für einen dichten Verschluss des Bohrlochs. Zusätzlich wird ein Entweichen der entstehenden Gase im Zuge der Detonation verhindert. Als Materialien kommen Sand, Lehm oder Wasser zum Einsatz.²³

Das hochbrisante und schlagempfindliche Zündmittel übt die Zündung elektrisch oder pyrotechnisch aus. Unter dem Sprengstoff wird ein Gemisch verstanden, das bei der Entzündung eine Reaktion in Form von Explosion oder Detonation auslöst. Die Detonation zeichnet sich im Vergleich zur Explosion durch eine höhere Ausbreitungsgeschwindigkeit aus. Die damit verbundene Wirkung des Sprengstoffs entfaltet sich in zwei Phasen. Die Zertrümmerung des Gesteins findet in der Schlagphase statt, das Wegschleudern des zerkleinerten Materials erfolgt in der Gasphase. Durch das Hinzufügen von Brennstoffen, wie z.B. Zellulose und Dieselöl, kann das Ergebnis der Gasphase verbessert werden. Im Zuge des Sprengvorgangs ist auf eine Reihe von Einflussfaktoren zu achten. Neben der Geologie und dem auszubrechenden Querschnitt werden Anforderungen an den Umwelt-, Lärm- und Gewässerschutz gestellt.²⁴



Abb. 2.4: Sprengung (Quelle: ÖBB [30])

Sprengstoff

Die Wahl des geeigneten Sprengstoffes trägt maßgebend zum Erfolg des Sprengvortriebs bei. Es handelt sich um ein aus chemischen Bestandteilen zusammengesetztes Gemenge. Im Tunnelbau finden laut Girmscheid [13] drei Arten von Sprengstoffen ihre Verwendung, nämlich ANFO-Sprengstoff, gelatinöser Sprengstoff und Emulsionssprengstoff. Ein wesentlicher Bestandteil des ANFO-Sprengstoffs bildet das Ammoniumnitrat. Der Hauptstoff unterteilt sich je nach Sprengstoffart in eine pulverförmige, flüssige oder gelatinöse Konsistenz. Der Vorteil des pulverförmigen ANFO-Sprengstoffs liegt einerseits in der kostengünstigen Herstellung und andererseits im einfachen Umgang während des Sprengvorgangs, da dieser keine explosiven Komponenten aufweist. Weiters ist eine mechanische Einbringung direkt vor Ort mit dem Ladegerät möglich.²⁵ Ein Einsatz auf

²³Vgl. [13] Girmscheid, S. 93

²⁴Vgl. [13] Girmscheid, S. 79 ff.

²⁵Vgl. [16] Goger, S. 81

Baustellen mit Wasserandrang ist aufgrund der Empfindlichkeit des Granulats gegenüber Wasser nicht möglich. Ein weiterer Nachteil liegt in der Zündung. Diese ist nur in Kombination mit zusätzlichen Stoffen möglich. Der flüssige Emulsionssprengstoff hingegen enthält durch seine Verbindung aus Salzlösungen und zündbaren Bestandteilen, die mit Emulgatoren stabilisiert werden, wasserfeste Eigenschaften. Die Zugabe von Stoffen sorgt aufgrund der dichtregulierenden Wirkung im Gegensatz zum ANFO- Sprengstoff für die Sprengwirkung. Überdies zeichnet sich der Sprengstoff ebenso durch eine hohe Sicherheit bei der Handhabung aus, da explosionsfähige Bestandteile nicht beigemischt sind. Im Gegensatz zum pulverförmigen Sprengstoff wird der Nitratsprengstoff mit Misch-Lade-Fahrzeugen direkt vor Ort aufbereitet und eingebracht. Das Ladegerät setzt sich aus den Bestandteilen Mischvorrichtung, Ladepumpe und Ladeschlauch zusammen. Die Mischvorrichtung bildet die Steuerzentrale, von welcher alle Arbeitsschritte koordiniert werden und wo der eigentliche Mischvorgang erfolgt. Mithilfe der Ladepumpe wird die Flüssigkeit über den Schlauch in das Bohrloch gepumpt. Für ein effektives Sprengergebnis findet eine vollständige Befüllung bis zum Bohrlochtiefsten statt. Erreichbare Pumpleistungen von bis zu 150 kg/min sind keine Seltenheit. Neben der Pumpfähigkeit ist eine Einbringung mittels Patronen (Durchmesser: 40 mm) in das Sprengbohrloch (Durchmesser: max. 52 mm) ebenso möglich. Die patronierte Sprengung ist die üblichste Variante im Tunnelbau. Die dritte Sprengstoffart, demnach der gelatinöse Sprengstoff, unterscheidet sich im Vergleich zu den beiden anderen Sprengstoffarten durch eine hohe Schlagempfindlichkeit. Um eine sichere Handhabung zu erreichen, wird zum Hauptbestandteil Nitroglycerin noch Kollodiumwolle beigemischt. Dadurch quillt das Nitroglycerin auf und erhält neben der verbesserten Sicherheit auch knetbare Eigenschaften.²⁶ Die Handhabung mit Sprengstoffen sowie die Anforderungen an die sprengstoffbefugte Person sind durch das Sprengstoffgesetz geregelt.²⁶

Zündmittel

Die im zyklischen Vortrieb zum Einsatz kommenden Sprengstoffarten sind mit einer hohen Handhabungssicherheit verbunden. Eine Zündung mit Zeitzündschnur oder Flamme führt nicht direkt zu einer Detonation. Sprengkapseln oder Zünder lösen diese aus. Ein wirtschaftlicher Ausbruch ist von der Genauigkeit des Zündzeitpunkts und der Qualität des Zündmittels abhängig. Die heutige Sprengtechnik gliedert sich laut Goger [16] in drei Zündsysteme:

- **elektrische Zündung:** Die am weitesten verbreitete Zündmethode stellt die elektrische Zündung im Tunnelbau dar. Der Aufbau eines solchen Systems setzt sich aus HU-Zündern (hoch-unempfindlichen)²⁷ zusammen, die über Kabel mit der Kondensatorzündmaschine verbunden sind. Die Zündmaschine erzeugt die für die Detonation notwendige Energie. Für eine reibungslose und sichere Sprengung ist eine Durchgangsprüfung des Zündkreislaufs mit Zündprüfer vorab notwendig. Die HU-Zünder werden in Momentan- und Zeitzünder klassifiziert. Der Unterschied liegt im Aufbau. Die Momentanzünder detonieren ohne Zeitverzögerung, demgegenüber wird bei den Zeitzündern eine zeitliche Verzögerung über eine Verzögerungseinheit erreicht.²⁸
- **elektronische Zündung:** Eine Erweiterung des elektrischen Zünders stellt der elektronische Zünder dar. Die zwischengeschaltete pyrotechnische Verzögerungseinheit wird durch eine integrierte Schaltung ersetzt. Die Detonation kann in frei programmierbaren Zündintervallen über die Zündmaschine ausgelöst werden. Zündstufen im Millisekundenbereich sind möglich. Aufgrund des hohen Materialpreises finden die elektronischen Zünder nur Anwendung, wenn eine hohe Profilgenauigkeit des Ausbruchsprofils gewünscht ist.²⁸

²⁶Vgl. [13] Girmscheid, S. 79 ff.

²⁷Vgl. [13] Girmscheid, S. 88

²⁸Vgl. [16] Goger, S. 84 ff.

- **nichtelektrische Zündung:** Die Zündung wird über Zündschläuche bewerkstelligt. Die dabei entstehende Zündflamme pflanzt sich an der Innenbeschichtung (hochbrisanter Sprengstoff) des Kunststoffschlauches in Richtung Zünder fort. Der Aufbau ähnelt dem des elektrischen Zünders. Die Verzögerungseinheit sorgt ebenfalls für eine zeitversetzte Detonation. Diese Art des Zündsystems findet aufgrund der schlechten Handhabungssicherheit heutzutage kaum noch Anwendung. Bereits eine geringe mechanische Belastung in Form eines Schnittes führt zum Versagen des Systems.²⁹

Bohr- und Zündschema

Ein wirksamer Sprengvortrieb ist durch das Sprengschema bestimmt. An der Ortsbrust wird die Position, die Länge und die Richtung der Bohr-/Sprenglöcher festgelegt. Neben den geometrischen Eckdaten werden Art und Menge des Sprengstoffs sowie das Zündverfahren und die Zündfolge beschrieben. Der Erfolg des geplanten Sprengschemas hängt neben einer Palette von Einflussgrößen vom Einbruch ab. Dieser schafft zusätzlich zur freien Gesteinsfläche (Ortsbrust) weitere Ebenen, um das Gestein vom Zentrum aus in Richtung der Tunnellaibung mithilfe von Bohrschüssen zu lösen.³⁰ Laut Goger [16] wird im Tunnelbau zwischen den Einbruchschüssen, den Helferschüssen und den Kranzschüssen differenziert.²⁹ Mit den Einbruchschüssen werden freie Flächen vom Zentrum aus beginnend erzeugt. Diese werden ringartig von den Helferschüssen und Kranzschüssen unterstützt. Die Helferschüsse erweitern den gesprengten Hohlraum radial und longitudinal in Richtung der auszubrechenden Abschlagslänge. Im letzten Schritt wird eine Profilgenauigkeit durch die Kranzschüsse realisiert.²⁹ In Abhängigkeit von der vorherrschenden Geologie findet die Variation an Bohrschüssen in den unterschiedlichen Einbruchstechniken ihre Verwendung. Es wird dabei unter anderem zwischen Parallel- und Schrägeinbrüchen differenziert. Die Sprenglöcher bei der Paralleleinbruchsart werden nach einem vordefinierten Raster parallel gebohrt und nicht vollständig mit Sprengstoff befüllt. Als Paralleleinbruchsart kommt heutzutage überwiegend der Großbohrlocheinbruch zum Einsatz. In Abb. 2.5 ist eine schematische Darstellung des Paralleleinbruchs dargestellt. Vom Zentrum aus beginnend werden Großbohrlöcher beladen oder unbeladen gebohrt. Der Vorteil liegt in der Erzeugung einer großen Ausbruchfläche. Im Gegensatz dazu stellt der Schrägeinbruch die älteste Einbruchstechnik dar. Bei dieser Technik wird das Bohrlochrastrer schräg in die Ortsbrust gebohrt und das Gestein keilförmig gelöst. Der entstehende Gasdruck sorgt für optimale Zertrümmerung des Haufwerks.³⁰ Für einen erfolgreichen Sprengvortrieb steht neben der Sprengung auch die Bewetterung und Lüftung des Tunnels im Fokus. Im nachfolgenden Kapitel wird diese näher beschrieben.

2.3.3 Bewettern

Der Sprengvorgang zeichnet sich nicht nur durch das Freisetzen von Energie aus, die für den Lösungsvorgang des Gesteins an der Ortsbrust zuständig ist, es werden auch Schadstoffe entfesselt. Diese setzen sich einerseits aus Gesteinsstaub und andererseits aus dem freigesetzten Sprenggas zusammen. In Kombination mit der Tunnelluft führt dieses Gemisch zu einem schädlichen Arbeitsklima für Mensch und Maschine. Abhilfe schafft ein Bewetterungssystem. Dieses leitet die Frischluft vom Eingangsportal in Richtung Ortsbrust und reduziert die schädliche Belastung in der Luft unter Tage. Die Anreicherung der Tunnelluft mit Sauerstoff und die Reduktion der Staub- und Sprenggasanteile sorgt für ein entsprechendes Arbeitsumfeld. Bereits in der Planung ist auf die Belüftung des Tunnels Rücksicht zu nehmen.³¹ Laut Goger [16] wird das Bewetterungssystem in folgende Kategorien unterteilt:³²

²⁹Vgl. [16] Goger, S. 87 ff.

³⁰Vgl. [13] Girmscheid, S. 99 ff.

³¹Vgl. [13] Girmscheid, S. 643 ff.

³²Vgl. [16] Goger, S. 265 ff.

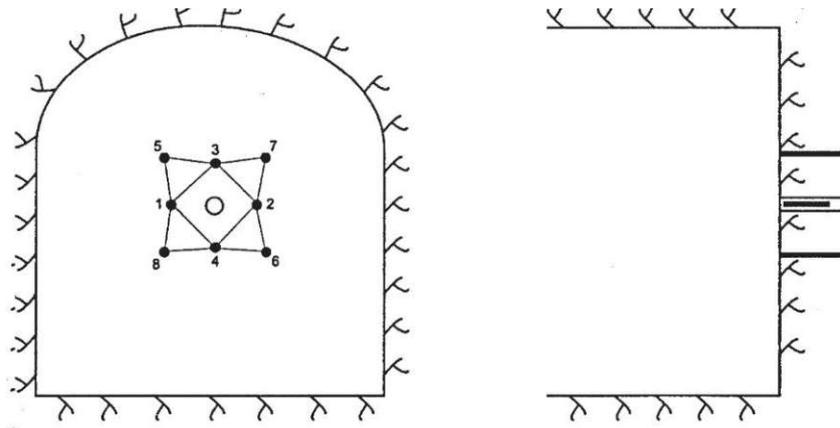


Abb. 2.5: Schematische Darstellung des Paralleleinbruchs: Großbohrlocheinbruch (Quelle: Girmscheid [13, S. 105])

- **Natürliche Lüftung:** Diese Art der Belüftung macht sich die aus der Physik bekannte Konvektion zu Nutze. Das Temperaturgefälle Obertage – Untertage und der Niveauunterschied Ortsbrust – Portal sorgen für eine natürliche Belüftung ohne mechanische Unterstützung. Tunnel mit einer maximalen Länge von 200 m können mit dieser Art von Belüftung betrieben werden.³³
- **Drückende Belüftung:** Im Gegensatz zur natürlichen Lüftung wird die drückende Belüftung mechanisch unterstützt. Die Frischluft wird am Portal mithilfe von Ventilatoren/Lüftern gefördert und in Richtung Ortsbrust geleitet. An dieser entsteht ein Gemisch aus Schadstoffen und Frischluft, das in Richtung Eingangsportal des Tunnels gedrückt wird. Über die gesamte Tunnellänge sind Messstellen verteilt, die den Schadstoffgehalt in der Tunnelluft kontinuierlich überprüfen. Um einer *toten Zone* an der Ortsbrust entgegenzuwirken, muss die weiche Lutte (Kunststoff) bis an diese herangeführt werden.
- **Saugende Belüftung:** Die stark verunreinigte Luft an der Ortsbrust wird bei dieser Art der Bewetterung mithilfe von steifen Lutten abgesaugt. Im gleichen Zug zieht vom Tunnelportal die Frischluft nach. Der Saugeffekt ist durch den Querschnitt der Belüftung (Lutte aus Blech) begrenzt. Daher kommt die saugende Belüftung als Primärbelüftung kaum zum Einsatz.
- **Umkehrbare Bewetterung:** Die Bewetterung des Tunnels wird einerseits *drückend* und andererseits *saugend* realisiert. Dabei kommt ein schwenkbarer Ventilator zum Einsatz. Dieser wechselt je nach Arbeitsvorgang zwischen den beiden Modi. Vor Beginn des Sprengvorgangs wird die Frischluft angesaugt, nach erfolgter Sprengung wird die verunreinigte Luft abgesaugt.
- **Kombinierte Bewetterung:** Neben der Hauptbewetterung kommt auch eine Sekundärbewetterung zur Anwendung. Die Aufgabe der Hauptbewetterung liegt im Absaugen der schadstoffhaltigen Luft an der Ortsbrust. Unterstützt wird sie von der Sekundärbewetterung, siehe Abb. 2.6. Diese drückt die Frischluft in Richtung Tunnelende. Die Kombination dieser Bewetterungssysteme sorgt für die Reduktion der *toten Zone* an der Ortsbrust.

³³Vgl. [16] Goger, S. 267 ff.



Abb. 2.6: Kombinierte Belüftung: Hauptbelüftung (schwarz) und Sekundärbelüftung (gelb) (Quelle: Korfmann [18])

2.3.4 Schuttern

Unter dem Begriff Schuttern, wird der Abtransport des gelösten Gesteins (Haufwerk) unter Tage in Richtung Tunnelportal verstanden.³⁴ Schuttern nimmt innerhalb des Sprengvortriebs eine Schlüsselposition ein. Die Sicherungsarbeiten an der Ortsbrust und der Tunnellaibung können erst nach Abschluss des Schutternvorgangs erfolgen. Bereits in der Planungsphase des gesamten Baubetriebs ist auf die Abstimmung der Gerätedisposition aus technischer und wirtschaftlicher Sicht zu achten. Eine beispielhafte Darstellung einer Gerätedisposition, die sich aus Radlader und Muldenkipper zusammensetzt, ist in Abb. 2.7 dargestellt. Die Vortriebsleistung sowie die Vortriebsgeschwindigkeit werden maßgeblich dadurch beeinflusst. Schuttern liegt folglich am kritischen Weg. Beim Geräteinsatz ist auf eine Bandbreite von Einflussgrößen zu achten. Neben der Geologie und der Abschlagslänge erfolgt die Wahl der Schuttergeräte anhand folgender Kriterien.^{35,34}

- **Transportentfernung:** Die Distanz zwischen Ortsbrust und Deponie bzw. Entladestelle, die zurückgelegt werden muss.
- **Steigungsverhältnis:** Die Trasse des herzustellenden Tunnels verläuft nicht ausschließlich horizontal. Die Leistungsfähigkeit der Geräte wird maßgebend durch das Steigungsverhältnis beeinflusst.
- **Lichtraum:** Die Größe des Querschnitts und die Länge des Tunnels wirken sich auf den zur Verfügung stehenden Arbeitsraum erheblich aus. Die Installationen der Ver- und Entsorgung, meist im Firstbereich situiert, sorgen zusätzlich für einen beengten Arbeitsbereich im Tunnel.
- **Ausbruchskubatur pro Ausbruchsquerschnitt:** Die Menge des gelösten Gesteins beeinflusst die Wahl des Geräts entscheidend.

³⁴Vgl. [13] Girmscheid, S. 134 ff.

³⁵Vgl. [16] Goger, S. 250 ff.

- **Materialkennwerte des auszubrechenden Materials:** Eigenschaften des Haufwerks, wie die Kornverteilung, die Kornform, die Korngröße und der Auflockerungsgrad wirken sich auf die Schutterzeit aus.

Laut Goger [16] wird im Verlauf des Schuttervorgangs zwischen Lade-, Förder- und Transportgeräten differenziert. Die Hauptaufgabe des Ladegeräts liegt in der Übergabe des gelösten Gesteins an das Transportgerät im Bereich der Ortsbrust. Ein kontinuierlicher Ladevorgang sorgt für einen effizienten Sprengvortrieb mit kurzen Schutterzeiten.³⁵ Je nach Einsatzgebiet werden die Ladegeräte in Hochlöffelbagger, Radlader, Tunnelladebagger, Seitenkipper, Radlader, Stollenfahrlader und Universalgerät unterteilt. Der Hochlöffelbagger zum Beispiel kommt bei Tunneln mit einem Durchmesser von bis zu 12 m zur Anwendung.³⁴

Das Transportgerät befördert das Haufwerk in Richtung Portal an die vorgesehene Entlade- stelle. Eine Kategorisierung findet zwischen radgebundenem und gleisgebundenem Förderbetrieb sowie Förderbändern in Abhängigkeit der Tunnellänge, des Neigungsverhältnisses und der Querschnittsgröße statt. Mithilfe des Radbetriebs (Muldenkipper oder Fahrlader) sind Steigungen mit maximal 12 % sowie Querschnitte mit einer Fläche von mehr als 25 m² bewältigbar. Das Tätigkeitsfeld des gleisgebundenen Förderbetriebs (Lokomotiven in Kombination mit Förderwägen) liegt bei Querschnitten bis 15 m² mit geringer Steigung. Die baubetriebliche Sinnhaftigkeit von Förderbändern zeigt sich insbesondere bei Tunneln mit großer Länge.³⁵



Abb. 2.7: Gerätedisposition für einen Schuttervorgang (Quelle: ÖBB [29])

2.3.5 Spritzbeton

Auf die durch Sprengstoff manipulierte Gesteinsoberfläche kann nach Abschluss der Bewetterungsphase direkt Spritzbeton (SpC) aufgespritzt werden. Die Versiegelung der Oberfläche unterbindet ein Auflockern des Gebirges und fördert das Gebirgstragverhalten nachträglich. Die tragende Wirkung wird aufrechterhalten und zusätzlich unterstützt. Der flüssige Beton zeichnet sich durch elastoplastische Eigenschaften im aufgetragenen Zustand aus. Dadurch lassen sich bereits frühzeitig Verformungen erkennen, die auf ein Standsicherheitsproblem des Gebirges hinweisen. Die Konsistenz des Spritzbetons sorgt zusätzlich für einen positiven Effekt. Offene Klüfte und Spalten im Gebirge werden vollflächig verfüllt und geschlossen. Der in den Öffnungen als Keil wirkende SpC verhindert somit ein Nachbrechen des Gebirgsmassivs.³⁸ Der Schutz vor herabfallenden Gesteinsbrocken im Bereich der Kalotte wird gleichermaßen erhöht.³⁷ Das Auftragen des Spritzbetons auf die bearbeitete Gesteinsoberfläche erfolgt mithilfe von zwei gängigen Verfahren. Es wird zwischen dem Trocken- und dem Nassspritzverfahren unterschieden. Das Einsatzgebiet des Trockenspritzverfahrens liegt bei Untertagebaustellen, auf denen mit häufigen Ortswechseln während des Vortriebs zu rechnen ist. Diese Situation tritt vor allem dann auf, wenn in mehr als einer Röhre vorgetrieben wird. Das Trockengemisch, bestehend aus Zement, ofentrockenen Zuschlagstoffen und Abbindebeschleunigern, wird über eine Spritzmaschine befördert. Das Gemenge wird durch den Gebrauch von Druckluft in Richtung der Spritzdüse gefördert, die per Hand geführt wird. An der Düse findet ein Mischvorgang mit Anmachwasser statt. Das dabei entstehende Gemisch wird mit einer Geschwindigkeit von mehr als 20 m/s gefördert. Die hohe Aufprallgeschwindigkeit sorgt für einen unmittelbaren Verdichtungsprozess an der Oberfläche. Das Durchmengen des Trockengemisches an der Spritzdüse ist mit einer hohen Staubentwicklung verbunden. Dadurch werden die Arbeitsbedingungen unter Tage zusätzlich erschwert.³⁸ Aus arbeitstechnischer Sicht ist dieses Verfahren mit entsprechenden Auflagen verbunden, wodurch ein Einsatz heutzutage kaum noch stattfindet. Ein baubetrieblicher Vorteil, der mit dem Trockenmischgut einhergeht, ist die Lagerung in Silos. Dadurch ist ein Vorhalten des Materials auf der Baustelle über einen längeren Zeitraum möglich. Besonders auf die Lagerbedingungen ist zu achten. Den Kontakt mit Feuchtigkeit gilt es strikt zu unterbinden, da dadurch eine chemische Reaktion ausgelöst werden würde, die das Material unbrauchbar macht. Abhilfe wird durch die Anwendung von naturfeuchten, anstatt ofentrockenen, Zuschlägen geschaffen.³⁷ Der Transport des Materials, unabhängig von den Zuschlagstoffen, findet mithilfe von mobilen Silofahrzeugen in Richtung Ortsbrust statt.

Im Gegensatz dazu steht das Nassspritzverfahren. Die Bestandteile des Gemisches unterscheiden sich einzig und alleine durch das direkte Beimischen von Anmachwasser und Verflüssiger. Der aufwendige Mischvorgang an der Spritzdüse im Vortriebsbereich fällt dadurch weg. Weiters sorgt das Nassspritzverfahren für eine Reduktion des Geräteeinsatzes, da sich der Transport des Mischguts auf Transportmischer beschränkt. Die Förderung des aufzubringenden Gemisches in Richtung des Spritzarms über kurze Pumpleitungen erfolgt durch zwei Varianten, durch die pneumatische (Dünnstrom) und die hydraulische (Dichtstrom) Förderung. Die Fördermethoden werden durch Spritzpumpen unterstützt. Die hohe Spritzleistung ist per Hand nicht zu bewältigen, daher kommen mechanische Spritzarme, sogenannte Spritzroboter, zum Einsatz, siehe Abb. 2.8. Der Nachteil des Verfahrens liegt in der sensiblen Förderstrecke. Die Förderleitungen neigen durch die Konsistenz des Materials zum Verstopfen. Weiters ist beim Aufbringen des Mischguts auf den Rückprall zu achten. Je geringer dieser beim Aufbringen ausfällt, desto höhere Vortriebsleistungen sind möglich.^{37,38}



Abb. 2.8: Nassspritzverfahren mittels Spritzroboter an der Ortsbrust (Quelle: Tunnel-Online [45])

2.3.6 Stützmittel

Grundsätzlich muss je nach projektspezifischen Gegebenheiten der Geologie eine entsprechende Sicherungsmethode gewählt werden. In Abhängigkeit der zu wählenden Vortriebsart, sei es der zyklische oder der maschinelle Vortrieb, wird zwischen der vorübergehenden und der vorausseilenden Sicherung differenziert. Liegt eine geringe Stehzeit des anzutreffenden Gebirges vor, müssen entsprechende Maßnahmen getroffen werden. Der Einbau von Sicherungsmitteln stellt eine dieser Maßnahmen dar. Dadurch wird nicht nur die Tragfähigkeit verbessert, sondern auch die Steifigkeit des vorherrschenden Bergmassivs erhöht. Auf den Vorgang der Sicherung kann bei einem standfesten Gebirge verzichtet werden. Verpflichtend ist das Anbringen eines Kopfschutzes (Netz), um ein sicheres Arbeitsumfeld für das Personal unter Tage zu schaffen. Trifft man im Zuge der Vortriebsarbeiten auf nicht standfestes Gebirge, so folgt direkt im Anschluss an den Ausbruch die vorübergehende Sicherung. Je früher der Einbau erfolgt, desto rascher wird ein Auflockern verhindert, wodurch die Eigentragfähigkeit des Gebirges reduziert wird. Das Einbringen der Stützmittel von Spritzbeton, Anker, Bögen und Bewehrungsmatten erfolgt radial in die umliegende Tunnellaubung und longitudinal in die Ortsbrust.³⁶ Im Gegensatz dazu steht die vorausseilende Sicherung. Ihr Einsatzgebiet liegt in Gebirgen, deren Stehzeit geringer ist als die Einbauzeit der Stützmittel. Die Sicherung erfolgt in Form von Injektionen, Rohrschirmen, Spießen etc., die in Richtung der Ortsbrust getrieben werden. Deren Wirkungsbereich erstreckt sich nicht weiter als über die Abschlaglänge hinaus.^{37,38}

Um die Einbauzeit so gering als möglich zu halten, wird der Einbau mechanisch unterstützt. Die Anker werden mithilfe eines Bohrwagens in das Gestein gebohrt. Der Spritzbeton wird entweder händisch per Pumpe oder mithilfe eines Spritzroboters aufgetragen. Die Montage von Bögen und Bewehrungsmatten erfolgt durch Radlader oder Hebebühnen. Das Ziel der Sicherungsmaßnahmen

³⁶Vgl. [39] ÖNORM B 2203-1: 2022-01-15, S. 6

³⁷Vgl. [16] Goger, S. 195 ff.

³⁸Vgl. [13] Girmscheid, S. 171 ff.

ist das Erreichen eines vollständigen Ringschlusses. Stützmittel werden nicht nur über Kopf in die Kalotte eingebracht, sondern ebenso im Bereich der Ulme, Sohle und Strosse.³⁸ Die vorübergehende Sicherung unterteilt sich in folgende Sicherungsmittel:

Anker

Das im Tunnelbau zum Einsatz kommende Stützmittel hat denselben Zweck wie die Bewehrung im Stahlbeton, nämlich die Belastung (Zugkraft) aufzunehmen und über eine ausreichende Ankerlänge in das umliegende Bergmassiv abzuleiten. Die Ankerlänge korreliert mit der Wirksamkeit des Zuelementes. Für das Erreichen einer Verbundwirkung mit dem Gebirge ist auf eine entsprechende Länge zu achten. Weiters sorgt das Stützmittel für eine verbesserte Tragwirkung des Gebirges. Auflockerungen, die zu Verschiebungen von Klüften oder Trennflächen führen, können dadurch weitgehend vermieden werden.^{39,40} Um diesen Effekt zu erreichen, werden die Anker einzeln oder systemisch radial und/oder longitudinal in der Ortsbrust angeordnet. Beim Bohrvorgang ist darauf zu achten, dass Trennflächen und Klüfte senkrecht durchörtert werden, um ein optimales Ergebnis zu erzielen. Darüber hinaus kann eine Verbesserung in Kombination mit Spritzbeton erreicht werden. Der Verbund aus Gebirge, SpC und Anker sorgt für eine optimale Tragwirkung. Das Stützmittel wird in Abhängigkeit des Tragverhaltens in Einzelanker, Mehrfachanker und Systemanker klassifiziert. Lockern sich im Zuge der Vortriebsarbeiten einzelne Gesteinsblöcke, können diese mittels Einzelanker gesichert werden und sorgen somit für den Schutz des Personals unter Tage. Liegen geringe Scherfestigkeiten von Trennflächen vor, ist unter Einsatz von Mehrfachankern eine Verbesserung der Trennflächeneigenschaften möglich, dargestellt in der Abb. 2.9. Die Bewegungsmöglichkeit von Gesteinsflächen wird dadurch verhindert, ähnlich der Wirkung eines Dübels. Ist eine systemische Sicherung des Ausbruchprofils teilweise oder vollständig notwendig, sind Systemanker in Ortsbrust und/oder Tunnellaibung vorzusehen.⁴¹ Neben dem Tragverhalten findet eine weitere Gliederung nach der Verankerungstechnik statt. Hierfür wird zwischen Verbundanker (Füllmörtelanker, Injektionsbohranker etc.), Reibungsanker (Swellex-Anker), Spreizhülsenanker und glasfaserverstärkte Kunststoffanker (GFK-Anker) unterschieden.⁴¹ Die Anker werden mechanisch durch einen Bohrwagen in den zu sichernden Bereich gebohrt. Die Anwendung der glatten, gerippten oder aus hochfestem Stahl bestehenden Stützmittel erfolgt im schlaffen oder im vorgespannten Zustand.⁴²

Tunnelbogen

Basierend auf der Gewölbewirkung schafft der Tunnelbogen, auch Einbaubogen genannt, eine unmittelbare Stabilisierung des Ausbruchprofils und zusätzlich die Sicherung des Vortriebsbereichs. Das Einsatzgebiet liegt vor allem in Gebirgen mit geringer Stehzeit und nachbrüchigen Verhalten, siehe Abb. 2.10.⁴³ Neben der sofortigen Sicherung des Arbeitsbereichs sorgt der Einbaubogen für die Formgestaltung der Tunnellaibung sowie für die Herstellung eines Auflagers. Die vorausseilenden Sicherungen (Spieße, Dielen etc.) oder Bewehrungsmatten liegen dabei auf dem Ausbaubogen auf. Im Tunnelbau wird zwischen den gängigen Varianten Stahlwalzprofile (HEA, HEB-Profile etc.) und Gitterträgern unterschieden.⁴³ Dieses Stützmittel unterliegt technischen Anforderungen. Das Ableiten von Belastungsarten wie Normalkraft und Biegebeanspruchungen in das umliegende Gebirge zählt dabei zu den Hauptaufgaben. Eine Dauerbelastung dieser Spannungszustände ist nur im begrenzten Maß möglich, da Deformationen auftreten können. Diesem Verhalten kann bereits im Herstellungsprozess der Tunnelbögen entgegengewirkt werden. Die Herstellung in Segmenten und die Montage im Vortriebsbereich mithilfe von Stoßverbindungen sorgen für

³⁹Vgl. [16] Goger, S. 208 ff.

⁴⁰Vgl. [13] Girmscheid, S. 226 ff.

⁴¹Vgl. [16] Goger, S. 209 f.

⁴²Vgl. [13] Girmscheid, S. 228

⁴³Vgl. [13] Girmscheid, S. 239 ff.



Abb. 2.9: Einbringen von Mehrfachanker im Bereich der Tunnellaibung (Quelle: GKI [15])

die notwendige Tragfähigkeit des Einbaubogens und verhindert das Ausknicken. Zusätzlich führen die Bogensegmente zu einer erheblichen Gewichtsreduktion. Der Transport und die Handhabung werden dadurch erheblich vereinfacht.⁴⁴ Während der Einbauphase ist neben der Verbindungstechnik auf die Verbundwirkung von Spritzbeton und Tunnelbogen zu achten. Die Gitterstütze ist im Gegensatz zur Ausführung des vollflächigen Stahlwalzprofils aufgrund ihrer fachwerkartigen Struktur am geeignetsten. Die geringere Fläche sorgt für weniger Fehlstellen beim Auftragen des Spritzbetons und lässt Spritzschatten und Rückprall geringer ausfallen. Um die auf den Tunnelbogen wirkende Belastung optimal abzuleiten, ist neben der Verbindungstechnik der Bogensegmente auf eine kraftschlüssige Verbindung mit dem Untergrund im Fußbereich zu achten. Der vollständige Ringschluss wird durch die Verwendung von Stahlträgern, Schwellen, Bohlen und Keilen aus Holz, auf welchen der Tunnelbogen aufliegt, erreicht.^{43,44}

Bewehrung – Netz und Matten

Um das Personal und die Geräte vor herabfallenden Steinen oder Kluftkörpern zu schützen, kommen in Kombination zum SpC, Matten und Netze zum Einsatz. Sie werden nicht nur als Kopfschutz verwendet, sondern dienen darüber hinaus als Bewehrung für den SpC. Als Bewehrungsmatten kommen üblicherweise Baustahlgitter (AQ-Matten) zum Einsatz. Diese werden im Bereich der Tunnellaibung ein- oder zweilagig an den Tunnelbögen (Auflager für die Matten) befestigt und falls notwendig zusätzlich an der Ortsbrust. Im Gegensatz zu den Bewehrungsmatten weisen die Bewehrungsnetze eine gewisse Flexibilität in der Handhabung auf. Dies erklärt sich durch das geringere Gewicht der Netze. Diese kommen vor allem bei nicht gebräuchtem Gestein zum Einsatz.^{45,46}

Vorauselende Sicherungsmittel

Um einen sicheren Vortrieb bei projektspezifischen Bedingungen, wie etwa geringer Überdeckung, Grundwasserantritt oder Unterfangungen von Gebäuden im Hart- und/oder Lockergestein zu gewährleisten, ist der Einsatz von spezifischen Sicherungsmaßnahmen notwendig.⁴⁷ Die Rede

⁴⁴Vgl. [16] Goger, S. 221 ff.

⁴⁵Vgl. [16] Goger, S. 208

⁴⁶Vgl. [13] Girmscheid, S. 41

⁴⁷Vgl. [16] Goger, S. 225



Abb. 2.10: Tunnelbogen (Quelle: Tappauf.consultants [43])

ist dabei von systemischer Sicherung mithilfe vorausseilender Sicherungsmittel. Das dadurch erzeugte Schirmgewölbe hat die Aufgabe, den temporär freigelegten Ausbruchbereich zwischen der kontinuierlich nachlaufenden Sicherung bis hin zur ausgebrochenen Ortsbrust zu stabilisieren, bis die vorübergehende Sicherung (SpC, Bewehrungsmatten, Anker, Tunnelbögen etc.) abgeschlossen ist. Der Vorgang erstreckt sich meist nicht nur über die gesamte Abschlagslänge⁴⁸, sondern findet ebenso direkt an der Ortsbrust statt. Stößt man im Zuge der Vortriebsarbeiten auf heterogene Bodenverhältnisse, Störzonen von Geröll oder Findlingeinlagerungen, hat sich vor allem die Vortriebssicherung mit Rohrschirmen anstatt mit HDI-Schirmen bewährt. Einlagerungen werden dadurch wirksamer durchbohrt. Laut Girmscheid [13] wird die vorausseilende Sicherung in Methoden für Festgestein (Spieße, Rohrschirme etc.) und Lockergestein (Vorpfändung mittels Verzugsblechen, HDI-Schirme, Setzungsstabilisierungsinjektion und Gefrierschirme) unterteilt.⁴⁹

2.4 Injektionsarbeiten

Das Einbringen von Injektionsmitteln in das umliegende Gestein im Bereich des Ausbruchs bildet ein probates Mittel im Tunnelbau, um einerseits Setzungen entgegenzuwirken und andererseits, im Fall von massiven Wassererschwernissen, trotzdem den zyklischen Vortrieb auffahren zu können. Dies wird schematisch in der Abb. 2.11 dargestellt .

Bei der Auswahl geeigneter Injektionsmethoden bestehen hohe technische Anforderungen, um Setzungen so gering als möglich zu halten. Bei lokalen Eingriffen in die Natur ist besonders auf das bestehende Grundwassersystem zu achten. Beeinträchtigungen des Grundwasserspiegels und der Fließbedingungen durch das eingesetzte Verfahren und zur Anwendung kommenden Stoffe sind so gering als möglich zu halten. Das Prinzip der Injektionstechnik, die in situ Bodeneigenschaften (Dichte und Festigkeit) zu verbessern, wird im Lockergestein und Festgestein angewendet.⁵⁰ Der Einsatz von Chemikalien als Injektionsmaterial findet aufgrund der zunehmenden technischen

⁴⁸Vgl. [39] ÖNORM B 2203-1: 2022-01-15, S. 4

⁴⁹Vgl. [13] Girmscheid, S. 243

⁵⁰Vgl. [13] Girmscheid, S. 256 ff.

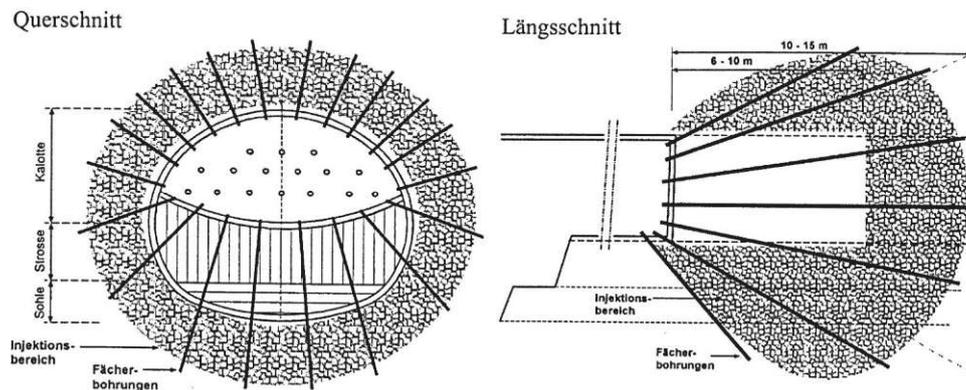


Abb. 2.11: Injektionsschirm Quer- und Längsschnitt (Quelle: Girmscheid [13, S. 276])

(Umweltverträglichkeit und Entsorgung) und wirtschaftlichen Voraussetzungen (Kosten) kaum noch Verwendung. Gegenwärtig erhalten Verfahren wie das Düsenstrahlverfahren und Injektionen mit Injektionsmitteln den Vorzug. Als Injektionsmaterial haben sich vor allem mineralische Füller und Zement etabliert. Beide Materialien besitzen eine hohe Anpassungsfähigkeit und Verträglichkeit.⁵⁰

Das Düsenstrahlverfahren, bzw. laut Girmscheid [13] Hochdruckinjektionsverfahren (HDI) genannt, zeichnet sich durch das Einpressen von Zement oder einer Zement-Betonit-Suspension in den Boden aus, wodurch sich der Lockergesteinverbund verfestigt. In Abhängigkeit der Bodenarten können Injektionssäulen mit einem Durchmesser von 20 cm in Ton bis hin zu 60 cm in groben Kies und Fels mit einer maximalen Bohrlänge von 25 m realisiert werden. Hergestellt werden die Säulen im Pilgerschrittverfahren.⁵¹ Im ersten Arbeitsschritt wird mittels einer Spülbohrung der Boden gelöst. Die Bohrspülung in Form eines energiegeladenen Wasserstrahls gelangt über das hohle Bohrrohr bis ans Bohrlochtiefe im Bereich des Bohrkopfs. Das Zusammenspiel aus Bohren und Schneiden lässt den Boden erodieren. Das Bohrklein (gelöstes Gestein) wird mithilfe von Wasser entlang der Bohrstrecke in Richtung Oberfläche transportiert. Im Anschluss folgt die Phase der Injektion. Vor Beginn findet ein Verschluss der Wasserdüsen mit Stahlkugeln statt, um einen zielgerichteten Injektionsstrahl zu erzeugen, siehe Abb. 2.12. Durch Periodische Auf- und Abbewegungen wird das Bohrgestänge gezogen. Dadurch verteilt sich die Suspension gleichmäßig im umliegenden Gestein.⁵⁰

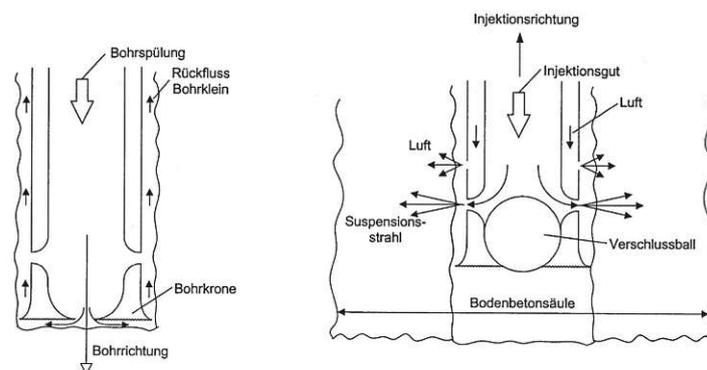


Abb. 2.12: Bohrkopf des Bohrgestänges einer HDI-Säule (Quelle: Girmscheid [13, S. 260])

⁵¹Vgl. [16] Goger, S. 227 f.

In der Injektionsphase wird zwischen dem Ein-, Zwei- und Dreiphasen Verfahren differenziert, schematisch dargestellt in Abb. 2.13. Im Einphasenverfahren erzeugt der Injektionsstrahl bis zu 600 bar. Auf die einsetzende Verflüssigung des Bodens folgt anschließend die Phase der Verfestigung mittels Zementsuspension. Die dadurch erzeugten zylinderförmigen Injektionskörper werden als Schirmgewölbe oder zur Sicherung der Ortsbrust verwendet. Im Zweiphasen-Verfahren wird zusätzlich der Suspensionsstrahl mit einem 3 – 6 bar energiereichen Druckluftstrahl ummantelt, um einen größeren Säulendurchmesser zu erreichen. Das Dreiphasen-Verfahren wird durch einen vorgelagerten Wasserstrahl ergänzt. Die Reichweite des Injektionsstrahls wird dadurch verdoppelt.⁵²

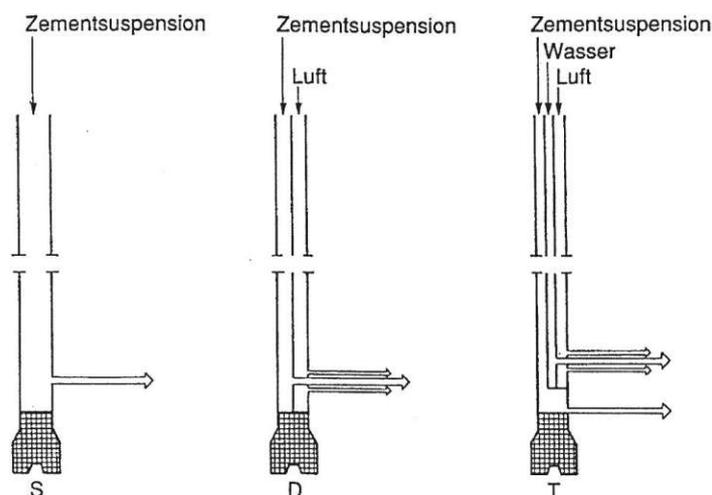


Abb. 2.13: Ein-, Zwei- und Dreiphasen Verfahren (Quelle: Girmscheid [13, S. 261])

Nach Abschluss der Injektionsphase sind die befüllten Bohrlöcher unverzüglich zu verdichten, damit ein Auslaufen der Suspension unterbunden wird. Im Anschluss an den Sicherungsvorgang folgt der Einbau von konventionellen Sicherungsmitteln.⁵¹

Zur Stabilisierung des Ausbruchbereichs bei nicht standfesten Gebirgen und Lockergestein mit Wasserantritt ist der Gebrauch von Injektionen im Tunnelbau vorgesehen. Das in den Baugrund eingepresste Injektionsmaterial sorgt aufgrund der sich ausbildenden Klebewirkung in den Trenn- und Kluftflächen bzw. Porenräumen für eine Verbesserung der Standfestigkeit des Gebirges sowie für eine Reduzierung der Durchlässigkeit des Bodens.⁵³ Laut Girmscheid [13] kommen dafür folgende Injektionsmittel in Frage:⁵³

- Zementsuspension und Feinmörtel
- chemische Injektion auf Basis von Wasserglas
- Kunstharzinjektion auf Basis von Reaktionsharz

Die Injektionsmethoden sind anhand ihrer technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkte abzuwägen. Dabei spielt Zementsuspension als kostengünstiges Injektionsmaterial seine Stärken vor allem in Lockergestein und Fels mit geringer Durchlässigkeit aus. Zusätzlich ist der Einsatz durch Adaptierung der Zementsuspension in Böden unterhalb des Grundwasserspiegels möglich. Der negative Aspekt liegt hingegen in der langen Erhärtungszeit im Untergrund, die

⁵²Vgl. [13] Girmscheid, S. 260 f.

⁵³Vgl. [13] Girmscheid, S. 273

mit einer Verlängerung des Vortriebszyklus verbunden ist. Abhilfe schafft Polyurethanschaum. Diese kostenintensive Sicherungsmethode sorgt für ein verbessertes Abbindeverhalten, wodurch eine Zeitersparnis erreicht wird. Der Schwerpunkt dieser Variante liegt in der Erstellung von Injektionskörpern in Baugrundverhältnissen, wo mit hohem Kluftwasserdruck zu rechnen ist. Neben der abdichtenden Wirkung entlang eines aus Injektionsmitteln erzeugten geschlossenen Ringes um das Ausbruchprofil, ist eine Lastabtragung gleichermaßen möglich.⁵⁴

2.5 Zusammenfassung

In diesem Kapitel konnte dargestellt werden, dass sich der zyklische Vortrieb im Gegensatz zum maschinellen Vortrieb durch seine hohe Anpassungsfähigkeit im laufenden Baubetrieb auszeichnet. Die in Serie ausgeführten Arbeitsschritte, die sich aus einem intensiven Ressourceneinsatz von Personal und Geräten zusammensetzen, können dahingehend auf die anzutreffenden Untergrundverhältnisse abgestimmt werden. Ein Nachteil des zyklischen Vortriebs ist sicherlich, für den Fall, dass sich ein Arbeitsschritt verlängern sollte, eine Bauzeitveränderung eintreten kann. Tritt eine Abweichung des Bauablaufs auf, so müssen die kalkulierten Ressourcen entsprechend kürzer oder länger vorgehalten werden. Dies wird unter anderem im folgenden Kapitel ausführlich dargestellt werden.

⁵⁴Vgl. [16] Goger, S. 229 f.

Kapitel 3

Baubetriebliche Betrachtung der Kalkulation im Tunnelbau

In diesem Kapitel werden grundlegende betriebswirtschaftliche Kenntnisse mit Fokus auf die Bauwirtschaft dargelegt. Sie bilden das tägliche Rüstzeug eines Ingenieurs in der Kalkulation.

Der erste Abschnitt des Kapitels wird genutzt, um den Leser die allgemeinen Begrifflichkeiten der Kosten näher zu bringen. Zu Beginn erfolgt eine Gegenüberstellung der Kalkulationsphasen. Im Anschluss erfolgt die Betrachtung der Kosten aus Sicht der Zuordnung sowie dem Kostenverhalten.⁵⁵ Die Zuordnung erfolgt kaskadenartig beginnend mit den Kostenarten bis hin zu den Kostenträgern. Neben der Zuteilung ist eine Differenzierung der Kosten nach ihrem Kostenverhalten möglich. Dahingehend wird zwischen fixen und variablen Kosten unterschieden. Hierfür werden die Kosten in Verhältnis zu einer Bezugsgröße wie z.B. produzierte Menge, Bauzeit oder Beschäftigung etc. gesetzt und deren Verhalten durch Anpassung der Bezugsgröße beleuchtet.

Der zweite Abschnitt beschreibt die Kosten- und Preisermittlung nach *ÖNORM B 2061* [35]. Anhand dieser wird der kalkulatorische Weg von Kosten in Richtung eines Baupreises aufgezeigt.

Im abschließenden Abschnitt werden die Baustellengemeinkosten (BGK) untersucht. Diese werden in zeitgebundenen und nicht zeitgebundenen BGK differenziert. Unter den zeitgebunden BGK sind jene Kosten zu verstehen, die in annähernd gleicher Höhe pro Zeiteinheit (Kalendertage, Monate) verursacht werden. Im Gegensatz dazu handelt es sich bei den nicht zeitgebundenen BGK um einmalige Kosten wie z.B. Baustelleinrichtung und -räumung. Der Fokus der gegenständlichen Arbeit liegt auf den zeitgebundenen BGK, da diese maßgeblich durch die Bauzeit beeinflusst werden. Weiters wird in diesem Abschnitt die Methodik im Umgang mit den zeitgebundenen BGK anhand der nationalen Normwerke *ÖNORM B 2203-1* [39], *ÖNORM B 2061* [35] und der Standardleistungsbeschreibung beleuchtet. Die Wahl fällt auf die *ÖNORM B 2203-1* [39], da das gegenständliche Projekt im zyklischen Vortrieb ausgeführt wird.

3.1 Allgemeines zur Kalkulation im Tunnelbau

Laut Girmscheid [13] vereinigt der Tunnelbau Theorie und Praxis zu einer Ingenieurkunst. Das Bezwingen des Gebirgsmassivs ist durch einen erheblichen Ressourceneinsatz von Personal, Geräten und Material gekennzeichnet. Kosten von 15 bis 25 Millionen Euro pro Tunnelkilometer sind daher keine Seltenheit.⁵⁶ Eine große Konkurrenz und ein stark umkämpfter Markt lässt Bauunternehmen einen Gewinn in Höhe von maximal 1–3%, bezogen auf den Umsatz erwirtschaften.⁵⁷ Weiters sorgt das Überangebot an Bauunternehmen für ein Nachfragemonopol seitens des Auftraggebers. Meist erhält das billigste Angebot den Zuschlag. Des Weiteren hebt sich die Baubranche zu anderen Branchen durch die folgenden Merkmale hervor:⁵⁸

⁵⁵Vgl. [19] Kropik, S. 41 f.

⁵⁶Vgl. [41] Planradar GmbH

⁵⁷Vgl. [3] B_I Medien

⁵⁸Vgl. [31] Oberndorfer und Haring, S. 1 f.

- Ausschreibung, Angebot, Angebotsprüfung und Zuschlag finden nach klar definierten Verfahren statt. An diese müssen sich öffentliche Auftraggeber halten.
- Da jedes Bauvorhaben ein Unikat darstellt und sich die Planung und Ausführung grundlegend unterscheidet, ist eine aussagekräftige Prognose des Baupreises nicht möglich.
- Die Trennung der Planungs- und Ausführungsphase führt meist zu einer Schnittstellenproblematik zwischen den unterschiedlichen Gewerken.
- Das Bauwerk zeichnet sich nicht nur durch die Einzigartigkeit in seiner Beschaffenheit aus, sondern die technische Stütze, in Form des Vertragswesens, ist ebenso durch Besonderheiten geprägt. Standardverträge bilden im Bauwesen die Ausnahme.

Bauunternehmen sind an die dargelegten Marktmechanismen großteils gebunden und es gibt wenige Ausnahmen. Unternehmen nutzen ihr Know-how und die Produktionsbedingungen, um die geforderten Standards (qualitativ und funktional) einzuhalten und im Anschluss ein Angebot abzugeben.⁵⁸

Das Alleinstellungsmerkmal, das ein Bauunternehmen von anderen Dienstleistungsunternehmen unterscheidet ist, dass es am Markt seine Bereitschaft zur Produktion anbietet und kein fertiges Produkt. Die Vorproduktion wie z.B. von Fertigteilhäusern bilden i.d.R. die Ausnahme im Bauwesen. Das ist der Tatsache geschuldet, dass die Fertigung erst mit dem Eingang des Auftrags erfolgt und dadurch eine Produktion auf Vorrat nicht möglich ist.⁵⁹ Zur notwendigen Auftragserteilung ist zusätzlich auf die Anforderungen (Qualität, Termine, Kosten etc.) des Auftraggebers zu achten. Infrastrukturprojekte verkörpern Unikate. Eine Ausnahme im Bauwesen stellt z. B. die Produktion von Fertigteilhäusern dar. Für Unternehmer aus fachfremden Branchen scheinen projektspezifische Umstände (Risiko von Witterung und Bodenverhältnissen etc.) im Zuge des Herstellungsprozesses befremdlich zu wirken. Im Tunnelbau ist der Umgang mit diesen Risiken jedoch für den Fortbestand des Unternehmens entscheidend. Bei Nichtberücksichtigung dieser Risiken in der Angebotsbearbeitung kann die Folge ein massiver Kostenverzehr in der Ausführung eines Tunnelbauprojektes sein.⁶⁰ Um die Marktzugehörigkeit aufrechtzuerhalten und langfristig Unternehmenserfolge, wie das Erwirtschaften eines Gewinnes zu erreichen, sind entsprechende Strategien gefordert. Eine strategische Kostenplanung mithilfe der Kostenrechnung stellt ein geeignetes Werkzeug dar, um dem vorherrschenden Preis- und Kostendruck in der Bauwirtschaft zu entgegenen.⁵⁹

Unter Kosten wird laut Kropik [19] „*die monetäre Bewertung von Produktionsfaktoren zur Erstellung von Sach- und Dienstleistungen*“ verstanden. Die Produktionsfaktoren gliedern sich einerseits in Repetierfaktoren (Baumaterial, Hilfsstoffe, Betriebsstoffe) und andererseits in Potentialfaktoren (Betriebsmittel, Angestellte und Arbeiter). Die notwendigen Repetierfaktoren werden im Zuge des Herstellungsprozesses verbraucht, während die Potenzialfaktoren im Prozess nicht eingehen, sondern diesen nur unterstützen.⁶⁰

Kennzeichnend für die Kosten ist, dass diese von den betrieblichen Umständen sowie der Art und Weise der Kostenrechnung abhängen. Die Kompetenz der Ermittlung liegt beim Kalkulanten, dessen Ziel die Kostendeckung ist. Die Anforderungen, welche an den Ingenieur gestellt werden, sind unter anderem baubetrieblicher, technischer, rechtlicher und betriebswirtschaftlicher Natur.⁶¹ Der auf dem Markt als Tauschwert einer Sach- oder Dienstleistung angebotene Preis setzt sich gemäß *ÖNORM B 2061* [35] aus den Kosten und dem Gesamtzuschlag zusammen.⁶² Die

⁵⁹Vgl. [19] Kropik, S. 1 f.

⁶⁰Vgl. [19] Kropik, S. 3 ff.

⁶¹Vgl. [31] Oberndorfer und Haring, S. 9 f.

⁶²Vgl. [19] Kropik, S. 33 f.

Festlegung des Preises ist laut Kropik [19] einerseits vom Markt und andererseits von der Preispolitik der Geschäftsführung eines Unternehmens abhängig. Die Existenz eines Bauunternehmens hängt davon ab, ob der Preis mittel- und langfristig über den Kosten liegt.⁶²

3.2 Kalkulationsphasen

Laut Dress und Paul [7] findet eine zeitliche Abgrenzung in Vor- und Nachkalkulation statt, siehe Abb. 3.1. Die Phasen erstrecken sich von der Ausschreibung (Angebotskalkulation) bis hin zum Projektabschluss (Nachkalkulation).

Am Beginn steht die Vorkalkulation. Der Abschnitt der Kalkulation wird weiters in die Angebots-, Auftrags-, Arbeits- und Nachtragskalkulation unterteilt. Die Aufgabe der Angebotskalkulation ist die Ermittlung kostendeckender Preise unter Berücksichtigung von Risiken.⁶³ Abschließend findet eine Anpassung des Angebotspreises, anhand externer (z. B. Markt) und interner Einflüsse (z. B. kalkulatorische Gestaltung der Angebotskalkulation), statt. Nach der Beauftragung des Bauvorhabens seitens AG folgt die Auftragskalkulation. Änderungen werden gegebenenfalls durch Preisumlagerungen und Nachlässe vorgenommen.⁶⁴ Erhält das Bauunternehmen einen Zuschlag für das Bauvorhaben, gehen der AG und AN in Vertragsverhandlungen über. Potenzielle Änderungen wie z. B. Alternativangebote, Preiskorrekturen oder die Reduzierung von Bauleistungen werden im Bauvertrag durch die Auftragskalkulation festgehalten.⁶³ Es folgt die Auftragserteilung durch den AG. Bei der anschließenden Arbeitsvorbereitung liegt der Fokus auf einem wirtschaftlichen Herstellungsprozess des Bauvorhabens. Die Optimierung des Baubetriebs erfolgt durch die laufende Arbeitskalkulation von Baubeginn bis Bauende.⁶³ Treten im laufenden Baubetrieb Abweichungen vom Bauvertrag auf, wird die Nachtragskalkulation herangezogen. Die endgültige Wirtschaftlichkeit einer Baustelle wird mithilfe der Nachkalkulation überprüft. Sie dient als Richtwert für zukünftige Bauvorhaben ähnlicher Bauleistungen.⁶⁵

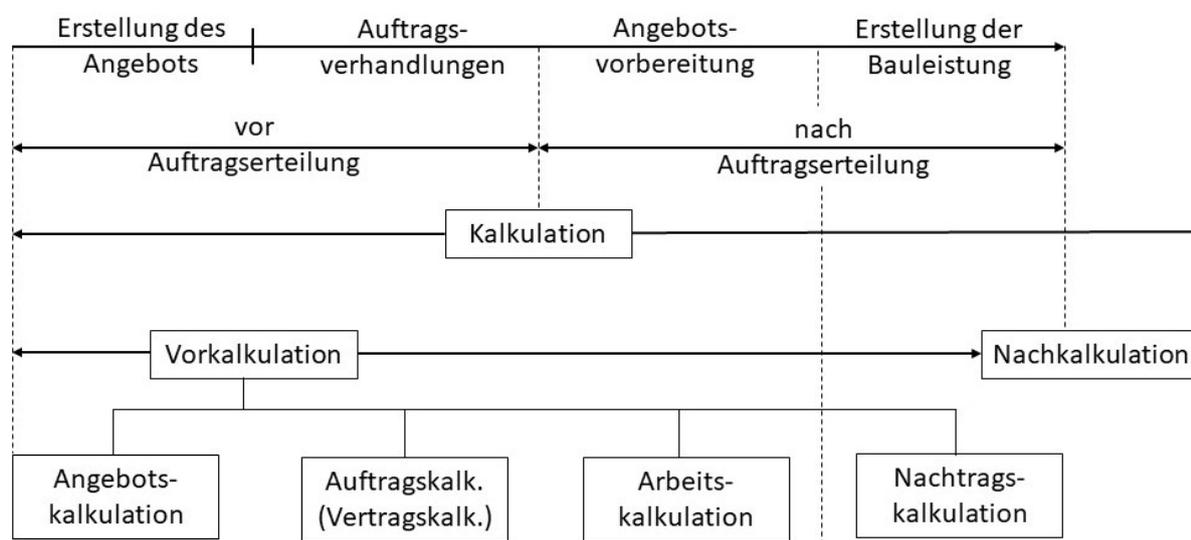


Abb. 3.1: Darstellung der Kalkulationsphasen (Quelle: modifiziert nach Dress und Paul [7, S. 20])

⁶³Vgl. [31] Oberndorfer und Haring, S. 6 ff.

⁶⁴Vgl. [14] Girmscheid und Motzko, S. 118 ff.

⁶⁵Vgl. [25] Leimböck und Klaus, S. 1 f.

In den folgenden Absätzen werden die Phasen der Kalkulation, Vorkalkulation, Angebotskalkulation, Auftrags- und Vertragskalkulation, Nachtragskalkulation und Nachkalkulation genauer dargelegt. Dazu dienen die Werke von Dress und Paul [7], Kropik [19], Oberndorfer und Haring [31], Leimböck und Klaus [25], Girmscheid und Motzko [14] und Wolkerstorfer und Lang [47] als Grundlage.

Vorkalkulation

Das Ziel der Vorkalkulation ist es, kostendeckende Preise zu ermitteln. Berücksichtigt werden Risiken, die im Zusammenhang mit der Leistungserstellung stehen.⁶⁶

Angebotskalkulation

Mithilfe der Angebotskalkulation wird ein angemessener Angebotspreis ermittelt, um einen Auftrag zu erhalten. Dieser Preis muss einerseits so niedrig sein, dass die Chance zur Auftragserteilung besteht. Andererseits ist für die Gewinnmaximierung die Höhe des Preises entscheidend.⁶⁷ Die Angebotskalkulation zählt zu den anspruchsvollsten kalkulatorischen Aufgaben. Mit ihr werden die Kosten ermittelt, die dem Unternehmen im Zuge des Herstellungsprozesses einer konkreten Leistung zu einem bestimmten Zeitpunkt unter Einsatz von Produktionsfaktoren, entstehen.⁶⁸ Die Basis der Kostenermittlung bildet die Leistungsbeschreibung und in weiterer Folge das Leistungsverzeichnis. In diesem werden die auszuführenden Bauleistungen detailliert beschrieben.⁶⁹

Auftragskalkulation und Vertragskalkulation

Vor der Auftragserteilung erfolgt meist ein Verhandlungsverfahren. Dieses bildet die Grundlage für die Auftragskalkulation. Das Verhandlungsverfahren oder auch Bietergespräch genannt, dient dem AN um offene Fragen mit dem AG zu klären.⁶⁹ Das Gespräch führt entweder zur Anpassung der ursprünglichen Angebotskalkulation, oder die Gültigkeit bleibt aufrecht. Änderungen der Angebotskalkulation sehen laut Girmscheid und Motzko [14] wie folgt aus:⁷⁰

- Preisnachlässe
- Mengenänderungen
- Leistungsänderungen
- Pauschalierung von Leistungen
- Verschiebung von Fristen

Nach Abschluss des Verhandlungsverfahrens werden die Änderungen in die Kalkulation übergeführt. Der Bauvertrag zwischen AG und AN wird als Vertragskalkulation bezeichnet.⁶⁹ Sie bildet die Basis für eventuelle Mehrkostenforderungen (MKF) seitens des ANs.⁷⁰

Arbeitskalkulation

Der Auftragserteilung durch den AG folgt die Arbeitsvorbereitung (AVOR) des Bauprojektes. Zu den Aufgaben der Arbeitsvorbereitung (AVOR) zählt die Erstellung der Arbeitskalkulation. Die Grundlage bilden die Vorgaben der Angebots- bzw. Auftragskalkulation. Das Ziel ist die wirtschaftliche Optimierung. Aus baubetrieblicher Sicht kann solch ein Optimierungsprozess notwendig sein. Die Arbeitskalkulation stellt dadurch ein bedeutendes Steuerungselement in der

⁶⁶Vgl. [19] Kropik, S. 164 f.

⁶⁷Vgl. [19] Kropik, S. 173

⁶⁸Vgl. [47] Wolkerstorfer und Lang, S. 18

⁶⁹Vgl. [7] Dress und Paul, S. 20 f.

⁷⁰Vgl. [14] Girmscheid und Motzko, S. 120

Ausführungsphase dar.⁷¹ Neben der laufenden Kontrolle bildet diese Art von Kalkulation laut Kropik [19] die Grundlage für die Nachkalkulation und definiert Soll-Werte für den laufenden Baubetrieb.

Das Auflösen der Kostenträger (LV-Positionen) und Umlagen zählt ebenfalls zu den Aufgaben der Arbeitskalkulation. Unter dem Auflösen von Kostenträgern wird eine Gliederung der LV-Positionen im Leistungsverzeichnis nach dem sogenannten BAS-Schlüssel verstanden. Bauleistungen gleicher Arbeitsabfolge können zu Aktivitäten zusammengefasst werden. Dies sieht wie folgt aus, eine LV-Position wird durch [m²] Laibungsfläche mit einer Spritzbetondicke von 10–15 cm laut Positionstext beschrieben. Eine weitere Positionen wird mit der Dicke 15–20 cm im LV festgehalten. Diese beiden Positionen können durch die Aktivität *Laibungsfläche-Spritzbeton* in [m³] zusammengeführt werden.⁷² Das Auflösen von Umlagen ist notwendig, um aussagekräftige Vorgabewerte für die Arbeitsvorbereitung zu erreichen. Dafür wird die Kalkulation von Umlagen (z.B. Akquisition, Umverteilung der Stunden und Baustellengemeinkosten) bereinigt.

Nachtragskalkulation

Die Aufgabe der Nachtragskalkulation ist die Kostenermittlung von Leistungen, die nicht Gegenstand des Bauvertrags sind, oder von Bauleistungen, bei denen sich die Grundlage der Preisermittlung im Laufe des Baubetriebs ändert. Sie bildet die Basis für das Nachtragsangebot. Der Preis, der nachträglich vereinbarten Leistungen hat sich nach Positionen im bestehenden Leistungsverzeichnis zu richten.⁶⁹

Nachkalkulation

Die Nachkalkulation identifiziert die tatsächlich entstandenen Bezugsgrößen (Kosten, Mengen und Stunden etc.) innerhalb der Ausführungsphase und überprüft die Wirtschaftlichkeit des Baubetriebs. Die Bezugsgrößen werden auf Basis der Positionen des Leistungsverzeichnisses in der Arbeitskalkulation durch den sogenannten BAS-Schlüssel kategorisiert. Dies erleichtert die Vergleichbarkeit von Bauleistungen ähnlicher Bauvorhaben und dient als Grundlage für nachfolgende Kalkulationen zur Angebotsbearbeitung.^{69,73} Das Resultat der Nachkalkulation zeigt nur nachträgliche Abweichungen auf, kurzfristige Anpassungen im laufenden Baubetrieb sind dadurch nicht möglich.⁷⁴ Die Nachkalkulation wird laut Wolkerstorfer und Lang [47] zusätzlich in die technische und monetäre Nachkalkulation gegliedert. Die technische Nachkalkulation stellt die Mengen- und Leistungsansätze der Kalkulation den tatsächlich verbrauchten Produktionsfaktoren, wie Lohnstunden, Geräteeinsatzstunden, Baumaterial und Hilfsmaterial gegenüber. Die monetäre Nachkalkulation vergleicht hingegen die SOLL-Kosten mit den IST-Kosten. Sie bilden ein wichtiges Kontrollinstrument der Kalkulation und die Grundlage für künftige Vorkalkulationen.⁷⁴

Die Differenzierung der Kosten erfolgt nicht nur aus zeitlicher Sicht in die unterschiedlichen Kalkulationsphasen sondern auch in Hinblick auf die Zuordnung in Kostenarten, Kostenstellen und Kostenträger, die im folgenden Abschnitt näher erläutert werden.

3.3 Grundlagen der Kosten im Bauwesen

Unter Kosten wird die monetäre Bewertung des Ressourceneinsatzes (Personal, Material, Geräte etc.) zur Herstellung einer Bauleistung verstanden. Einerseits werden die Kosten durch den Verbrauch beschrieben und andererseits durch die ökonomische Bewertung (Geldeinheiten) des Ressourceneinsatzes. Sie entstehen nicht durch den Beschaffungsprozess (Einkauf) von Produkti-

⁷¹Vgl. [14] Girmscheid und Motzko, S. 389

⁷²Vgl. [19] Kropik, S. 174 f.

⁷³Vgl. [7] Dress und Paul, S. 308

⁷⁴Vgl. [47] Wolkerstorfer und Lang, S. 19 f.

onsfaktoren (Baumaterial, Hilfsstoffe, Baugeräte, Anlagen etc.), sondern durch den Verbrauch im Herstellungsprozess.⁷⁵

Laut Kropik [20] werden die Kosten in der Kostenrechnung nach Gliederungsmerkmalen und Wesensmerkmalen differenziert. Bei den Gliederungsmerkmalen findet die Kategorisierung der Kosten kaskadenartig, beginnend mit den Kostenarten, in Kostenstellen und Kostenträger statt. Eine Gliederung nach den aufgewendeten Produktionsfaktoren, beschreibt die Kostenarten. Die Zuweisung ist meist aus dem Namen der Kostenart ersichtlich. Eine Klassifizierung findet zwischen Materialkosten, Personalkosten, Energiekosten, Gerätekosten etc. statt.⁷⁶ Die Zuordnung nach dem Ort der Entstehung in einem Unternehmen, führt zur Kostenstellenrechnung. Diese werden hierfür in Personalverrechnung, Lagerplatz, Angebotslegung etc. differenziert. Die Gliederung unterscheidet sich je nach Unternehmen und dient als *Sammelbecken* für die Kostenarten. Die endgültige Zuweisung der Kosten erfolgt auf das Kalkulationsobjekt. Es handelt sich dabei um eine Kostenstelle oder einen Kostenträger. Der Kostenträger ist die im LV definierte Bauleistung (LV-Position).

Es wird zwischen direkten und indirekten Kosten unterschieden. Kosten, die im direkten Zusammenhang mit der Bauleistung stehen, werden Einzelkosten genannt. Kosten, die mithilfe eines Umlageschlüssels bzw. eines Verrechnungssatzes dem Kalkulationsobjekt zugewiesen werden, sind als Gemeinkosten zu bezeichnen. Eine Klassifizierung der Kostenstellen und Kostenträger findet in Kostenstellen- und Kostenträgereinzelkosten sowie Kostenstellen- und Kostenträgergemeinkosten statt.⁷⁶

Die Aufschlüsselung der Kosten erfolgt nach den Kostenverhalten. Es wird zwischen den fixen und variablen Kosten unterschieden. Die fixen Kosten sind unabhängig und die variablen Kosten weisen eine Abhängigkeit in Bezug auf Größe wie z.B. produzierte Menge, Bauzeit oder Beschäftigung, auf.⁷⁶

In den folgenden Abschnitten dieses Kapitels werden die wesentlichen Bestandteile der Kostenrechnung näher beschrieben. Außerdem sind mögliche Klassifizierungen und Verläufe von Kosten detailliert dargestellt.

3.3.1 Gliederung der Kosten

Um die Wirtschaftlichkeit (Gewinn oder Verlust) einer Baustelle bewerten zu können, ist die Analyse von Kosten die zentrale Aufgabe eines Unternehmens. Einen hohen Stellenwert nehmen dabei die folgenden Fragen ein:⁷⁷

- *Welche Arten von Kosten entstehen?* \Leftrightarrow Kostenarten
- *Wo werden die Kosten verursacht?* \Leftrightarrow Kostenstellen
- *Wer/was steht im Zusammenhang mit der Kostenverursachung?* \Leftrightarrow Kostenträger

Eine optimale Unternehmenssteuerung zeichnet sich dadurch aus, dass Kenntnisse über die Höhe der Kosten und den Ort der Verursachung vorhanden sind. Das Instrument der Kostenrechnung in Verbindung mit den Kostenarten, -stellen und -träger, ermöglicht die Wirtschaftlichkeit eines Unternehmens festzustellen. Weiteres kann der Ursprung eines Fehlers im laufenden Prozess frühzeitig erkannt werden, sodass diesem entsprechend gegenzusteuern ist. In den nächsten Abschnitten wird die Feststellung der Kosten anhand von Kostenarten, -stellen und -träger näher beleuchtet.⁷⁷

⁷⁵Vgl. [19] Kropik, S. 20

⁷⁶Vgl. [19] Kropik, S. 41 f.

⁷⁷Vgl. [14] Girmscheid und Motzko, S. 113

Kostenarten

Zu den Aufgaben der Kostenrechnung zählt die Erfassung des notwendigen Mitteleinsatzes im Zuge der Produktion. Dies erfolgt mithilfe der Kostenartenrechnung. Dabei wird die Frage beantwortet, welche Art und Höhe von Kosten im Zuge des Produktionsprozesses entstehen. Um die Kosten vollständig und verursachungsgerecht den jeweiligen Kostenarten zuzuordnen, ist eine klare Benennung notwendig. In weiterer Folge bilden sie die Basis für die anschließende Kostenstellen- und Kostenträgerrechnung. Als Grundlage der Kostenartenrechnung dienen die Daten aus der Finanzbuchhaltung. Sie zählt zum externen Rechnungswesen, zu deren Aufgaben unter anderem die Erstellung der Gewinn- und Verlustrechnung (GuV) und Buchhaltung gehören. In weiterer Folge wird dadurch der wirtschaftliche Erfolg eines Unternehmens gemessen. Als Voraussetzung gilt die Gliederung nach einem sogenannten Kontenplan. Das Österreichische Produktivitäts- und Wirtschaftlichkeits-Zentrum (ÖPWZ) gibt eine solche Aufschlüsselung vor. Grundlegend setzt sich der Kontenplan aus einer dreistelligen Kontonummer zusammen, die betriebsindividuell durch weitere Stellen erweitert werden kann. Die erste Stelle spiegelt die Kontoklassen wieder:⁷⁸

- Kontoklasse 0: Anlagevermögen
- Kontoklasse 1: Vorräte
- Kontoklasse 2: Sonstiges Umlaufvermögen, Rechnungsabgrenzungsposten
- Kontoklasse 3: Rückstellungen, Verbindlichkeiten und Rechnungsabgrenzungsposten
- Kontoklasse 4: Betriebliche Erträge
- Kontoklasse 5: Materialaufwand und sonstige bezogene Herstellungsleistungen
- Kontoklasse 6: Personalaufwand
- Kontoklasse 7: Abschreibung und sonstige betriebliche Aufwendungen
- Kontoklasse 8: Finanzerträge und Finanzaufwendungen
- Kontoklasse 9: Eigenkapital, ungesteuerte Rücklagen, Abschluss und Evidenzkosten

Weiters können ähnliche Kostenarten zu Kostenartengruppen nach der *ÖNORM B 2061* [35] zusammengefasst werden. Die Zuweisung ergibt sich durch die Namen der jeweiligen Kostenartengruppen, die wie folgt bezeichnet werden:⁷⁸

- Personalkosten
- Materialkosten
- Kapitalkosten
- Kosten für Fremdleistungen
- Andere Kosten

⁷⁸Vgl. [19] Kropik, S. 128 ff.

Kostenstellen

Nach vollständiger Kostenfeststellung durch die Kostenartenrechnung folgt die Kostenstellenrechnung. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht ist die Gliederung der Kostenarten nach dem Ort der Kostenverursachung (Kostenstelle) notwendig. Diese hat unter dem Aspekt der klaren, funktionalen und räumlichen Trennung zu erfolgen. Die Kosten sind entweder eindeutig einer Kostenstelle zuordenbar, oder sie werden auf Sammelstellen (Kleingerät, Werkzeug oder Kleinmaterial etc.) verteilt. Eine Einteilung sieht laut Kropik [20] wie folgt aus:⁷⁹

- **Haupt- und Nebenkostenstellen:** Die im Rahmen der Kostenstellenrechnung ermittelten Kosten stehen bei den Haupt- und Nebenkostenstellen, auch Endkostenstellen genannt, im direkten Zusammenhang mit dem Betriebszweck. Im Gegensatz zu den Hilfskostenstellen wird die monetäre Belastung der Kostenstellen ohne Umwege in die Kalkulation übernommen. Die im Zuge des Produktionsprozesses anfallenden Kosten der Haupterzeugnisse oder Dienstleistungen werden auf den Hauptkostenstellen angelegt. In einem Bauunternehmen handelt es sich z.B. um die Baustelle. Die Herstellung von Nebenprodukten oder Erbringung von Dienstleistungen, die dem Betriebszweck unterliegen, werden Nebenkostenstelle zugewiesen. Zu den Nebenkostenstellen zählen z. B. die interne Erstellung von Planungsleistungen in einem Unternehmen.⁷⁹
- **Hilfskostenstellen:** Diese Art von Kostenstellen erfasst die betrieblichen Vorleistungen der Produktion, die nicht im Zusammenhang mit dem eigentlichen Betriebszweck stehen. Die Kosten werden auf Kostenstellen wie z.B. Lagerplatz, Geräteverwaltung, Reinigung oder Reparatur zwischengelagert und dem Kostenträger in späterer Folge zugewiesen.⁷⁹

Je exakter die Gliederung der Kostenstellenrechnung erfolgt, desto detaillierter wird die Planung und Kalkulation. Die Gliederung der Kostenstellenrechnung sorgt darüber hinaus dafür, dass die Kosten den Kostenträger zugewiesen werden können.^{79,80}

Kostenträger

Die Kosten gehen von den Kostenarten (Welche Art von Kosten entstehen?) über auf die Kostenstellen (Wo entstehen die Kosten?) und laufen endgültig im Kostenträger zusammen. Mit der Kostenträgerrechnung wird die Frage gestellt, aus welchem Grund die Kosten entstanden sind. Dabei kann es sich einerseits um die Absatzleistung extern verkaufbarer Leistung (Produkt oder Dienstleistung) und andererseits um die innerbetriebliche Leistung (z.B. Planleistungen im Unternehmen) handeln. Das Bauunternehmen tritt über den sogenannten Endkostenträger demnach, die verkaufbare Leistung, mit Dritten in Kontakt. Es handelt sich dabei um die vom Unternehmen angebotene Leistung (LV-Position im Leistungsverzeichnis eines Einheitspreisvertrags) oder beispielsweise um eine Pauschale eines Pauschalvertrags.⁷⁹ Die Kostenträgerrechnung besteht aus Kosten, die dem Kostenträger direkt oder indirekt zugewiesen werden.⁸¹

Um den Ablauf von Kostenarten, Kostenstellen und Kostenträgern zu verdeutlichen, kann Abb. 3.2 herangezogen werden. Darin ist Gliederungen der Kosten ersichtlich.

In der Kostenartenrechnung werden die Kosten nach den jeweiligen Kostenarten zusammengefasst. Sie bilden die Basis für die Kostenstellen und Kostenträgerrechnung. In der Kostenstellenrechnung erfolgt die Zuweisung direkt oder indirekt zu den Kosten. Die direkte Zuteilung der Kosten findet über die Einzelkosten statt. Sie stehen im direkten Zusammenhang mit der Leistungserstellung. Im Gegensatz dazu läuft die Zuteilung der indirekten Kosten (Gemeinkosten) über den sogenannten Betriebsabrechnungsbogen (BAB) ab. Für die Zuweisung der indirekten

⁷⁹Vgl. [19] Kropik, S. 131 ff.

⁸⁰Vgl. [19] Kropik, S. 47

⁸¹Vgl. [22] Kropik, S. 18 f.

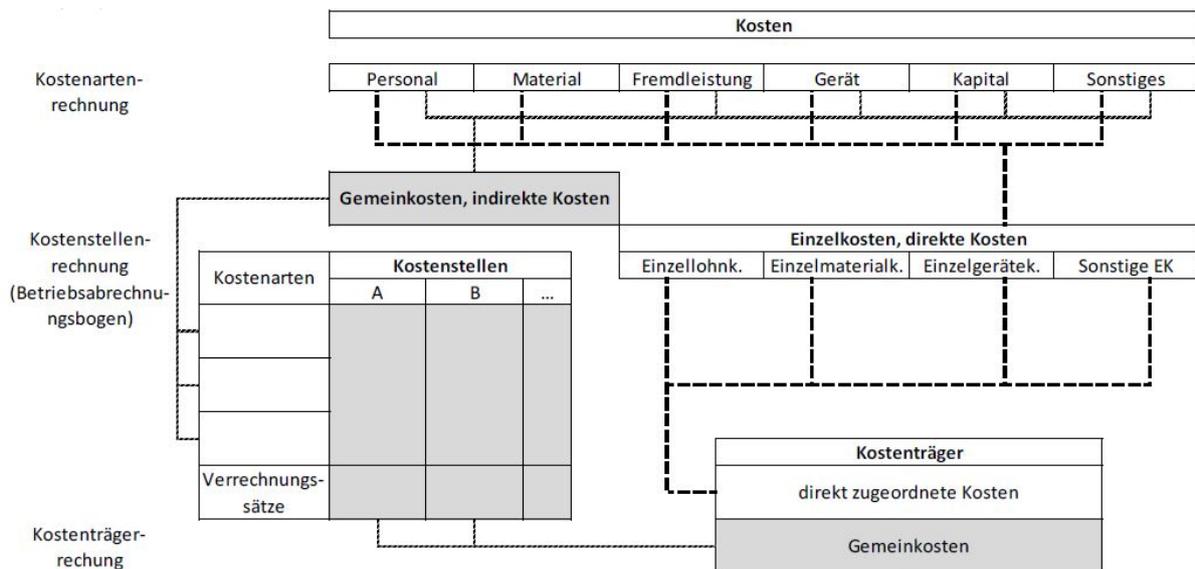


Abb. 3.2: Ablaufschema der Kostenrechnung (Quelle: Kropik [22, S. 66])

Kosten ist ein Verrechnungssatz notwendig, der durch den BAB gebildet wird. Ein Verrechnungssatz bildet die Zuweisung der Gemeinkosten auf die direkt zuordenbaren Kosten.^{79,82} Die letzte Ebene bildet die Kostenträgerrechnung. Eine Gliederung findet dabei in Kostenträgereinzelkosten und Kostentränergemeinkosten statt. Die Kostenträgereinzelkosten stehen im direkten Zusammenhang mit der Leistungserstellung des Bauobjekts, beispielhaft der Ressourcenverbrauch (Material und Lohnstunden). Die Kostentränergemeinkosten können den einzelnen Kostenträger nicht direkt zugewiesen werden. Über eine Verrechnungsschlüssel (z.B. Personalverrechnung, Anzahl der Mitarbeiter oder m² Fläche) erfolgt die Zurechnung der indirekte Kosten auf die Kostenträgereinzelkosten.⁸¹

3.3.2 Direkte und indirekte Kosten

Einzelkosten und Gemeinkosten, die bereits in der Kostenstellen- und Kostenträgerrechnung behandelt werden, zählen zu den direkten und indirekten Kosten der Kostenrechnung. Kosten sind dem Grunde nach nicht automatisch direkte und indirekte Kosten. Die Kostenrechnung, die sich betriebsindividuell unterscheidet, sorgt für die entsprechende Zurechnung. Es obliegt einem Unternehmen selbst, ob die Kosten direkt oder indirekt einer Kostenstelle oder einem Kostenträger zugewiesen werden. Unter den direkten Kosten (Einzelkosten) sind jene Kosten zu verstehen, die tatsächlich mit der produzierten Menge im Zuge der Leistungserstellung verursacht werden. Materialkosten, Gerätekosten, Personalkosten etc. können dem Kalkulationsobjekt direkt zugerechnet werden, wenn sie im Rahmen der Herstellung eines Produkts oder der Erstellung einer Dienstleistung verbraucht werden. Im Unterschied zu den direkten Kosten stehen die indirekten Kosten nicht direkt im Zusammenhang mit der Ausbringungsmenge einer Leistung. Kosten für Personalverrechnung, Miete und Betriebskosten für Bürogebäude etc. werden über Verrechnungssätze dem Kalkulationsobjekt zugerechnet. Es handelt sich um Gemeinkosten. Die Klassifikation dieser sieht wie folgt aus:⁸²

⁸²Vgl. [19] Kropik, S. 141 ff.

- **Baustellengemeinkosten:** Kosten, die im Zuge der Leistungserstellung auf einer Baustelle erzeugt werden, aber nicht direkt zurechenbar sind, wie z.B. die Kosten für dispositives, kaufmännisches (Baukaufmann) oder technisches Personal (Bauleiter, Techniker, etc.)⁸²
- **Allgemeine Geschäftskosten:** Gemeinkosten, die durch Vertrieb und Verwaltung eines Unternehmens entstehen.⁸²

3.3.3 Ausgabewirksame und nicht ausgabewirksame Kosten

Ausgabewirksame Kosten treten unmittelbar mit der Herstellung eines Produkts oder mit der Erstellung einer Dienstleistung innerhalb einer Abrechnungsperiode auf. Ein Abfluss von Geldmitteln steht durch den Produktionsprozess bevor. Die Anschaffung von Material oder der Einsatz von produktivem Personal führt zu ausgabewirksamen Kosten. Nicht ausgabewirksame Kosten, wie z. B. das kalkulatorische Reparaturentgelt oder die kalkulatorische Abschreibung, fallen erst zu einem späteren Zeitpunkt an bzw. sind bereits angefallen. Es hängt vom Betrachtungszeitraum ab, ob kurzfristig oder langfristig die Wirtschaftlichkeit eines Unternehmens gesichert sein soll. Um kurzfristig für hinreichend Liquidität zu sorgen, kann auf einen Teil der ausgabewirksamen Kosten verzichtet werden. Es handelt sich um jene Kosten, die nicht in der Gegenwart verursacht werden, aber sehr wohl in der Zukunft, wie z. B. das kalkulatorische Reparaturentgelt. Das Problem, dass mit dieser Art der Kalkulation einhergeht ist, dass langfristig nicht das notwendige Kapital für Investitionen oder zukünftige Aufwendungen erreicht wird. Berücksichtigen Unternehmen hingegen nur die gegenwärtigen Ausgaben, so wird kein ausreichender Ertrag erwirtschaftet, um Erneuerungen im Betrieb vorzunehmen. Langfristig kann die Marktzugehörigkeit nur beibehalten werden, wenn die Kosten den tatsächlichen Ausgaben über einen längeren Zeitraum entsprechen.

Fixe und variable Kosten stehen im Zusammenhang mit den ausgabewirksamen und nicht ausgabewirksamen Kosten. Bei variablen Kosten handelt es sich grundsätzlich um ausgabewirksame Kosten. Fixe Kosten hingegen setzen sich aus ausgabewirksamen (z.B monatliche Raten eines Leasing-Vertrags) und nicht ausgabewirksamen Kosten (z.B kalkulatorische Abschreibung) zusammen. Dies wird in Abb. 3.3 grafisch dargestellt.⁸³

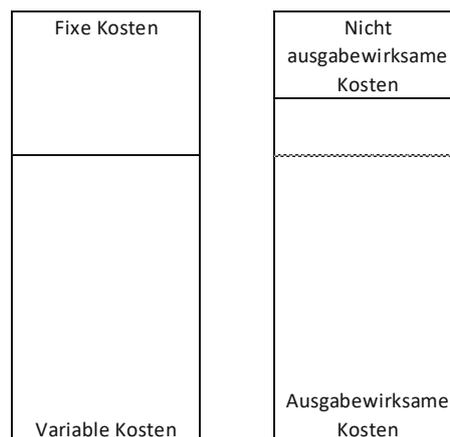


Abb. 3.3: Gegenüberstellung von fixen und variablen Kosten zu nicht ausgabenwirksamen und ausgabenwirksamen Kosten (Quelle: Kropik [22, S. 42])

⁸³Vgl. [19] Kropik, S. 50 ff.

3.3.4 Fixe und variable Kosten

Eine wirtschaftliche Unternehmensführung ist von einem funktionierenden Kostenmanagement abhängig. Die Grundlage dafür bildet das Rechnungswesen mit der Kostenrechnung.⁸⁴ Anhand dieser werden die Informationen über die Kostensituation in einem Unternehmen aufbereitet und zusammengestellt. Die wesentliche Aufgabe des Kostenmanagements ist es, die Unternehmensführung frühzeitig auf Fehlentwicklungen und Ineffizienz im Betrieb hinzuweisen und mit geeigneten Instrumenten entgegenzuwirken.⁸⁵ Als Instrument des Kostenmanagements eignet sich die Kostenanalyse. Anhand dieser Analyse können notwendige kostensenkende Impulse mit einer Anpassungen der Bezugsgröße (Umsatz, Arbeitsstunden, Bauzeit oder produzierte Menge etc.) gesetzt werden. Differenziert wird dabei zwischen fixen und variablen Kosten. Die fixen Kosten verhalten sich konstant oder sprunghaft, wohingegen die variablen Kosten sich proportional, progressiv oder degressiv mit der Bezugsgröße verändern. Das Wesen der Kosten ist grundsätzlich nicht fix oder variabel. Maßgeblich für den Charakter von Kosten ist der zu betrachtende Zeithorizont (Betrachtungszeitraum). Vorgaben rechtlicher bzw. vertraglicher Natur oder Fristen, die seitens der Unternehmen einzuhalten sind, sorgen bei einem Zeitraum von Tagen, Wochen oder Monaten für einen fixen Kostencharakter. Treten Änderung auf, so bleiben die Kosten unverändert. Bei einer Zeitspanne, die sich über mehrere Jahre erstreckt, erscheinen Kosten, die grundsätzlich Wesensmerkmale von Fixkosten besitzen, variabel. Leasingraten sind über einen längeren Zeithorizont anpassbar, wodurch sie den Charakter variabler Kosten erhalten. In den folgenden Unterpunkten werden die Kostenbestandteile fixer und variabler Kosten klassifiziert.⁸⁶

Variable Kosten

Im Gegensatz zu den fixen Kosten besteht eine Abhängigkeit der variablen Kosten zur Beschäftigung. Es besteht ein direkter Zusammenhang zur geleisteten Menge (Lohnstunden, Material etc.), daher sind die variablen Kosten auch unter dem Begriff der mengenabhängigen Kosten bekannt.⁸⁷ Die veränderlichen Kosten treten als proportionale, progressive und degressive Kostenverläufe in Erscheinung:⁸⁶

- **Proportionaler Kostenverlauf:** Die Kosten verändern sich proportional mit der Bezugsgröße (z.B. produzierte Menge, Bauzeit oder Beschäftigung)
- **Progressiver Kostenverlauf:** Die Kosten verändern sich im Verhältnis zur Änderung der Bezugsgröße überproportional
- **Degressiver Kostenverlauf:** Die Kosten verändern sich im Verhältnis zur Änderung der Bezugsgröße unterproportional

Proportionaler Kostenverlauf

Zwischen der Bezugsgröße und den Kosten besteht ein linearer Zusammenhang, dargestellt in der Abb. 3.4. Die Kosten steigen im gleichen Maße wie die Bezugsgröße. Wenn z.B. die hergestellte Menge an Spritzbeton, die auf die Tunnellaibung aufzubringen ist, um 20% steigt, dann nehmen dadurch die Kosten um 20% zu.⁸⁶

Degressiver Kostenverlauf

Ein zunehmendes Mengenverhältnis löst eine geringere Veränderung der Kosten aus, siehe Abb. 3.5. Steigt beispielhaft das Mengenverhältnis um 20%, so wachsen die Kosten um weniger

⁸⁴Vgl. [11] Georg

⁸⁵Vgl. [28] Möller

⁸⁶Vgl. [19] Kropik, S. 54 ff.

⁸⁷Vgl. [31] Oberndorfer und Haring, S. 16

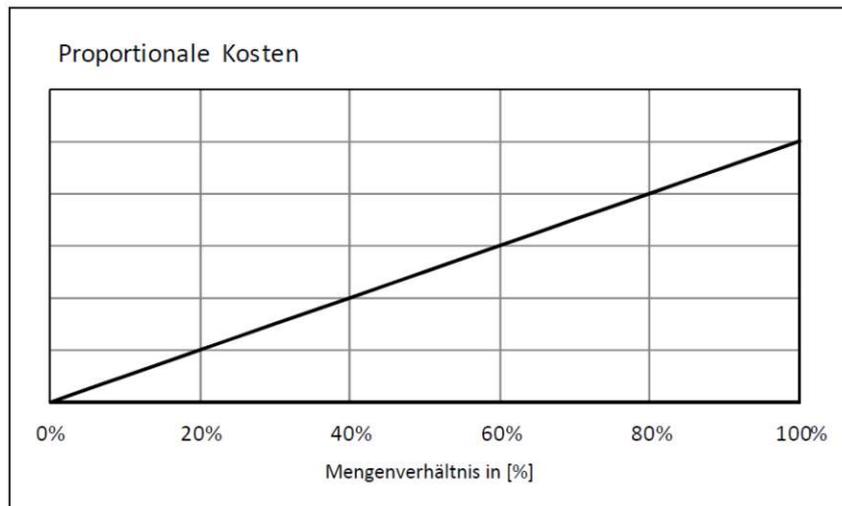


Abb. 3.4: Proportionaler Kostenverlauf (Quelle: modifiziert nach Kropik [22, S. 20])

als 20%. Exemplarisch am Einarbeitungseffekt im Tunnelbau erklärt, ist dies etwa dann der Fall, wenn die Vortriebsmannschaft idente Arbeiten ausführt. Nach einer gewissen Zeit tritt ein Einarbeitungseffekt ein, der mit einer Senkung der Lohnkosten einhergeht. Hier ist auch daran zu denken, dass der Lieferant dem Bauunternehmen einen Mengenrabatt gewährt. Je größer die bestellte Menge an Material ist, desto geringer fallen die Materialkosten aus.⁸⁶

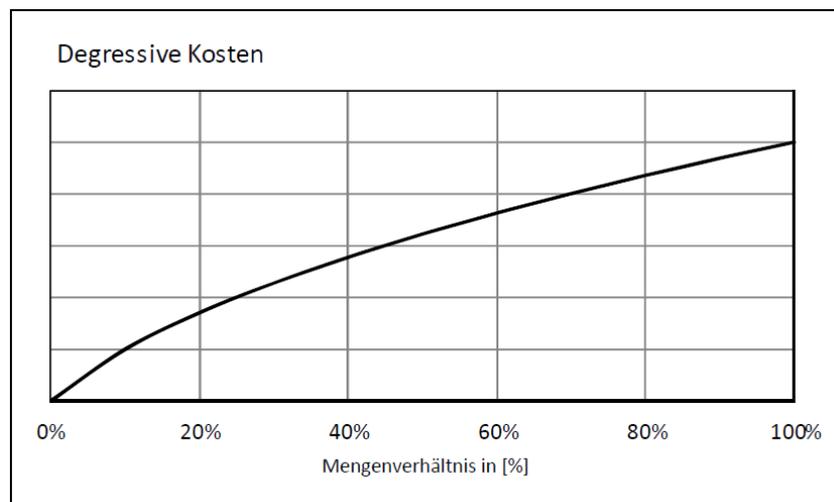


Abb. 3.5: Degressiver Kostenverlauf (Quelle: modifiziert nach Kropik [22, S. 21])

Progressiver Kostenverlauf

Ein zunehmendes Mengenverhältnis löst eine größere Veränderung der Kosten aus. Steigt exemplarisch das Mengenverhältnis um 20%, so wachsen die Kosten um mehr als 20%, siehe Abb. 3.6. Beispielhaft anhand von Überstunden erklärt, die das produktiven Personal über der Normalarbeitszeit ausführt. Die Überstunden lassen die Personalkosten rasch steigen, dass ist etwa der

Fall, wenn das produktive Personal Arbeiten über der Normalarbeitszeit ausführt (Überstunden), als die Kosten der herzustellenden Menge zunehmen.^{88,89}

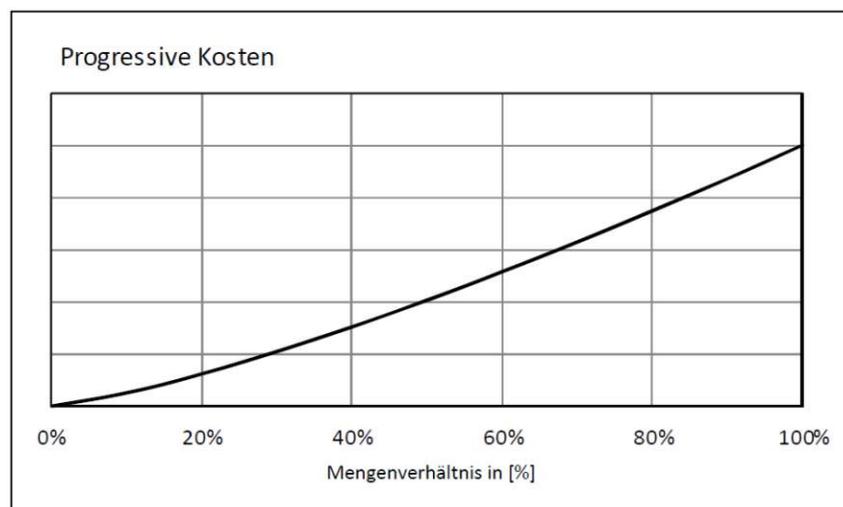


Abb. 3.6: Progressiver Kostenverlauf (Quelle: modifiziert nach Kropik [22, S. 21])

Neben den variablen- bilden die fixen Kosten einen wesentlichen Bestandteil der Kostenstruktur eines Bauprojektes. Um den Leser diese zur verdeutlichen, findet im folgenden Unterabschnitt darüber hinaus eine Klassifizierung in absolutfixe-, sprungfixe-, Leer- und Nutzkosten statt.

Fixe Kosten

Fixe Kosten verhalten sich unabhängig von der Bezugsgröße. Wird beispielhaft keine Menge produziert, fallen die fixen Kosten ungeachtet davon trotzdem an. Man spricht daher von Bereitschaftskosten. Typische Kostenverläufe, die in diesem Zusammenhang mit dieser Art von Kosten stehen, sind der absolutfixe und der sprunghafte Kostenverlauf.⁹⁰ Weiters werden die fixen Kosten in einmalige und zeitabhängige Kosten differenziert. Die einmaligen Kosten entstehen unabhängig vom Produktionsprozess und die zeitabhängigen Kosten reagieren temporär auf keine Änderung der Beschäftigung. Unter den beiden Kostenarten wird laut Oberndorfer und Haring [31] folgendes verstanden:⁹¹

- **Einmalkosten:** Die einmaligen Kosten stehen nicht im direkten Bezug zur Absatzmenge. Die Kostenverursachung tritt einmalig durch den Beginn bei Unterbrechung oder am Ende einer Produktion auf. Unter den einmaligen Kosten werden z.B die Baustelleneinrichtung und Baustellenräumung, Bauhilfsmaßnahmen, etc. verstanden.⁹¹
- **Zeitabhängige Kosten:** Die zeitabhängigen Kosten stehen gleichermaßen wie die einmaligen Kosten nicht im direkten Bezug zur Absatzmenge. Sie entstehen durch den allgemeinen Betrieb der Baustelle. Das sind beispielsweise Personalkosten für dispositives Personal (Bauleiter, Techniker etc.) oder Kosten für Baugeräte wie z.B Kran.⁹¹

Weiteres können die fixen Kosten in absolutfixe-, sprungfixe-, Leer- und Nutzkosten unterschieden werden. Um den Leser diese Art von Kosten zu verdeutlichen, findet gleichermaßen wie beim Unterabschnitt *Variable Kosten* eine Erläuterung anhand baupraktischer Beispiele statt.

⁸⁸Vgl. [14] Girmscheid und Motzko, S. 143

⁸⁹Vgl. [19] Kropik, S. 56 ff.

⁹⁰Vgl. [19] Kropik, S. 58 f.

⁹¹Vgl. [31] Oberndorfer und Haring, S. 18

Absolutfixer Kostenverlauf: Es handelt sich dabei um Kosten, die sich unabhängig von der Leistungserstellung gleichbleibend verhalten, siehe Abb. 3.7. Bei einer Änderung der Bezugsgröße (z.B. produzierte Menge) wandelt sich die Gestalt des Kostenverlaufs nicht. Darunter werden z.B. Miet- und Betriebskosten eines Bürogebäudes verstanden, oder Kosten für den Auf- und Abbau von Baustellengeräten. Zu beachten ist, dass der Anteil an absolut-fixen Kosten am Produkt selbst mit steigender Absatzmenge geringer wird, da die Kosten je Einheit (Stückkosten) sinken.⁹²

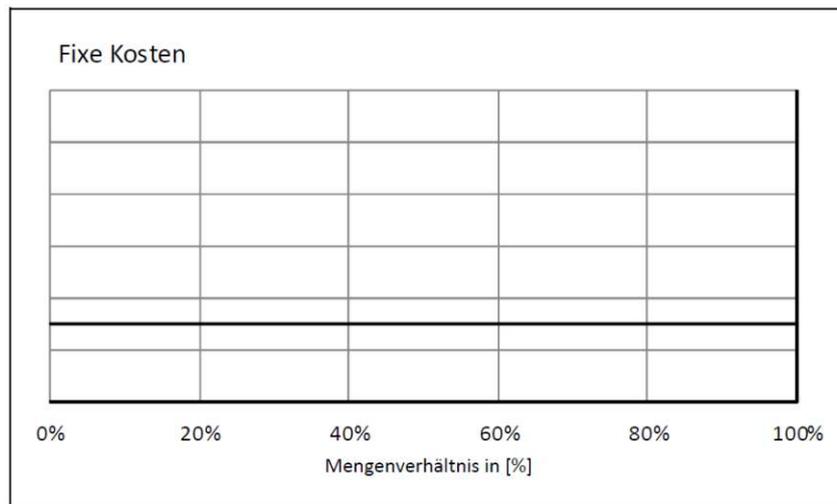


Abb. 3.7: Absolutfixer Kostenverlauf (Quelle: modifiziert nach Kropik [22, S. 22])

Sprungfixer Kostenverlauf: Das Erreichen der Kapazitätsgrenzen in einem Unternehmen führt unweigerlich zu einem sprunghaften Anstieg der fixen Kosten. Dies ist anhand Abb. 3.8 ersichtlich. Um die Wirtschaftlichkeit eines Betriebs aufrecht zu erhalten, ist die Anpassung der Kapazität (z.B. Aufstockung) notwendig. Beispielhaft die Anschaffung eines zusätzlichen Geräts oder die Einstellung von Personals zur Leistungssteigerung.⁹⁰

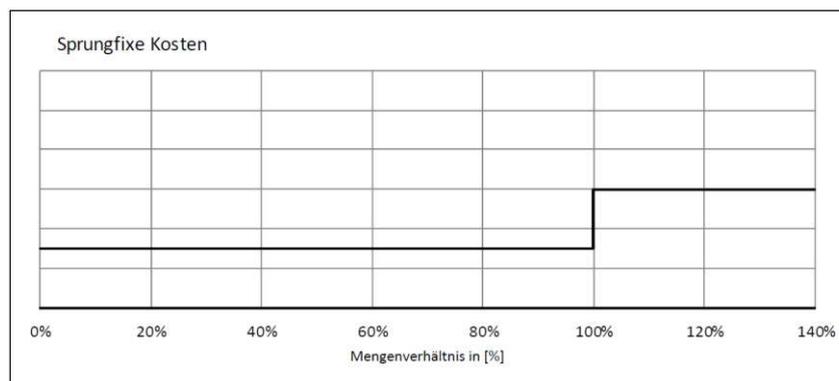


Abb. 3.8: Sprunghafter Kostenverlauf (Quelle: modifiziert nach Kropik [22, S. 22])

Leer- und Nutzkosten: Zu den fixen Kosten zählen die Leer- und Nutzkosten. Die Leerkosten beschreiben jenen Anteil an Kosten, der bei Nichtgebrauch von Produktionsmittel im Zuge des Produktionsprozesses, verursacht wird. Die Profitabilität eines Unternehmens hängt

⁹²Vgl. [14] Girmscheid und Motzko, S. 141 f.

von dem Wissen über den Ort und die Höhe der Leerkosten ab. Beispiele für Leerkosten sind die nicht vollständige kapazitive Auslastung der Gerätedisposition (Geräte die nicht eingesetzt werden, verursachen Leerkosten) oder Personal, das im Krankenstand ist. Die Schwierigkeit ist, dass diese Kosten aufgrund rechtlicher (z. B. Verträge), sozialer (z. B. Arbeitsschutzgesetz) und psychologischer (z. B. Verlust der Reputation) Gründe nicht sofort aus dem Unternehmen ausscheidbar sind. Im Gegensatz dazu werden die Nutzkosten aufgrund der kapazitiven Auslastung verursacht. Je höher der Ausnutzungsgrad in einem Unternehmen ist, desto höher sind die Nutzkosten. Das Ziel der Kostenrechnung ist es, maximale Nutzkosten und minimale Leerkosten zu erreichen.⁹⁰

Gesamtkosten

Die Gesamtkosten setzen sich aus fixen und variablen Kosten zusammen. Ein typischer Gesamtkostenverlauf ist ein Konglomerat aus den im Kapitel beschriebenen Kostenbestandteilen, der in Abb. 3.9 näher erläutert wird. Eine weitere Darstellungsmöglichkeit ist der sogenannte Stückkostenverlauf. Unter den Stückkosten wird das Verhältnis der Gesamtkosten zur Absatzmenge verstanden. Es handelt sich dabei um die Kosten je Leistungseinheit. Nimmt die produzierte Menge zu, so sinken die fixen Kosten, da sich diese auf eine größere Menge aufteilen. Im Gegensatz zu den fixen Kosten verhalten sich die proportionalen Kosten im Stückkostenverlauf konstant, da der Anteil an Leistungseinheiten gleich bleibt. Die degressiven und progressiven Stückkosten verlaufen einerseits sinkend und andererseits steigend.⁹³

Der Gesamtkostenverlauf wird in fixe, degressive, proportionale und progressive Zonen klassifiziert, dies ist auch in Abb. 3.9 erkennbar. Am Beginn des Kostenverlaufs ist ein Sprung zu erkennen, dieser ist auf fixe Kosten zurückzuführen. Wie etwa die Kosten für An- und Abtransport von Geräten oder Containern. Es folgt die Degressionszone. Die Kosten steigen im Verhältnis zur Beschäftigung geringer an. Dieser Effekt tritt auf, wenn z.B. die Vortriebsmannschaft gleichartige Arbeiten über einen längeren Zeitraum ausführt und somit der Einarbeitungseffekt aktiviert wird. Im Stückkostenverlauf nehmen die Stückkosten ab, da sich die Kosten auf eine größere Menge beziehen, wie in Abb. 3.10 dargestellt wird. Zwischen der degressiven und progressiven Zone erstreckt sich ein proportionaler Kostenverlauf, da sich die beiden Kostenarten die Waage geben. Zu nennen sind beispielsweise der Verlust des Einarbeitungseffekts oder das Ausbleiben eines Mengenrabatts in Kombination mit Überstunden, die vom Personal zu leisten sind. Ein linearer Gesamtkostenverlauf ist die Folge. Im Gegensatz dazu weisen die Stückkosten einen konstanten Verlauf auf. Schlussendlich folgt die progressive Kostenzone. Die Gesamtkosten steigen im Verhältnis höher als die Zunahme der Produktion. Das ist ein Resultat aus der Einhaltung von Mengen, die in einer bestimmten Zeit herzustellen sind. Der Verlauf der Stückkosten nimmt absolut ebenso zu.⁹⁴

Kostenremanenz

Die Kostenremanenz beschreibt das Verhalten der Kosten (Gerätekosten, Personalkosten etc.) bei rückläufiger Bezugsgröße.⁹⁵ Gewisse Kostenkomponenten fallen nicht in der gleichen Art und Weise mit dem Rückgang einer Bezugsgröße (z.B. Mengenverhältnis), wie sie im Gegensatz dazu beim Zuwachs gestiegen sind.⁹⁶ Es handelt sich dabei um Kostenkomponenten, deren Kostenniveau über eine bestimmte Zeitdauer nicht reduziert werden kann. Als Beispiel ist etwa die Anschaffung neuer Geräte oder die Einstellung von Personal, zu nennen. Im Gegensatz dazu verursachen Personalkosten, wie z. B. Zuschläge für Überstunden, keine remanenten Kosten. Sie fallen im gleichen Maße, wie sie gestiegen sind.^{95,96} Um die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens

⁹³Vgl. [14] Girmscheid und Motzko, S. 141 ff.

⁹⁴Vgl. [19] Kropik, S. 73 ff.

⁹⁵Vgl. [9] Erichsen

⁹⁶Vgl. [19] Kropik, S. 78 ff.

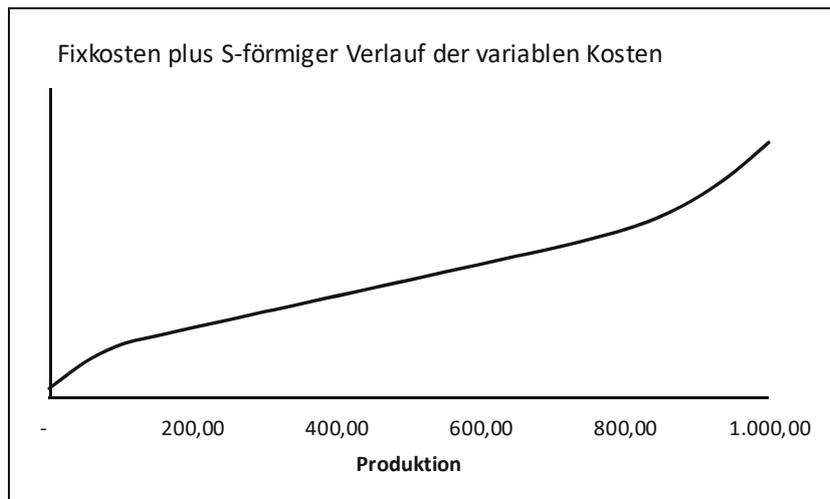


Abb. 3.9: Gesamtkostenverlauf (Quelle: Kropik [22, S. 28])

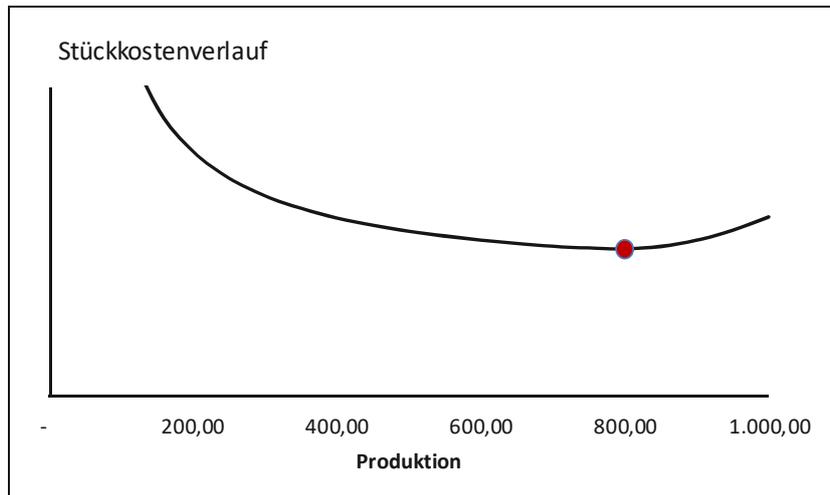


Abb. 3.10: Stückkostenverlauf (Quelle: Kropik [22, S. 29])

aufrecht zu erhalten ist es notwendig, im Falle eines Auftragsverlustes, Umsatzeinbrüche oder das sinkende Preisniveau der Kosten zu verringern. Das Ausscheiden der Kostenkomponenten ist nur über einen längeren Zeitraum möglich.⁹⁶ Bei einer Reduzierung der Absatzmenge sinken die Kosten nicht im gleichen Maße, ganz im Gegenteil, das Kostenniveau liegt höher als zu Beginn des Anstiegs, siehe Abb. 3.11. Die Anschaffung von neuen Geräten oder die Einstellung von Personal, um z. B. auf kapazitive Überschreitungen vorzugreifen, lässt die Fixkosten steigen. Das Ausscheiden der Kostenkomponenten ist nicht sofort möglich, da z. B. die zum Teil neu erworbenen Geräte nicht vollständig verkauft werden können, oder die Entlassung von Personal aufgrund gesetzlicher Vorgaben (Kündigungsfrist, Arbeitsrecht etc.) nicht möglich ist. Das entstandene Kostenniveau bleibt auch bei veränderter Marktlage erhalten.^{95,96} Das Ausscheiden der Produktionsmittel erfolgt seitens eines Unternehmens meist schleppend oder gar nicht, da oft davon ausgegangen wird, dass es sich nur um einen temporären Einbruch handelt. Die Hoffnung liegt auf einem konjunkturellen Aufschwung, d. h. die Auslastung der Produktionsmittel

nimmt aufgrund kapazitiver Überlastung wieder zu.⁹⁶ Das Prinzip der Kostenremanenz hat einen großen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit eines Unternehmens. Die Hystereseschleife, in Form von sich wiederholenden guten wie schlechten konjunktuerellen Phasen eines Unternehmens, wirkt sich entscheidend auf den Unternehmenserfolg aus. Der Unternehmer hat auch bei guter Konjunktur und positiver Auftragslage darauf zu achten, dass auf eine schlechte Konjunktur vorgegriffen wird. Die Kenntnisse über die kapazitive Auslastung sind entscheidend. Einsetzende Kostenremanenz, gepaart mit hohen Kosten und niedrigem Preisniveau bringt ein Unternehmen an die wirtschaftlichen Grenzen.⁹⁶

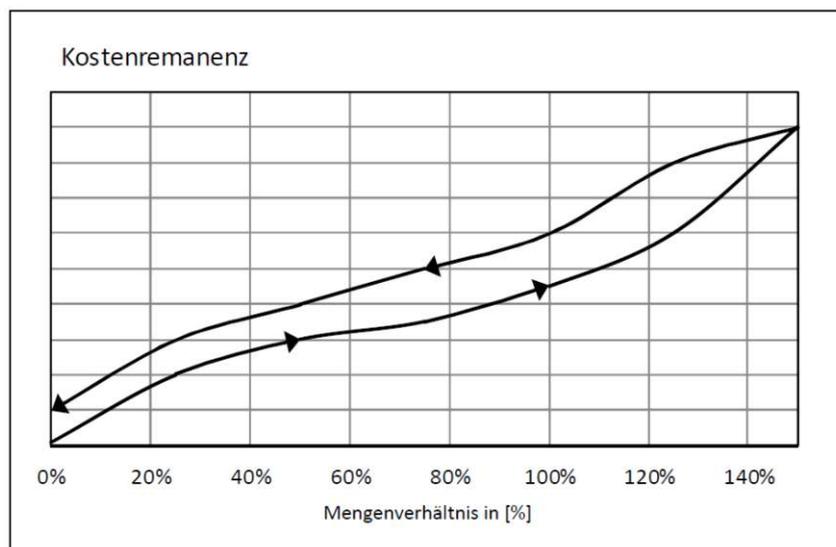


Abb. 3.11: Kostenremanenz (Quelle: modifiziert nach Kropik [22, S. 29])

3.3.5 Kausalzusammenhänge von Kosten

Um Kosten in der Praxis beherrschen zu können, ist es essenziell, die Einflüsse und deren Zusammenhänge qualitativ und quantitativ zu identifizieren, damit in weiterer Folge Aussagen über deren Verhalten (Verlauf) getroffen werden können. Im Gegensatz zu Naturgesetzen, wie die Newtonschen Axiome, können Kosten nicht durch eine allgemeingültige Formel beschrieben werden. Lediglich Tendenzen oder Gesetzmäßigkeiten lassen sich laut Kropik [19] ableiten:⁹⁷

Gesetz des Wachstums: Unterscheidet sich zwischen ähnlichen Produktionsprozessen oder Bauvorhaben nur die Größe, so spricht man vom Wachstumsgesetz. Eine Zunahme der Größe verursacht einen degressiven Kostenanstieg.⁹⁷

Gesetz der Menge: Unter dem Mengengesetz wird das Verhältnis Kosten zur produzierten Menge eines Produkts oder einer Dienstleistung verstanden. Im Kontext mit dem Mengengesetz steht der sogenannte Einarbeitungseffekt. Eine mehrmalige Wiederholung gleichartiger Arbeiten (Einarbeitung) über einen bestimmten Zeitraum führt zum Output. Es handelt sich dabei um den Lerneffekt. Dieser wird auch als Einarbeitungseffekt bezeichnet.⁹⁷

Gesetz der Toleranz: Das Kostenniveau ist von externen (Funktion, Termin, Kosten etc.) und internen Anforderungen (Toleranz und Qualität) abhängig. Um am Markt bestehen zu können, müssen sie sich die Waage halten. Die Toleranz im Umgang mit den betrieblichen

⁹⁷Vgl. [19] Kropik, S. 89 ff.

Anforderungen wird dabei durch die Fehler- und Qualitätstoleranz beschrieben. Eine hohe Toleranz von Fehlern in Verbindung mit einer geringen Qualität führt langfristig zu einer Erhöhung des Kostenniveaus.⁹⁷

Qualität der Produktionsfaktoren: Das Kostenniveau steht im direkten Zusammenhang mit der Produktivität. Unter Produktivität wird nicht nur die Arbeitsproduktivität (Leistungsvermögen des Personals), sondern auch die Produktivität des Materials und der Geräte verstanden. Um die Marktzugehörigkeit eines Unternehmens aufrechtzuerhalten, ist es notwendig, eine stetige Verbesserung der Produktionsmittel (Geräte, Material, Personal etc.) anzustreben und die Ressourcen auf den Produktionsprozess optimal abzustimmen. Eine hohe Produktivität führt zu einem geringen Kostenniveau. Darunter sind laut Kropik [19] folgende Anpassungen zu verstehen:⁹⁷

- **Oszillierende Änderung:** Bei der Betrachtung eines längeren Zeithorizonts gleicht sich die Höhe der Kosten den Schwankungen der Produktionsbedingungen an.⁹⁷
- **Stetige Änderung:** Der Gedanke der stetigen Anpassung bzw. Optimierung der Produktionsmittel (Baugeräte, Personal etc.) führt zu einer Verbesserung des Kostenniveaus.⁹⁷
- **Abrupte Änderung:** Führt der tatsächliche Input nicht mehr zum vertraglich vereinbarten Output, so spricht man von einer Produktivitätsänderung. Die Folge ist eine abrupte Änderung der Leistungsintensität. Um dieser Ursache entgegenzuwirken, kann beispielsweise das Bauverfahren angepasst werden, oder es wird ein Wechsel der Produktionsmittel forciert.⁹⁷

Anhand der soeben dargestellten Gesetzmäßigkeiten im Bauwesen wird aufgezeigt, welche Faktoren die Kosten maßgeblich beeinflussen können. Die *ÖNORM B 2061* unterliegt zumindest keinen allgemeinen Gesetzmäßigkeiten, da die Kalkulation jedem Unternehmen frei überlassen wird. Jedoch dient diese als Richtlinie zum kalkulieren eines auskömmlichen Preises. Daher wird diese im folgenden Unterabschnitt näher erläutert.

3.4 Kosten- und Preisermittlung nach ÖNORM B 2061

Das Normenwerk *ÖNORM B 2061* [35] beschreibt die Vorgangsweise der Preisermittlung gemäß *ÖNORM B 2110* [36] und *ÖNORM B 2118* [37] und wird als Leitfaden für den Aufbau der Kalkulation herangezogen. Weiters muss darauf hingewiesen werden, dass die *ÖNORM B 2061* eine Anregung zur Gestaltung der Kalkulation gibt. Die Kalkulationsfreiheit eines Unternehmens bleibt aber aufrecht. Bei der Kalkulation handelt es sich um einen komplizierten Teilbereich der Kostenrechnung, die sich von Unternehmen zu Unternehmen unterscheidet.⁹⁸ Eine Nichtberücksichtigung der Norm zieht lediglich vergaberechtliche und keine vertragliche Konsequenzen für das Unternehmen mit sich.⁹⁹

Die aktuelle Fassung der *ÖNORM B 2061* deutet in ihrer Bezeichnung *Preisermittlung von Bauleistungen* an, dass der Blick auf Bauleistungen gerichtet ist. Dienstleistungen wie z. B. Baumanagement, Planungsleistungen, Transportleistungen etc. zählen nicht zum Anwendungsgebiet.⁹⁸

Charakteristisch für die *ÖNORM B 2061* ist, dass die Gliederung nach Kostenartengruppen, Personalkosten, Materialkosten, Gerätekosten, Kapitalkosten und Fremdleistungskosten durch eine zusätzliche Aufgliederung erfolgt. *Grundlagen, Ermittlung und Darstellung* sorgen für einen

⁹⁸Vgl. [19] Kropik, S. 180 f.

⁹⁹Vgl. [47] Wolkerstorfer und Lang, S. 13 f.

besseren Überblick der Kostenbestandteile. Die Gruppe *Sonstige Kosten* findet in der Verfahrensnorm keine Anwendung.¹⁰⁰ Dies ermöglicht eine verursachungsgerechte Zuordnung der Kosten in Form einer differenzierenden Zuschlagskalkulation. Hierfür kann seitens des Unternehmens der Gemeinkostenblock in Kostenartengemeinkosten gegliedert werden. Die Kostenartengemeinkosten Personalgemeinkosten, Materialgemeinkosten und Gerätegemeinkosten können somit den jeweiligen Kostenarten verursachungsgerecht zugewiesen werden.¹⁰¹

Die Preisermittlung im Bauwesen greift nicht auf wissenschaftliche Ansätze zurück, vielmehr liegt der Fokus auf fundierten technischen, rechtlichen und betriebswirtschaftlichen Grundsätzen.¹⁰² Um den progressiven Prozess der Kalkulation, beginnend mit der Ermittlung der Einzelkosten und Gemeinkosten, bis zum Aufschlag des Gesamtzuschlags zur Findung des Preises, zu vereinfachen, bedient man sich der sogenannten K-Blätter. Die K-Blätter sind standardisierte Kalkulationsformblätter. Grundlage für Kosten- und Preisermittlung bilden die folgenden K-Blätter:¹⁰³

- K2-Blatt – Gesamtzuschläge
- K3-Blatt – Personalpreise
- K4-Blatt – Materialpreise
- K5-Blatt – Zusammengesetzte Preiskomponenten
- K6-Blatt – Gerätepreise
- K7-Blatt – Darstellung der Preisermittlung

Das K3-Blatt dient der Ermittlung des Mittelohnpreises für Lohn und Gehalt. Darüber hinaus können Personalgemeinkosten berücksichtigt werden. Dadurch wird eine verursachungsgerechte Zuordnung in direkte Kosten erreicht. Dazu zählen Personalverrechnung und Nebenkosten wie z.B. Werkzeug, Arbeitskleidung, Kosten für Kleingeräte und Nebenmaterialien.¹⁰⁴ Die Bestandteile des Gesamtzuschlags nämlich, Geschäftsgemeinkosten, Finanzierungskosten, Wagnis und Gewinn werden im K2-Blatt berücksichtigt. Diese werden gestaffelt addiert. Weiters ist die Basis, auf die sich die Zuschlagsbestandteile des Gesamtzuschlages beziehen, klar definiert. Vor allem in der Nachtragskalkulation sorgt diese Vorgehensweise für ein besseres Verständnis, um vergangene Berechnungen nachvollziehen zu können.¹⁰⁴

Im K4-Blatt werden die notwendigen Kosten für das Material im Zuge des Produktionsprozesses berechnet. Die Materialkosten werden in gleicher Art und Weise wie die Personalkosten um die Kostenartengemeinkosten erweitert. Kosten wie z. B. Transportkosten für Material, Lagerverwaltung oder für die Beschaffung werden den Materialkosten über das K4-Blatt zugerechnet.¹⁰⁴ Setzt sich die Kalkulation aus unterschiedlichen Preisbestandteilen zusammen (z. B. Subunternehmerpreisen), werden diese im K5-Blatt festgehalten. Die Gerätekosten (Abschreibung, Verzinsung, Reparatur etc.) werden im K6-Blatt aufgegliedert und um die Gerätegemeinkosten erweitert. Zu den Gerätegemeinkosten zählen z. B. Kosten für die Lagerverwaltung oder Beschaffung.¹⁰⁴ Die Inhalte aus den Blättern K2 bis K6 laufen im Formblatt (K7-Blatt) zusammen, siehe Abb. 3.12. Das K7-Blatt steht sinnbildlich für die Kalkulation der Bauleistung. Mit dieser wird der Preis einer Position im Leistungsverzeichnis ermittelt. Die Herstellkosten (Einzelkosten

¹⁰⁰Vgl. [48] Zahiragic

¹⁰¹Vgl. [19] Kropik, S. 128

¹⁰²Vgl. [46] Weber

¹⁰³Vgl. [35] ÖNORM B 2061: 2020-05-01, S. 19

¹⁰⁴Vgl. [19] Kropik, S. 194 ff.

und Gemeinkosten) inkl. Gesamtzuschlag einer Position, mit den Anteilen *Lohn* und *Sonstiges*, ergeben den Einheitspreis. Mit dem Produkt aus Einheitspreis und dem Vordersatz der jeweiligen Position im LV errechnet sich der Positionspreis. Die Summe der Positionspreise aller Positionen ergibt den Gesamtpreis. Um schlussendlich den Angebotspreis zu ermitteln, wird die Ust. aufgeschlagen.^{105,106,107}

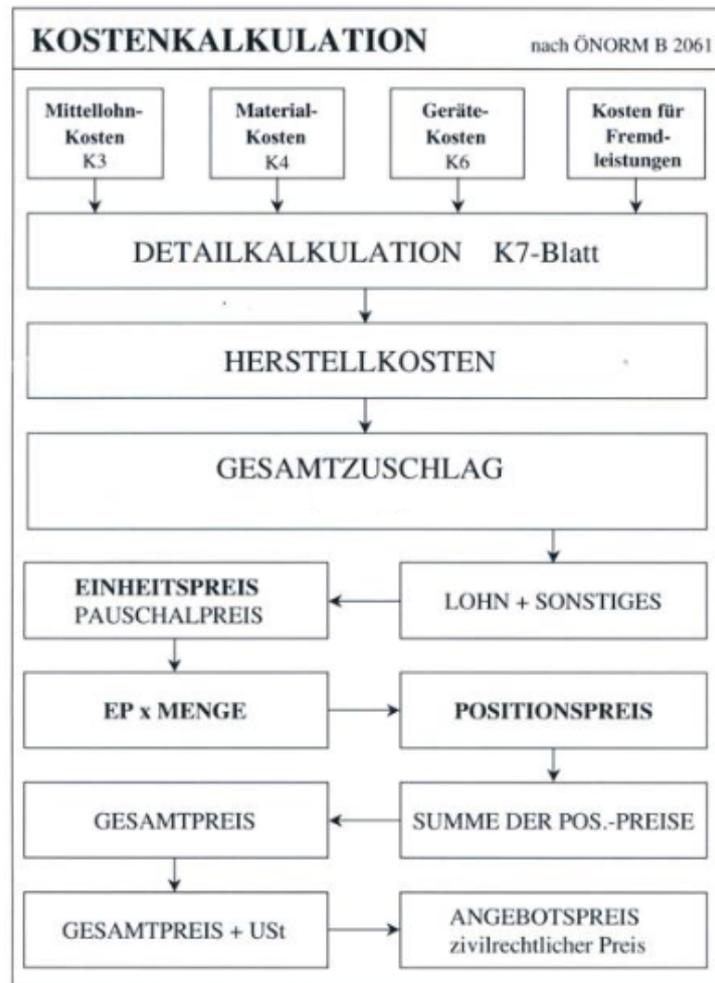


Abb. 3.12: Schematische Darstellung der Kostenkalkulation (Quelle: Wolkerstorfer und Lang [47, S. 10])

Die *ÖNORM B 2061* stellt das zentrale Werk in Österreich zur Erstellung einer Kalkulation und in weiterer Folge des Baupreises dar. In den folgenden Abschnitten werden die unterschiedlichen Kostenarten und der Aufbau der *ÖNORM B 2061* näher erläutert.

3.4.1 Kostenartengruppen der Baukalkulation

Die Kategorisierung nach Gruppen entspricht dem üblichen Schema nach dem ÖPWZ-Kostenrahmen und dient der vollständigen und transparenten Erfassung der Kosten.¹⁰⁸ Unabhängig vom Ort der

¹⁰⁵Vgl. [4] Bammer

¹⁰⁶Vgl. [35] ÖNORM B 2061: 2020-05-01, S. 18

¹⁰⁷Vgl. [8] Duschel, S. 12

¹⁰⁸Vgl. [19] Kropik, S. 209

Kostenverursachung (Baustelle oder im Unternehmen) lassen sich die Kosten laut *ÖNORM B 2061* in die Kostenarten Personal-, Material-, Geräte-, Kapitalkosten und andere Kosten einteilen.¹⁰⁹ Dies wird Nachfolgenden detailliert betrachtet.

Personalkosten: Die Kostenart *Personal* wird in Einzelpersonal- und Personalgemeinkosten unterschieden, Einzelpersonalkosten ergeben sich aus dem Zeitaufwand (Aufandswert z. B. [h/m³]) für die Leistungserbringung einer Bauleistung. Personalaufwand für Ladearbeiten und Manipulation, Bedienung, Instandhaltungsmaßnahmen, Reparatur von Geräten und Fremdleistungen zählen zu den Einzelpersonalkosten.¹¹⁰ Bei den Personalgemeinkosten handelt es sich um Kostenartengemeinkosten, die indirekt durch die Verrichtung der Arbeit durch Dienstnehmer entstehen. Zu den Personalgemeinkosten zählen Kosten für Lohnverrechnung, freiwillige Sozialleistungen und Nebenkosten. Die Nebenkosten werden in personenbezogene und projektbezogene Nebenkosten gegliedert. Unter den personenbezogenen Nebenkosten werden z. B. Arbeitskleidung, Firmenauto, EDV-Ausstattung, Schulungskosten udgl. verstanden. Im Gegensatz dazu werden unter den projektbezogenen Nebenkosten jene Kosten verstanden, die durch einen geringen monetären Wert bestimmt werden, wie z. B. Kleingeräte, Werkzeuge oder Nebenmaterialien.¹¹¹ Personalkosten werden durch die Beschäftigung von Dienstnehmern verursacht. Unter dem Dienstnehmer ist der Arbeiter und der Angestellte zu verstehen. Das Personalentgelt setzt sich aus dem Entgelt für Arbeiter (Lohn) und Angestellte (Gehalt) zusammen. Die Höhe des Entgelts ist von kollektivvertraglichen und betrieblichen Vereinbarungen sowie gesetzlichen Bestimmungen abhängig. Im Kollektivvertrag, der zwischen Arbeitern und Angestellten unterscheidet, wird der Lohn als Stundensatz (Lohn/h) und das Gehalt als Monatssatz (Gehalt/Mo) abgegolten.¹¹²

Materialkosten: Die Kostenart *Material* wird in Einzelmaterial- und Materialgemeinkosten unterteilt, Einzelmaterialkosten ergeben sich aus dem Materialbedarf und den Materialkosten je Einheit. Kosten für Betriebsstoffe, Geräewartung und Fremdleistungen zählen ebenso dazu.¹¹³ Hingegen zählen Materialgemeinkosten zu den indirekten Kosten, z. B. Kosten für Lagerverwaltung, Finanzierung und Beschaffung von Material.¹²⁰ Materialkosten werden durch die Leistungserbringung der Bauleistung verursacht. Die Gliederung der Materialien Baumaterial, Hilfsmaterial und Betriebsstoffe erfolgt im K4-Blatt. Weiteres sind im Formblatt Kosten für Transport, Ladearbeiten, Manipulation, Nebenmaterialien und Materialverlust vorzusehen. Nebenmaterialien (Verbindungsmitel und Reinigungsmittel), die für den Vorgang des Einbringens von Baumaterialien notwendig sind, können entweder im K4-Blatt oder im K3- bzw. K7-Blatt dargestellt werden. Für die Berechnung wird der Einkaufspreis, frei Werk oder frei Baustelle, herangezogen.¹¹⁴

Gerätekosten: Die im K6-Blatt dargestellte Kostenart *Geräte* setzt sich aus den Einzelgeräte- und den Gerätegemeinkosten zusammen, Einzelgerätekosten ergeben sich aus dem Zeitaufwand (Leistungswert z. B. [m³/h]) für die Leistungserbringung einer Bauleistung. Baugeräte, die im direkten Zusammenhang mit der Leistungserstellung bzw. Leistungsposition im Leistungsverzeichnis stehen, werden als Leistungsgeräte bezeichnet, wie etwa ein Bagger, der einer Ausbruchposition direkt zugewiesen ist. Im Gegensatz dazu die Vorhaltegeräte.

¹⁰⁹Vgl. [35] ÖNORM B 2061: 2020-05-01, S. 7

¹¹⁰Vgl. [35] ÖNORM B 2061: 2020-05-01, S. 14

¹¹¹Vgl. [35] ÖNORM B 2061: 2020-05-01, S. 10

¹¹²Vgl. [19] Kropik, S. 225 ff.

¹¹³Vgl. [35] ÖNORM B 2061: 2020-05-01, S. 13 ff.

¹¹⁴Vgl. [47] Wolkerstorfer und Lang, S. 29

Es handelt sich dabei um jene Baugeräte, die nicht direkt einer Leistungsposition zugewiesen werden können, sondern dem allgemeinen Baubetrieb unterliegen. Das Vorhaltegerät steht der Baustelle über eine vertraglich festgelegte Zeitdauer (Vorhaltedauer) zur Verfügung. Die verursachten Vorhaltekosten werden auf Leistungspositionen umgelegt oder den Baustellengemeinkosten zugerechnet.^{120,115} Weiters beinhalten die Einzelgerätekosten jene Gerätekosten von Fremdleistungen.¹²⁰ Unter Gerätegemeinkosten werden z. B. Kosten für Geräteverwaltung, Lagerplatzverwaltung etc. verstanden.¹¹⁶ Um die Kosten für Leistungsgeräte und Vorhaltegeräte zu ermitteln, bedient man sich in Österreich der Baugeräteliste oder ähnlichen Werken. Verbindlich sind diese für die Kalkulation jedoch nicht heranzuziehen. Die Baugeräteliste gliedert die Gerätekosten in Abschreibung, Verzinsung und Reparatur.^{116,117} Die Abschreibung beschreibt jenen Betrag der Baugeräte, bei der das investierte Kapital in das Baugerät entsprechend refinanziert werden muss, um ein gleichwertiges (technisch und leistungsmäßig) Baugerät anzuschaffen. Die Höhe des Abschreibungsbetrags wird über die lineare Abschreibungsmethode ermittelt. Die Anschaffungskosten verteilen sich dabei proportional über die Nutzungsdauer des Gerätes.¹¹⁵ Der Betrag der Verzinsung beschreibt jene Kapitalkosten, die sich durch das investierte Kapital bzw. das noch nicht abgeschriebene Kapital ergeben.¹¹⁵ Unter dem Reparaturentgelt werden die Kosten für die Instandhaltung und Reparatur des Baugeräts verstanden.¹¹⁵

Kapitalkosten: Die projektspezifischen Kapitalkosten entstehen durch die Vorfinanzierung der Leistungserbringung, um ein Bauvorhaben zu realisieren. Die Leistung eines Bauunternehmens wird nach Erbringung der Bauleistung durch Abschlagsrechnungen abgegolten. Die Kapitalkosten werden in Finanzierungskosten, Kapitalkosten für Gerätebeistellung und Betriebsführung eingeteilt. Das Niveau der Finanzierungskosten hängt vom kalkulatorischen Zinssatz ab. Der Zinssatz richtet sich z. B. nach dem Zinssatz von Krediten. Einen Einfluss auf die Höhe der Finanzierungskosten hat die periodische Legung der Abschlagsrechnungen, Preisnachlässe (z. B. S-Konto) und Sicherungen (Deckungs- und Haftungsrücklass).¹¹⁸

Fremdleistungskosten: Die Herstellung eines Bauwerks ist ein Konglomerat an Bauleistungen, die sich aus Eigenleistungen und/oder Fremdleistungen eines Unternehmens zusammensetzen. Unter Fremdleistungen wird die Leistungserbringung durch Dritte (Nachunternehmer) verstanden. Die verursachten Kosten stehen im direkten Zusammenhang mit der Leistungserstellung.¹¹⁹

Anderere Kosten: Unter den *Anderere Kosten* werden Kosten für Steuern, Gebühren, sonstige Abgaben, Lizenzen, Büromaterial, Mieten, IT- und Kommunikationskosten verstanden.¹²⁰

3.4.2 Aufbau der Preisermittlung

Die Preisermittlung nach *ÖNORM B 2061* erfolgt durch die Zuschlagskalkulation. Um eine verursachungsgerechte Zuordnung der Kosten zu ermöglichen, findet eine Trennung in Einzel- und Gemeinkosten statt. Die Zuschlagskalkulation stellt in diesem Sinne keine Darstellungsform der Kalkulation dar, sie folgt dem Prinzip der Kostenrechnung. Das Ziel ist es, einen auskömmlichen Preis zu kalkulieren. Einzig und allein die Darstellung der Kalkulation in Form der K-Blätter

¹¹⁵Vgl. [31] Oberndorfer und Haring, S. 62 ff.

¹¹⁶Vgl. [35] ÖNORM B 2061: 2020-05-01, S. 11

¹¹⁷Vgl. [19] Kropik, S. 529

¹¹⁸Vgl. [19] Kropik, S. 546 f.

¹¹⁹Vgl. [19] Kropik, S. 537

¹²⁰Vgl. [35] ÖNORM B 2061: 2020-05-01, S. 13 ff.

ist verbindlich. In den folgenden Unterpunkten werden die Einzelkosten, Gemeinkosten und der Gesamtzuschlag nach *ÖNORM B 2061* beschrieben.

Einzelkosten

Die Einzelkosten werden in Einzelpersonal, Einzelmaterial und Einzelgerätekosten klassifiziert. Sie bilden den Zuschlagsträger für Gemeinkosten und andere Kosten.¹²⁰

Baustellengemeinkosten

Die durch den allgemeinen Betrieb einer Baustelle verursachten Kosten können den Einzelkosten nicht direkt zugewiesen werden.¹²⁰ Die Einteilung der Baustellengemeinkosten erfolgt laut *ÖNORM B 2061* in nicht zeitgebundene und zeitgebundene Baustellengemeinkosten (BGK). Die nicht zeitgebundenen BGK entstehen durch die Baustelleneinrichtung und Baustellenräumung. Es handelt sich dabei um Kosten für den Auf- und Abbau von Baucontainern, Lade- und Transportarten, Erschließung und Inbetriebsetzung der Baustelle. Sie fallen in einmaliger Höhe am Beginn und am Ende eines Projektes an.^{120,121} Im Gegensatz dazu erstrecken sich die zeitgebundenen BGK über einen längeren Zeitabschnitt. Sie fallen in annähernd gleicher Höhe an. Sie entstehen durch Kosten für Personal mit Leitungsfunktion, Vorhaltekosten für Geräte inklusive Abschreibung, Verzinsung und Reparatur und für jene Art von Kosten, die einen zeitgebundenen Charakter besitzen.¹²⁰

Gesamtzuschlag

Der Gesamtzuschlag bündelt die Bestandteile *Geschäftsgemeinkosten*, *Finanzierungskosten*, *Wagnis*, *Gewinn* und *projektbezogene Umlagen* (z. B. Umlage von Baustellengemeinkosten) in einem Zuschlagssatz. Im Nachfolgenden wird auf die einzelnen Bestandteile genauer eingegangen.¹²²

- **Geschäftsgemeinkosten:** Geschäftsgemeinkosten umfassen Kosten, die durch den Betrieb des Unternehmens verursacht werden, d.h. Kosten für die allgemeine Verwaltung und den Betrieb eines Unternehmens (Geschäftsführung, Personalverrechnung, Gehälter, Bürounterschieden, Miet- und Betriebskosten etc.). Kosten, die nicht als Bestandteil der Einzelkosten oder Baustellengemeinkosten berücksichtigt werden, sind den Geschäftsgemeinkosten zuzurechnen. Weiteres handelt es sich um indirekte Kosten, die periodenbezogen ermittelt und als fixer Prozentsatz den jeweiligen Bezugsgrößen aufgeschlagen werden.¹²³
- **Finanzierungskosten:** Die Finanzierungskosten entsprechen den Kapitalkosten, näher erläutert im Kapitel 3.4.1.¹²⁴
- **Wagnis:** Die Baubranche zeichnet sich nicht nur durch einen hohen Wettbewerb aus, sondern das Unternehmertum ist durch Risiken geprägt. Die Risiken, Wagnisse auch genannt, ergeben sich nicht nur durch die vorherrschende Marktsituation. Auswirkungen auf ein Unternehmen können auch soziale Aspekte wie Politik, Gesellschaft, Mitarbeiter und Vertragspartner haben. Eine nicht ausreichende Berücksichtigung von Wagnissen im Preis führt einerseits zur Verschlechterung der Wirtschaftlichkeit eines Unternehmens, andererseits ist der Fortbestand langfristig in Gefahr. Der Zuschlag für Wagnisse setzt sich aus den unternehmensbezogenen und projektspezifischen Risiken zusammen. Um Zuschläge für die unternehmensbezogenen Risiken zu ermitteln, wird auf die Kostenrechnung zurückgegriffen. Dafür werden vergangene Aufwendungen, die im Zusammenhang mit diesen stehen, festgestellt. Über einen Zeitraum von mehreren Jahren wird ein Durchschnitt

¹²¹Vgl. [19] Kropik, S. 605 ff.

¹²²Vgl. [19] Kropik, S. 573

¹²³Vgl. [35] ÖNORM B 2061: 2020-05-01, S. 16

¹²⁴Vgl. [19] Kropik, S. 546 f.

gebildet, um etwaige Schwankungen auszugleichen. Zu den unternehmensbezogenen Risiken zählen Ausfallrisiko, Insolvenzrisiko von Vertragspartnern, Forderungen für Gewährleistung und Schadensersatz von Dritten. Da ein Bauvorhaben nur mit Auftragserhalt produziert wird, ist das Ausfallrisiko entsprechend gering. Risiken für die Bereitschaft der Produktion führen zu Leerkosten, die auch ohne Auftragserhalt entstehen.¹²⁵

- **Gewinn:** Das Ziel wirtschaftlicher Tätigkeiten ist es, einen Gewinn zu erzielen. Dieser kann Notfalls auch zur Verrechnung ungedeckter Wagnisse dienen.¹²⁶

Die Kosten- und Preisermittlung nach *ÖNORM B 2061* setzt sich aus den beschriebenen Bestandteilen zusammen, dargestellt in der Abb. 3.13. Die Komponenten *Baustellengemeinkosten* und *Einzelkosten* ergeben die *Herstellkosten*. Durch Hinzurechnen der *Finanzierungskosten* und *Geschäftsgemeinkosten*, in Form eines Zuschlagssatzes, werden die *Selbstkosten* ermittelt. Diese bilden den Zuschlagsträger für *Wagnis* und *Gewinn*. Gesamtheitlich betrachtet ergibt sich der *Angebotspreis* (exkl. Ust).

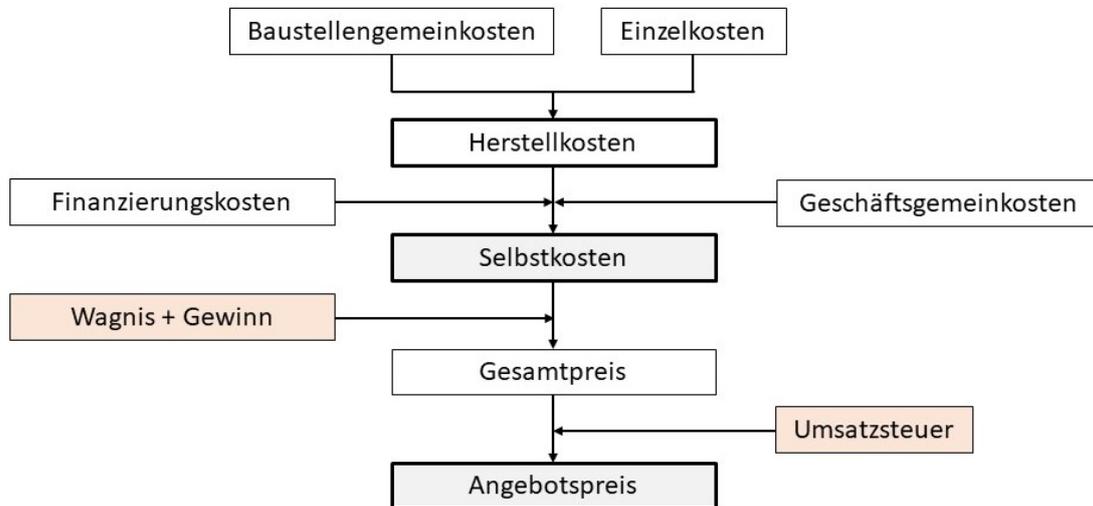


Abb. 3.13: Darstellung der Kosten- und Preisermittlung nach *ÖNORM B 2061* (Quelle: modifiziert nach Duschel [8, S. 10])

3.5 Umgang mit zeitgebundenen und nicht zeitgebundenen BGK in Österreich

Die Projektkosten im Tunnelbau werden maßgeblich durch die Bauzeit dominiert. Kostenbestandteile eines Projekts, die entscheidend durch den Faktor Zeit beeinflusst werden, sind die BGK. Neben den zeitgebundenen BGK für Personal und Geräte besitzen sowohl die Lohn- als auch die Energiekosten im Tunnelbau einen zeitabhängigen Kostencharakter, dies aufgrund der ununterbrochenen Anwesenheit des produktiven Personals bzw. des ständigen Einsatzes der Geräte unter Tage. Dahingehend werden die zeitgebundenen BGK sowie die Lohn- und Energiekosten zu zeitgebundenen Anteilen der Gesamtkosten (ZGA) zusammengefasst. Die nun folgenden Unterabschnitte stellen den generellen Umgang mit zeitgebundenen und nicht zeitgebundenen BGK und den Lohn- und Energiekosten in einem Tunnelbauprojekt aus normativer und literarischer Sicht in Österreich dar.

¹²⁵Vgl. [19] Kropik, S. 563 ff.

¹²⁶Vgl. [34], S. 11

3.5.1 Nicht zeitgebundene und zeitgebundene BGK

Um die Beziehung zwischen Bauzeit und Kosten zu verdeutlichen, empfiehlt sich die Gliederung in nicht zeitgebundene und zeitgebundene BGK. Die BGK fallen in unterschiedlicher Höhe in Abhängigkeit der jeweiligen Bauphase an. Der zeitliche Ablauf kann grob in die Phasen Anlauf- und Auslaufzeit und Hauptbauzeit eingeteilt werden. Die nicht zeitgebundenen BGK fallen in der Anlauf- und Auslaufzeit an. In der Anlaufzeit werden neben der Einrichtung der Baustelle sukzessive das unproduktive Personal (Bauregie) sowie die Geräte erhöht. Das Maximum des Ressourceneinsatzes wird über die Hauptbauzeit erreicht. In dieser Phase fallen zeitgebundene BGK in annähernd gleicher Höhe an. In der Auslaufzeit findet die Baustellenräumung statt. Weiters werden die Kosten für Bauregie und Geräte schrittweise reduziert, da die Ressourcen nach und nach von der Baustelle abgezogen werden¹²⁷

Ein Tunnelbauprojekt setzt sich neben den zeitgebundenen BGK aus weiteren zeitabhängigen Anteilen zusammen. Diese werden im nächsten Abschnitt erläutert und als zeitgebundene Anteile der Gesamtkosten ZGA zusammengefasst.

3.5.2 Definition der zeitgebundenen Anteile an den Gesamtkosten

Der vollständige Ressourceneinsatz einer Baustelle setzt sich aus dem Personal (produktives und unproduktives Personal) und den Geräten (Leistungs- und Vorhaltegeräte) im Bauwesen zusammen. Ein besonderes Merkmal im Tunnelbau ist, dass die Kalkulation der Lohnkosten für produktives Personal nicht dem Resultat einer erstellten Leistungseinheit (m, m², m³ etc.) entspricht. Die Vortriebsmannschaft, die für die Erstellung der Bauleistung unter Tage zuständig ist, wird nicht wie im Bauwesen üblich, leistungsabhängig sondern zeitabhängig kalkuliert. Dies erklärt sich dadurch, dass das produktive Personal permanent über die Ausführungszeit auf der Baustelle anwesend ist.

Dasselbe gilt auch für die Energiekosten (Strom und Diesel), die für den laufenden Betrieb der Geräte anfallen, da diese ebenfalls ununterbrochen im Einsatz sind. Aus diesem Grund fasst der Autor die Kosten für Bauregie, Geräte, Lohn und Energie zu einem gesamtheitlichen Begriff der ZGA zusammen. In den folgenden Abschnitt findet eine normative Auseinandersetzung mit den BGK, Lohn- und Energiekosten nach den nationalen Normenwerken *ÖNORM B 2118*, *ÖNORM B 2061* und *ÖNORM B 2203-1* sowie nach der Standardleistungsbeschreibung *LB VI* statt.

3.5.3 ÖNORM B 2118 und ÖNORM B 2061

Die *ÖNORM B 2118* legt die Bestimmungen für das Verfahren von Ausschreibungen und Angeboten sowie für die Verträge für heimische Großprojekte fest. Die Verfahrensbestimmungen des Normenwerks sehen gemäß *ÖNORM B 2061* eigene Positionen für die BGK vor. Dem Ausschreibenden obliegt es selbst, diese im Vertrag ausdrücklich zu berücksichtigen. Hingegen stellen Vertragsbestimmungen einen bindenden Bestandteil des jeweiligen Vertrages dar. Die *ÖNORM B 2118* charakterisiert die eigenen Positionen für BGK wie folgt:¹²⁸

- Die einmaligen Kosten der Baustelle für die Baustelleneinrichtung und -räumung.
- Die zeitgebundenen Kosten der Baustelle werden abschnittsweise nach zeitlichen sowie nach technischen Spezifikationen eingeteilt. Darüber hinaus sind diese nach Stillliegezeiten einzuteilen.

¹²⁷Vgl. [7] Dress und Paul, S. 88

¹²⁸Vgl. [37] ÖNORM B 2118: 2021-12-01, S. 12

- Gerätekosten für Vorhaltegeräte.

Die *ÖNORM B 2061*, die das Grundgerüst einer Kalkulation darstellt, klassifiziert die nicht zeitgebundenen BGK in:¹²⁹

- Kosten für die Baustelleneinrichtung und -räumung.
- Kosten für Transport- und Ladearbeiten
- Kosten für die Instandhaltung
- Andere Kosten beispielsweise für Planung, Schulung und Berichtswesen, falls diese Kosten einen einmaligen Kostencharakter besitzen.

Die zeitgebundenen BGK umfassen laut *ÖNORM B 2061* folgende Bestandteile:¹²⁹

- Personalkosten Kosten für den Einsatz von dispositivem Personal, wie z.B. Projekt- und Bauleitung, Arbeitsvorbereitung etc.
- Materialkosten wie z.B. Hilfsmaterialien, Betrieb von Vorhaltegeräten, Instandhaltungskosten der Baustelleneinrichtung
- Kosten für Vorhaltegeräte wie z.B. Kräne, Baustelleneinrichtung
- Andere Kosten beispielsweise für Planung, Schulung und Berichtswesen, falls diese Kosten einen zeitgebundenen Kostencharakter besitzen.

Die Kosten werden auch im Falle einer Leistungsunterbrechung verursacht. Erstreckt sich eine Unterbrechung über einen längeren Zeitraum, werden die zeitgebundenen BGK in verringerter Höhe vergütet.¹²⁹

In Österreich werden die Normen grundsätzlich in Verfahrens- und Vertragsnormen klassifiziert. Bei der *ÖNORM B 2061* handelt es sich um eine Verfahrensnorm. Diese muss nicht zwingend Vertragsbestandteil eines Bauvertrags sein. Hingegen stellen die Vertragsnormen, zu denen die *ÖNORM B 2118* zählt, allgemein gültige Normen in Österreich dar. Der Ausschreibende hat sich immer an die Vertragsbestimmung in der Ausschreibung zu halten. Die tunnelbauspezifische Abwicklung der *ÖNORM B 2118* erfolgt anhand der Werkvertragsnormen *ÖNORM B 2203-1* und *ÖNORM B 2203-2*. Der Fokus der gegenständlichen Arbeit liegt auf dem zyklischen Vortrieb, sodass der Schwerpunkt bei der normativen Ausarbeitung auf die Werkvertragsnorm *ÖNORM B 2203-1* gelegt wird.

3.5.4 ÖNORM B 2203-1

Die *ÖNORM B 2203-1* entspricht grundsätzlich dem Aufbau der *ÖNORM B 2118*. Neben den Verfahrensbestimmungen für Ausschreibungen und Angebote werden auch Vertragsbestimmung für die Ausführung von Untertagebauarbeiten im zyklischen Vortrieb vorgegeben. Die *ÖNORM B 2203-1* gilt ausschließlich für Hohlräume, die solch ein Ausmaße besitzen, dass eine laufende Begehung oder Befahrung möglich ist.¹³⁰ Der Werkvertrag nimmt darüber hinaus Bezug auf Bestimmungen für die Ausführung und Abrechnung von Untertagebauwerken sowie auf die Richtlinien und Bestimmungen der Österreichischen Bautechnikervereinigung (ÖBV), auf die in weiterer Folge jedoch nicht näher einzugehen ist.¹³⁰

¹²⁹Vgl. [35] *ÖNORM B 2061*: 2020-05-01, S. 15 ff.

¹³⁰Vgl. [39] *ÖNORM B 2203-1*: 2022-01-15, S. 2 ff.

Der zyklische Vortrieb wird im Wesentlichen durch die vorherrschenden Untergrundverhältnisse bestimmt. Da die Vorerkundungsmaßnahmen seitens des Ausschreibenden nur Nadelstiche und keine flächendeckende Erkundung des Untergrunds darstellen, treten im Tunnelbau oftmals Abweichungen zwischen den prognostizierten und den tatsächlichen Baugrundverhältnissen unter Tage auf. Aus diesem Grund sieht die *ÖNORM B 2203-1* ein Vergütungsmodell vor, das die wechselnden geologischen Bedingungen flexibel berücksichtigt. In Österreich wird hierfür der anzutreffende Untergrund entlang der Trassenführung in gleichartige Bereiche, in sogenannten Vortriebsklassen, klassifiziert. Die Vortriebsklassen werden nach festgelegten geologischen und geotechnischen Parametern laut den Richtlinien der Österreichischen Gesellschaft für Geomechanik (ÖGG) bestimmt. Von Seiten des AGs sind technisch erforderliche Lösungsmethoden, die Unterteilung des Ausbruchsquerschnitts in Teilquerschnitte und die Längsentwicklung des Vortriebsablaufs anzugeben.¹³¹

Die Vortriebsklasse ist klar über zwei Ordnungszahlen für die Kalotte und Strosse bzw. Strosse definiert. Die erste Ordnungszahl definiert die Abschlagslänge des auszuberechnenden Gesamt- oder Teilquerschnitts. Die zweite Ordnungszahl repräsentiert die Stützmittelzahl. Sie entspricht der Bewertung der Sicherungsmaßnahmen (Stützmittel, Zusatzmaßnahmen etc.) je Abschlag.¹³¹ Die Vortriebsklassen werden im sogenannten Matrixmodell festgehalten. Die Abschlagslänge und die einzubringenden Stützmittel je Abschlag werden dadurch in übersichtlicher Form dargestellt. Die Vortriebsklasse dient als Vergütungsgrundlage zwischen dem Ausschreibenden und dem ausführenden Unternehmen. Die Vortriebsklassen bilden die Basis eines flexible Vergütungsmodells.¹³²

Flexibles Vergütungsmodell

Um die geologische Komplexität unter Tage monetär bewerten zu können, wird das flexible Vergütungsmodell nach *ÖNORM B 2203-1* angewendet. Das Modell berücksichtigt Abweichungen, die durch repräsentative Kennwerte, Bandbreiten von Prognosen (Gebirgsart, Systemverhalten, Wasserführung im Gebirge) örtlich und in Längsrichtung der Trasse seitens des Ausschreibenden festgelegt werden.¹³³ Das ausführende Unternehmen ist aufgrund des Vergütungsmodells in der Lage, die kalkulierte Vortriebsleistung in Abhängigkeit der tatsächlichen Untergrundbedingungen den passenden Positionen (je nach ausgeschriebener Vortriebsklasse) im Leistungsverzeichnis zuzuordnen. Das flexible Vergütungsmodell dient einer fairen und leistungsgerechten Ausführung und Abrechnung von heimischen Tunnelbauprojekten.¹³⁴ Da der Untergrund maßgeblich die Bauzeit im Tunnelbau bestimmt, legt die *ÖNORM B 2203-1* neben dem flexiblen Vergütungsmodell auch ein flexibles Bauzeitmodell fest.

Umgang mit zeitgebunden und nicht zeitgebundenen Kosten der Baustellengemeinkosten

Die Verfahrensbestimmungen der *ÖNORM B 2203-1* sehen eigene Positionen für die BGK vor. Wie bereits oben ausgeführt, sieht das Normenwerk ein Bauzeitmodell vor, das die Bauzeit von Baubeginn bis Bauende eines Tunnelbauprojektes berücksichtigt. Die dem Bauzeitmodell zugrundeliegende Bauzeit wird anhand des festgelegten Bauablaufs, welcher in der Ausschreibung durch den Ausschreibenden definiert wird, kalkuliert. Die Norm klassifiziert die Bauzeit in folgende fünf Punkte:^{131,135}

- 1: Festzeiten für Baustelleneinrichtung und -Räumung
- 2: Leistungsabhängige Zeiten für Vortriebs- und Betonierarbeiten

¹³¹Vgl. [39] *ÖNORM B 2203-1*: 2022-01-15, S. 11 ff.

¹³²Vgl. [17] Goger und Chylik, S. 1 ff.

¹³³Vgl. [39] *ÖNORM B 2203-1*: 2022-01-15, S. 9 f.

¹³⁴Vgl. [16] Goger, S. 30

¹³⁵Vgl. [17] Goger und Chylik, S. 9 f.

3: Vortriebsunterbrechungen

4: Stillliegezeiten

5: Sonstige Festzeiten

Die Vergütung von (1) und (5) erfolgt mittels Festzeiten in Form einer Pauschale. Hingegen ist die Vortriebsdauer für (2) nicht pauschal, sondern variable zu gestalten. Allfällige Vortriebsunterbrechungen (3) gilt es in der Vortriebsdauer zu berücksichtigen. Für die Vortriebsstilliegezeiten, arbeitsfreie Tage und die Herstellung der Innenschale sind eigene Positionen vorzusehen.¹³¹ Die Vergütung der Zeiten (2), (3) und (4) erfolgt anhand von Verrechnungseinheiten (VE). Die laut Ausschreibung zu berücksichtigende VE ergibt sich aus der prognostizierten Vortriebsklassenermittlung und der zu kalkulierenden Vortriebsgeschwindigkeiten, die von der jeweiligen Vortriebsklasse abhängig ist.

Umgang mit den Lohnkosten

Die Lohnkosten werden laut *ÖNORM B 2203-1* in den Positionen für den Ausbruch der Kalotte und der Strosse berücksichtigt. Eine normative Unterscheidung findet nach zwei Varianten statt:¹³⁶

Variante (a): je Vortriebsklasse [...] ist eine Position für Lohn und Sonstiges in m^3 vorzusehen oder¹³⁶

Variante (b): eine Position für die Lohnkosten der Vortriebsmannschaft je Zeiteinheit einschließlich sonstiger zeitabhängiger Kosten, die nicht in den zeitgebundenen Kosten der Baustelle enthalten sind). Die Menge errechnet sich aus den angebotenen Vortriebsgeschwindigkeiten [...] und der ausgeschriebenen Vortriebsklassenverteilung analog zur Ermittlung der zeitgebundenen Kosten. Für den nicht zeitgebundenen Anteil Sonstiges ist für jeden Abschlagslängenbereich (1.Ordnungszahl) eine Position in m^3 vorzusehen.¹³⁶

Umgang mit den Energiekosten

Die Energiekosten werden in der *ÖNORM B 2203-1* nicht ausdrücklich erwähnt. Der Umgang mit diesen Kostenbestandteilen wird in der *ÖNORM B 2061* geregelt. Laut dieser Norm werden die Energiekosten in leistungs- und zeitabhängige Kosten differenziert. Die leistungsabhängigen Kosten stehen im direkten Zusammenhang mit der Leistungserstellung (Einzelmaterialkosten). Hingegen entstehen die zeitabhängigen Kosten durch den allgemeinen Betrieb der Baustelle.¹³⁷

Der Umgang mit den nicht zeitgebundenen und zeitgebundenen BGK laut Norm wurde ausführlich dargelegt. Es wurde dargestellt, wie die BGK und die Lohn- und Energiekosten normativ in einer Ausschreibung zu berücksichtigen sind. Der Autor möchte ausdrücklich darauf hinweisen, dass nach der Definition im Unterabschnitt 3.5.2 Lohn- und Energiekosten als zeitabhängige Kosten betrachtet werden. Die Kosten besitzen zwar einen zeitabhängigen Kostencharakter, die Kalkulation dieser Bestandteile in der Angebotskalkulation hängt stets vom gegenständlichen Bauvertrag ab, wodurch die Kostenbestandteile sowohl zeitabhängig als auch leistungsabhängig in den jeweiligen Positionen zu berücksichtigen sind.

Der Bauvertrag bildet die Grundlage der Vergütung zwischen dem Ausschreibenden und dem ausführenden Bauunternehmen. Die Beschreibung der Bauleistungen zur Erstellung eines Werkes findet mittels der Standardleistungsbeschreibung statt. Die in den vorhergehenden Abschnitten dargestellten Inhalten *ÖNORM B 2118*, *ÖNORM B 2061* und *ÖNORM B 2203-1* bilden dabei einen Auszug aus den österreichischen Normenwerken. Der Vollständigkeit halber ist festzuhalten,

¹³⁶Vgl. [39] *ÖNORM B 2203-1*: 2022-01-15, S. 15 f.

¹³⁷Vgl. [39] *ÖNORM B 2203-1*: 2022-01-15, S. 1 ff.

dass sich die Standardleistungsbeschreibung aus einer Vielzahl von Normen und Vorschriften zusammensetzt. Der Fokus liegt vor allem auf den normativen Umgang mit den ZGA in der Angebotsphase.

3.5.5 Standardleistungsbeschreibung LB-VI

Als Standardleistungsbeschreibung im heimischen Tunnelbau wird die standardisierte Leistungsbeschreibung für Verkehr und Infrastruktur (*LB VI* [24]) herangezogen. Sie stellt ein Standardwerk mit Praxisbezug dar, das die Inhalte von Normen, Gesetzen sowie Produktneuheiten beinhaltet. Die *LB VI* gibt eine gesamtheitliche Sammlung wieder, die neben dem Tunnelbau auch Leistungen aus dem Bereich Straßenbau, Brückenbau, Siedlungswasserbau etc. berücksichtigt.¹³⁸ Eine übersichtliche Darstellung der Bauleistungen erfolgt anhand von Leistungsgruppen (LG). Die LG werden weiter in die Unterleistungsgruppen (ULG), Grundpositionen (GP) und Positionen (P) gegliedert. Der Fokus des folgenden Unterabschnitts liegt auf der LG 02 *Baustellengemeinkosten*. Diese Leistungsgruppe erläutert den Umgang mit nicht zeitgebundenen und zeitgebundenen BGK in einem Bauvertrag. Die LG 02 berücksichtigt die BGK in eigenen Positionen, die wie folgt beschrieben werden:¹³⁹

Einrichtungen der Baustelle: Die ULG 0201 sieht eine Vergütung der einmaligen Kosten für die Baustelleneinrichtung (Geländer, Aufstellen und Einrichten von Baucontainern etc.) mittels einer Pauschale vor.

Zeitgebundene Kosten der Baustelle: Über die ULG 0202 werden die zeitgebundenen BGK abgegolten. Eine Vergütung der Kosten ist mit einer Pauschale oder nach Zeit (Tage, Wochen und Monaten) möglich. Bei einer Unterschreitung der vertraglich festgelegten Bauzeit werden die BGK vollständig vergütet. Bei einer Überschreitung aus Gründen, die in der Sphäre des ausführenden Unternehmens liegen, erfolgt für den überschrittenen Zeitraum keine Vergütung.

Zeitgebundene Kosten und Stillliegezeiten: Die *LB VI* unterscheidet zwischen Vortriebsunterbrechungen und Stillliegezeiten. Treten Vortriebsunterbrechungen im Zuge der Vortriebsarbeiten auf, müssen diese am kritischen Weg liegen, damit eine Vergütung möglich ist. Als Bauzeit wird die am kritischen Weg liegende vertraglich festgelegte Dauer definiert. Eine Vergütung der nicht erlösten Gerätekosten erfolgt in der LG 98 Regiearbeiten. Die nicht erlösten Lohnkosten der Vortriebsmannschaft werden über die erforderliche anerkannte Dauer seitens des Ausschreibenden über das Modell (a) ULG 6201 oder das Modell (b) ULG 6202 abgegolten. Vortriebsstillliegezeiten, die kürzer als eine Woche andauern, werden wie Vortriebsunterbrechungen behandelt und abgegolten. Um den Leser eigene Positionen für zeitgebundene BGK aufzuzeigen, werden diese exemplarisch aus der *LB VI* beschrieben:¹³⁹

- **ZGKB Vortriebs- oder Betonierende - Bauende, UT:** Die BGK und die sonstigen Kosten werden gemäß *ÖNORM B 2061* in Pauschalen zusammengefasst. Eine monatliche Verrechnung erfolgt über die Division der Pauschale durch die Bauzeit, d.h. von Baubeginn bis Vortriebsbeginn bzw. von Baubeginn bis Vortriebsende. Vorhersehbare Abgänge von produktivem Personal sind entsprechend zu berücksichtigen und von der Bauzeit abzuziehen.
- **ZGKB Baubeginn bis Vortriebsbeginn - Votr. -od. Betonierende, Grundpos., UT:** Die Verrechnung der BGK erfolgt mittels VE. Diese errechnet sich über

¹³⁸Vgl. [24] LB VI: 2021-05-01, S. Vorwort

¹³⁹Vgl. [24] LB VI: 2021-05-01, S. 20 ff.

die Division der Pauschale durch die Dauer Vortriebsbeginn bis Vortriebsende (prognostizierte Dauer). Als Abrechnungsgrundlage dienen die tatsächliche Vortriebsklassenverteilung und die vertraglich festgelegte Vortriebsgeschwindigkeit. Berücksichtigt werden ebenso Vortriebsunterbrechnungen, Vortriebsstillliegezeiten, Erschwerniszeiten und Festzeiten, die am kritischen Weg liegen und vertraglich festgelegt werden.

- **Aufzahlung für Vortriebsstillliegezeiten:** Die Stillliegezeiten ergeben sich anhand der VE. Diese errechnet sich mittels Division der Pauschale durch die anerkannten Stillliegezeiten seitens Ausschreibenden.
- **Aufzahlung für Vortriebsstillliegezeiten Abgang:** Die Berechnung der Stillliegezeiten für Abgänge erfolgt analog zur Aufzahlung für Vortriebsstillliegezeiten. Unterschiede ergeben sich in der Ermittlung der Abgangstage, welche über die Summe der Multiplikation der Anzahl an Ereignissen und der angegebenen Dauer laut dem ausführenden Unternehmen berechnet werden.¹³⁹

Räumen der Baustelle: Die Unterleistungsgruppe 0204 sieht eine Vergütung der nicht zeitgebundenen Kosten mittels einer Pauschale vor.¹³⁹

Umgang mit den Lohnkosten

Nach der tunnelbauspezifischen Norm *ÖNORM B 2203-1* können zwei Modelle, angelehnt an die Varianten (a) und (b) in der LG 62 der *LB VI*, für die Lohnkosten im Bauvertrag vorgesehen werden. Dadurch ist sowohl eine leistungsabhängige (Modell (a)) als auch eine zeitabhängige (Modell (b)) Kalkulation der Lohnkosten möglich. Die Modelle werden laut *LB VI* wie folgt beschrieben:¹⁴⁰

Ausbruch zykl. Vortrieb Tunnel-Matrix/Modell (a): Die Grundposition 6201 beschreibt das Vergütungsmodell laut *ÖNORM B 2203-1* Variante (a). Die Positionen 620101 bis 620170 werden in den Einheiten [m³] und [m] ausgeschrieben. Neben der Einheit des Vorderatzes wird die Ordnungszahl des Ausschreibenden und die ermittelte Vortriebsklasse durch das ausführende Unternehmen berücksichtigt. Weiteres werden eigene Positionen für Vortriebsunterbrechnungen, Stillliegezeiten etc. vorgesehen, die nicht näher erläutert werden.¹⁴⁰

- Lohnkosten Vortriebsmannschaft VU Kalotte
- Lohnkosten Vortriebsmannschaft VU Strosse
- Lohnkosten Disposition Stillliegezeit zyklischer Vortrieb (a)
- Lohnkosten Vortriebsmannschaft WE/PA

Ausbruch zykl. Vortrieb Tunnel-Matrix/Modell (b): Die Grundposition 6202 beschreibt das Vergütungsmodell Variante (b). Es werden Standardleistungspositionen für die Lohnkosten der Vortriebsmannschaft vorgesehen. Diese beinhalten jene Kostenbestandteile, die in den zeitgebundenen Kosten nicht berücksichtigt werden. Abgegolten werden Positionen mittels Pauschalen, die je nach Bauzeit (Tage, Wochen oder Monate) als VE bezeichnet werden. Der Preis einer VE ergibt sich durch die Division eines Pauschalbetrags durch die Summe der Vortriebsdauer (exkl. Stillliegezeiten). Die Vergütung erfolgt anhand der tatsächlichen Vortriebsklassenverteilung und der vertraglich festgelegten Vortriebsgeschwindigkeit inkl. Erschwerniszeiten, Vortriebsunterbrechnung und sonstige Festzeiten. Zusätzlich werden Standardleistungspositionen in der Gruppe 620240 für den Anteil Sonstiges vorgesehen, die nicht Bestandteil der zeitgebundenen Kosten sind. Die *LB VI* die Position *Lohnkosten Disposition Stillliegezeit zykl.(b)* für Stillliegezeiten vor:¹⁴⁰

¹⁴⁰Vgl. [24] *LB VI*: 2021-05-01, S. 2516 ff.

Umgang mit den Energiekosten

Die *LB VI* stützt sich hinsichtlich des Umgangs mit den Energiekosten auf die *ÖNORM B 2061*, die analog nach Abschnitt 3.5.4 erfolgt.

Zwischenresümee

Die erarbeiteten Abschnitte zeigen auf, dass es aus baubetrieblicher und bauwirtschaftlicher Sicht durchaus Sinn macht, die BGK in separate Positionen im Bauvertrag vorzusehen. Wenn die am kritischen Weg liegende Bauzeit sich verlängert und Abweichungen auftreten, führt dies unweigerlich zu Diskussionen zwischen dem Ausschreibenden und dem ausführenden Unternehmen im Hinblick auf eine Anpassung der Vergütung. Da eigene Positionen für die BGK nur als Empfehlung seitens der Normenwerke *ÖNORM B 2118*, *ÖNORM B 2061* und *ÖNORM B 2203-1* gelten, obliegt es dem Ausschreibenden, diese selbst separat im Bauvertrag vorzusehen.

Im folgenden Unterabschnitt wird daher der Umlage der BGK auf Einzelkosten im Bauvertrag näher beleuchtet.

3.5.6 Die Umlage von zeitgebundenen und nicht zeitgebundenen Baustellengemeinkosten nach ÖNORM

Sieht der Bauvertrag keine eigenen Positionen für die BGK vor, so sind die Kostenbestandteile auf leistungsabhängige Positionen umzulegen. In der Angebotskalkulation muss der Kalkulant ein Verfahren wählen, um die BGK auf Einzelkosten im Leistungsverzeichnis umzulegen.¹⁴¹

Der Vorgang der Umlage sieht vereinfacht dargestellt aus wie folgt, zunächst werden die Kosten nach dem Kostenverursachungsprinzip ermittelt. Im darauffolgenden Schritt erfolgt die Umlage mithilfe eines Schlüssels (z. B. Zuschlagssatz).¹⁴¹ Als weitere Methode der sachlich (keine Positionen im LV vorhanden) und wirtschaftlich (abhängig von der Art der Kostenverrechnung des jeweiligen Unternehmens) gerechtfertigten Umlage eignen sich die K-Blätter (K-2- und K-3 Blatt).¹⁴² Die Gemeinkosten sind hierfür im K2-Blatt den projektspezifischen Kosten zu addieren. Im K3-Blatt sind für die Umlage der Gemeinkosten eigene Zeilen in der *Kostenumlage* vorgesehen.¹⁴³ Eine weitere Beurteilung der Umlage von Einmalkosten und zeitgebundenen Kosten zeigt Oberndorfer und Haring [31] in seiner fachspezifischen Literatur auf, die in den folgenden Unterabschnitt erläutert wird.

Das Verhalten der nicht zeitgebundenen BGK nach Umlage

Die Berücksichtigung der nicht zeitgebundenen BGK auf leistungsabhängige Positionen ist eine Frage der Kostendeckung. Eine vollständige Vergütung der BGK ist nur möglich, wenn die vertraglich festgelegten Vordersatzmengen in ihrer tatsächlichen Höhe abgegolten werden. Im Falle einer Mengenerhöhung oder -minderung (z.B. Anpassung des Bauablaufs) ist die Vergütung der BGK in ihrer kalkulierten Höhe nicht möglich. Bei dieser liegt eine Unterdeckung der einmaligen Kosten vor, siehe Abb 3.14. Der Einheitspreis im Leistungsverzeichnis ist vertraglich festgelegt. Tritt in der Ausführung eine geringere Vordersatzmenge (X) als ursprünglich kalkuliert auf, entgeht dem Unternehmen ein Erlös. Infolgedessen wird bei einer Mengenerhöhung (X') ein höherer Erlös erwirtschaftet. Das Unternehmen erzielt somit einen Gewinn.¹⁴⁴

¹⁴¹Vgl. [21] Kropik, S. 68

¹⁴²Vgl. [19] Kropik, S. 606

¹⁴³Vgl. [23] Kropik und Oswald, S. 86 f.

¹⁴⁴Vgl. [31] Oberndorfer und Haring, S. 18 ff.

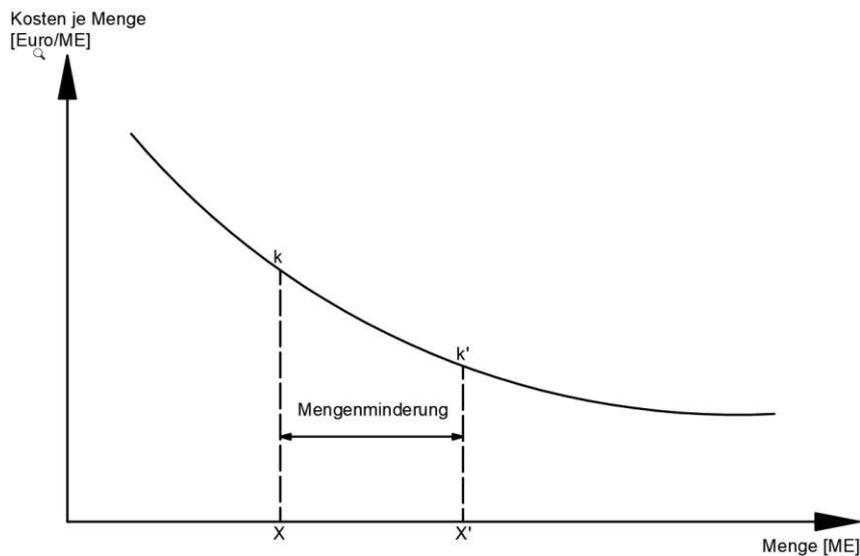


Abb. 3.14: Darstellung der Umlage von einmaligen Kosten (Quelle: modifiziert nach Oberndorfer und Haring [31, S. 22])

Das Verhalten der zeitgebundenen BGK nach Umlage

Entspricht der kalkulierte und tatsächliche Ressourceneinsatz und die vorgegebene Bauzeit der Ausführungszeit, dann werden die zeitgebundenen BGK in ihrer kalkulierten Höhe abgegolten. Wenn sich aber die kalkulierte Menge und der Zeitraum ändern und eine Anpassung des Bauablaufs eintritt, gestaltet sich die Umlage der zeitgebundenen BGK auf Kostenträger komplex. Als maßgebende Größe charakterisiert Oberndorfer und Haring [31] die Leistungsintensität. Unter dieser wird die Bauleistung pro Zeiteinheit (Tage, Wochen oder Monate) verstanden. Die Einteilung der Leistungsintensität erfolgt in drei Fälle:¹⁴⁴

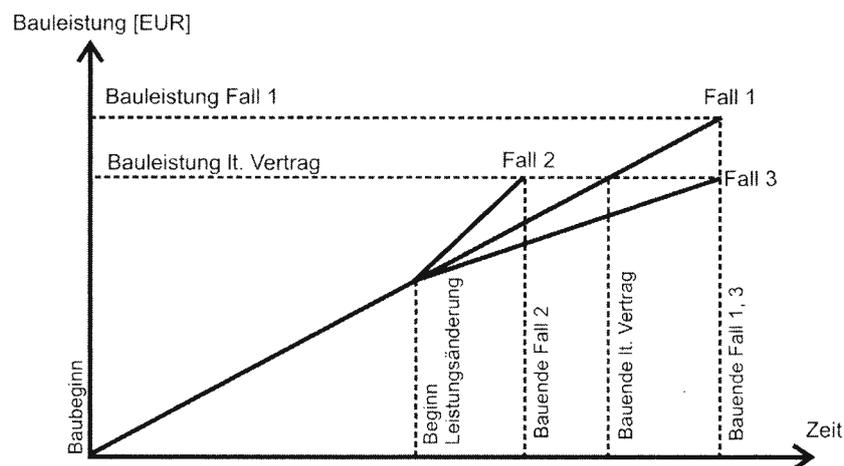


Abb. 3.15: Umlage von zeitgebundenen Kosten (Quelle: Oberndorfer und Haring [31, S. 22])

- **Fall 1:** Die Leistungsintensität bleibt über die Bauzeit unverändert. Dieser Umstand sorgt für einen proportionalen Anstieg der Bauleistung mit einer Bauzeitverlängerung. Der kalkulierte Ressourceneinsatz und die Erhöhung der produzierten Mengen verhalten sich

deckungsgleich. Die gleichmäßige Zunahme der Bauleistung führt zu einer kostenneutralen Umlage der zeitgebundenen BGK.

- **Fall 2:** Bei konstanter Bauleistung wird die Leistungsintensität gesteigert. Trotz verringerter Bauzeit werden die Kapazitäten besser ausgenutzt. Die Umlage der zeitgebundenen BGK korreliert gewöhnlich mit einer Gewinnmaximierung in einem Unternehmen.
- **Fall 3:** Bei konstanter Bauleistung wird die Leistungsintensität reduziert und bei einer verminderten Ausnutzung der Kapazitäten erhöht sich die Bauzeit. Der Ressourceneinsatz passt sich nicht proportional den veränderten Bedingungen an. Die Umlage der zeitabhängigen Kosten verursacht daher eine Gewinnminderung des Unternehmens.

Aus den soeben beschriebenen Fällen zeigt sich, welche gravierenden Auswirkungen die Umlage der zeitgebundenen BGK auf die Vergütung eines Bauvorhabens haben kann. Im folgenden Kapitel 4 wird die Umlage der BGK und der ZGA anhand eines praktischen Projekts näher erläutert.

3.6 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurden nach allgemeinen Ausführungen zur Kalkulation im Tunnelbau zunächst die einzelnen Kalkulationsphasen dargestellt und in weiterer Folge grundlegende Begriffe wie fixe und variable Kosten geklärt. Diese wurden darüber hinaus im Verhältnis zu Bezugsgrößen gesetzt, um das Kostenverhalten bei veränderter Größe aufzuzeigen. Unter einer Kalkulation wird die Ermittlung der Kosten zur Erstellung einer Bauleistung bzw. eines Werks verstanden. Dem Leser soll dadurch verdeutlicht werden, wie die Kosten bzw. der Angebotspreis in Entsprechung der ÖNORM-Modelle kalkuliert werden, wobei die Zuordnung der Kosten ein maßgeblicher Faktor ist. Dies wird anhand der *ÖNORM B 2061* [35] und tunnelbauspezifischer Normenwerke ausführlich dargestellt. Eine wesentliche Rolle spielen in diesem Zusammenhang die zeitgebundenen BGK. Im gegenständlichen Kapitel wurde weiters aufgezeigt, welche Möglichkeiten österreichische Normenwerke bieten, um diese verursachungsgerecht in einem LV zu berücksichtigen. Um die kalkulatorische Besonderheit dieser Kosten zusätzlich zu verdeutlichen, werden die zeitgebundenen BGK um zusätzliche Kostenbestandteile (Lohn- und Energiekosten) erweitert. Diese weisen im Tunnelbau über die Bauzeit einen zeitabhängigen Kostencharakter auf. In weiterer Folge wird nunmehr im nächsten Kapitel untersucht, welche Auswirkungen der divergente Umlageträger auf die Umlage von zeitgebundenen BGK hat.



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

Kapitel 4

Entwicklung von Umlagemodellen für den zyklischen Vortrieb

Im Tunnelbau besteht ein wesentliches Kalkulationsrisiko in der Umlage von zeitgebundenen BGK in der Angebotskalkulation. Am Beispiel eines Projekts aus Schweden soll exemplarisch der Umgang mit zeitgebundenen BGK aufgezeigt werden. Um Aussagen für den Umgang mit zeitgebundenen BGK treffen zu können, wird das Leistungsverzeichnis des gegenständlichen Projekts auf die wesentlichen Tätigkeiten Ausbruch, Sicherung und Injektion reduziert. Die am kritischen Weg liegenden Leistungsteile, aus denen sich grundsätzlich ein Leistungsverzeichnis im Tunnelbau zusammensetzt, beeinflussen die Bauzeit und damit auch den Ressourceneinsatz von Personal und Gerät maßgeblich. Der zeitabhängige Ressourceneinsatz wird stellvertretend in monetärer Form durch die ZGA ausgedrückt. Die ZGA bilden mit 55%, bezogen auf die Angebotssumme, einen wesentlichen Kostenfaktor des gegenständlichen Projekts. Bei nicht hinreichender Berücksichtigung in der Angebotsphase ist eine Fehlvergütung in der Ausführung die Folge. Auf Basis des reduzierten LVs werden Umlagemodelle für zeitabhängige Kostenbestandteile, die typisch für den Tunnelbau sind, entwickelt.

Am Beginn des Kapitels steht die Projektbeschreibung. Dem Leser werden die technischen und geologischen Informationen des gegenständlichen Projekts nähergebracht. Weiters wird der schwedische Bauvertrag im Hinblick seine Vertragsbestandteile detailliert untersucht. Um einen Bezug zu Österreich herzustellen, findet eine Gegenüberstellung mit Fokus auf die vertraglichen Besonderheiten der beiden Vertragsmodelle statt. Auf Grundlage dieser Gegenüberstellung werden sechs Umlagemodelle entwickelt. Diese Modelle berücksichtigen die ZGA mengenabhängig, gesamtheitlich und zeitabhängig im LV. Den Abschluss des Kapitels bilden die monetäre Gegenüberstellung der entwickelten Umlagen und eine Zusammenfassung.

Anhand des schwedischen Projekts werden grundsätzliche Risiken, die mit der Umlage von zeitgebundenen BGK im Zusammenhang stehen, aufgezeigt. Aus diesem Grund ist eine Analyse von großer Bedeutung, um Kalkulationsrisiken frühzeitig in der Angebotsphase abschätzen zu können.

4.1 Allgemeine Projektbeschreibung

Das in Schweden situierte Projekt ist ein Teilabschnitt einer der größten im Bau befindlichen Straßentunnel der Welt. Die parallel geführten Tunnelröhren mit einer Länge von jeweils 18 km nehmen den größten Teil des Infrastrukturprojekts ein.¹⁴⁵ Der zunehmende Verkehr auf der gegenwärtigen Hauptverkehrsstraße mit bis zu 140.000 Fahrzeuge pro Tag bis 2035 sorgt für die Verlagerung der Hauptverkehrsader, dargestellt in Abb. 4.1, vom Zentrum der Stadt an die Peripherie.¹⁴⁶ Der zukünftige Verkehr wird auf insgesamt sechs Fahrspuren in zwei Tunnelröhren

¹⁴⁵Vgl. [44] Trafikverket, S. 2

¹⁴⁶Vgl. [44] Trafikverket, S. 15

abgefertigt. Eine Besonderheit des Projekts ist, dass der Tunnel unterhalb von Siedlungsgebieten und Gewässern mit einer Überdeckung von maximal 60 m geführt wird.

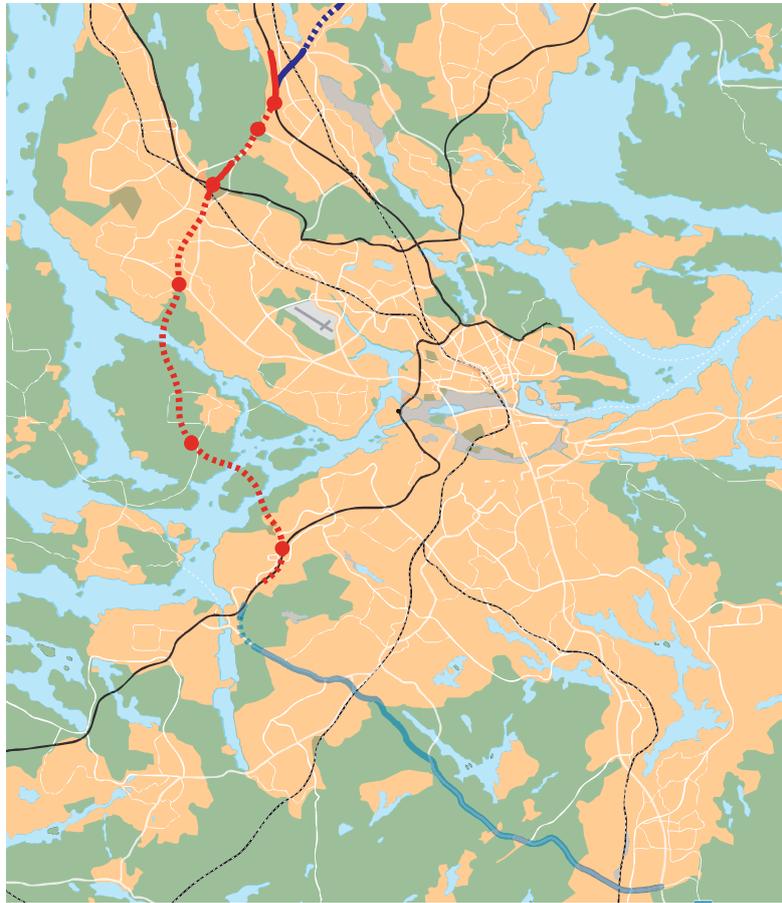


Abb. 4.1: Streckenführung Tunnelbauprojekt (Quelle: Trafikverket [44, S. 3])

Weiteres entstehen bei der Herstellung des Infrastrukturprojekts bis zu 19 Millionen Tonnen Gestein. Die Gesteinsmassen müssen abtransportiert, gelagert und entsorgt werden. Um einer zusätzlichen Belastung der bestehenden Infrastruktur entgegenzuwirken, wird der Transport des Gesteinsmaterials von der Straße auf Schifffahrtsrouten umgelagert. Die Zwischenlagerung findet dabei auf temporär angelegten Deponien entlang des Seeweges statt.¹⁴⁷

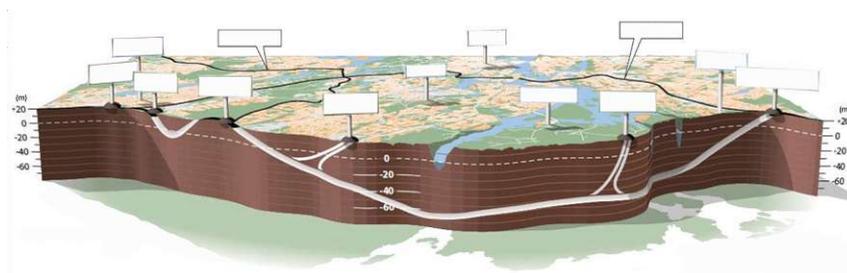


Abb. 4.2: Übersichtsplan des Straßentunnels (Quelle: Trafikverket [44, S. 4])

¹⁴⁷Vgl. [44] Trafikverket, S. 4

4.2 Geologische Beschreibung

Im Zuge der zyklischen Vortriebsarbeiten ist aus geologischer Sicht mit Kristallingestein aus dem Zeitalter des Präkambriums, das zum baltischen Schild Skandinaviens zählt, zu rechnen. Das Projektgebiet ist gekennzeichnet durch druckfeste Gesteine wie Gneis, Granit und Gangstein, die über Milliarden von Jahren durch physikalische und chemische Einflüsse sowie durch die Tektonik metamorph und magmatisch abgewandelt wurden. Vor allem der skandinavische Gneis ist durch eine hohe Gesteinsfestigkeit von mehr als 300 MPa bestimmt. Dies gilt als Belastungsprobe für Mensch und Maschine. Weiters sind die Gesteinsarten neben der Druckfestigkeit durch eine hohe Abrasivität gekennzeichnet.¹⁴⁸ Die Tektonik trägt wesentlich zur Entstehungsgeschichte des Gebirges bei. Diese spielte sich viele Kilometer unter der Erdoberfläche vor Millionen von Jahren ab. Die damit im Zusammenhang stehenden Hebungen und Senkungen sorgten im Zeitalter der Eiszeit für eine Überdeckung des Projektgebiets mit Gletschermassen von bis zu 2,50 km Höhe bzw. Mächtigkeit. Die Überlagerungen des Gebirges in Form von nacheiszeitlichen Lockergesteinen sind für den Tunnelvortrieb nicht von Bedeutung, da sie im Zuge des zyklischen Vortriebs nicht direkt anzutreffen sind. Eine Rolle spielen jedoch indirekt die durch das Lockergestein ausgebildeten Grundwasserstockwerke. Ein Grundwasseraustausch kann dadurch aufgrund der im Gebirge und im Lockergestein befindlichen Störzonen und Trennflächen nicht vollständig vermieden werden.¹⁴⁸

4.3 Technische Beschreibung

Der in Auftrag gegebene Tunnelabschnitt besteht aus zwei parallel geführten Tunnelröhren mit einer Länge von jeweils 1,20 km. Als Vortriebsart wird der zyklische Vortrieb zum Vollausschub des Gesteinsmassivs gewählt. Bereits vor Projektbeginn wird ein Zugangstunnel im zyklischen Vortrieb hergestellt, um die Vortriebsarbeiten aufzufahren. Auf der Vortriebsstrecke variieren die Ausbruchflächen der Tunnelröhren zwischen 120 m² und 265 m². Besonders hervorzuheben ist, dass die Tunnelröhren ein Gebiet mit Grundwasservorkommen durchörterten. Durch den Einsatz von Injektionsschirmen wird der Wasserzufluss im Vortriebsbereich minimiert, um die beiden Röhren langfristig trocken zu halten.¹⁴⁹ Die Vortriebsarbeiten bilden das Kernstück der gegenständlichen Arbeit. Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass das ausführende Unternehmen überdies den Ausbau des Rohbaus durchführt.

In der Phase der Angebotslegung wird vom ausführenden Unternehmen ein Bauzeitenplan entwickelt, der den Bauablauf und darüber hinaus die Vortriebsleistung darstellt. Die Leistung setzt sich unter anderem aus den Arbeitsschritten des zyklischen Vortriebs zusammen, die im Kapitel 2.3 detailliert beschrieben werden. Ein vereinfachter Bauzeitenplan des gegenständlichen Projektes ist in Abb. 4.3 illustriert.

Das gegenständliche Projekt wird mit der Einrichtung der Baustelle vom Baumonats 0 bis 3 gestartet. Nach Abschluss der Baustelleneinrichtung starten die Vortriebsarbeiten zeitversetzt in den beiden Röhren, dies über den Zugangstunnel von Baumonats 3 bis 17. Der fertiggestellte Rohbau erstreckt sich über eine Länge von 2,50 km. Bereits während der Vortriebsarbeiten wird simultan ab Baumonats 10 mit den Innenausbauarbeiten begonnen. Die Arbeiten setzen sich aus der Herstellung der Innenschale, den Erdarbeiten und Installationsarbeiten zusammen, die mit Baumonats 30 abgeschlossen sind.¹⁵⁰ Die Baustellenräumung findet von Baumonats 30 bis 33 statt. Eine gesamtheitliche Darstellung der Bauphasen ist in Tab. 4.1 dargestellt.

¹⁴⁸Vgl. [10] Gasser und Haidenthaller, S. 698 ff.

¹⁴⁹Vgl. [10] Gasser und Haidenthaller, S. 697 ff.

¹⁵⁰Vgl. [44] Trafikverket, S. 703 f.

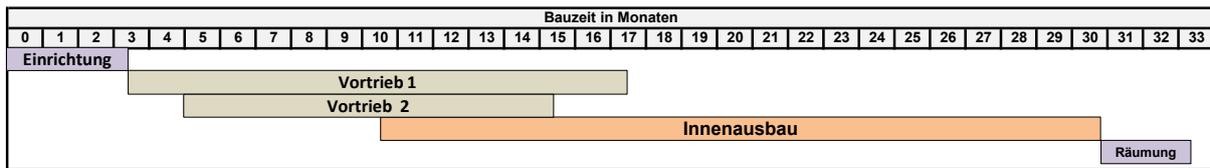


Abb. 4.3: Bauzeitenplan

Tab. 4.1: Bauphasen

Bauphase	Baumonat
Baustelleneinrichtung	0 – 3
Vortrieb	3 – 17
Innenausbau	11 – 30
Baustellenräumung	30 – 33
Gesamte Bauzeit	0 – 33

4.4 Vertragliche Beschreibung

Der Bauvertrag in Schweden stellt einen Werkvertrag dar, der den allgemein gültigen Regeln von Angebot und Nachfrage entspricht. Regelungen werden anhand des Standardvertrags *Allgemeine Bestimmungen für Bau-, Anlagen- und Installationsarbeiten* in der *AB 04* [1] definiert. Darüber hinaus bezieht man sich für eine einheitliche Struktur bei der Erstellung eines Leistungsverzeichnisses auf die Standardleistungsbeschreibung *AMA 17* [2].¹⁵¹

Im folgenden Abschnitt soll ein grundlegendes Verständnis für die vertraglichen Besonderheiten im Umgang mit der *AB 04* [1] und *AMA 17* [2] geschärft werden. In diesem Zusammenhang ist festzuhalten, dass das schwedische Vertragsmodell über keine eigenen tunnelbauspezifischen Vertragsbestandteile verfügt. Stattdessen wird zum Teil auf Regelungen zurückgegriffen, die allgemeingültig für die Erstellung eines Werkes sind.

4.4.1 Standardvertrag – AB 04

Der vom Bauvertragskomitee entwickelte Standardvertrag *AB 04* gilt gleichermaßen für Bauherren, Architekten, Ingenieure und ausführende Unternehmen.¹⁵¹ Es werden die allgemeinen Bestimmungen für einen Bauvertrag und die vertraglichen Vorschriften behandelt. Sinn und Zweck des Standardvertrags ist, dass sich die Rechte und Pflichten des Auftraggebers und des Auftragnehmers die Waage halten. Da Verträge im Bauwesen generell komplexe Vertragswerk darstellen, weist die *AB 04* explizit darauf hin, dass ein ständiger Dialog zwischen den beiden Vertragspartnern gesucht werden soll, um ein optimales Ergebnis bei der Werkserstellung zu erzielen. Daher ist eine mannigfaltige Kommunikation und Zusammenarbeit in der Ausübung eines Bauvertrags unerlässlich.¹⁵² Der Standardvertrag setzt sich aus zehn Kapiteln zusammen, die wie folgt beschrieben werden:¹⁵³

Kapitel 1 definiert die wesentlichen Bestandteile eines Bauvertrags. Treten Unstimmigkeiten zwischen den festgelegten Vertragsbestandteilen auf, so verweist die *AB 04* auf die dargestellte Rangfolge:¹⁵³

¹⁵¹Vgl. [12] Germany Trade&Invest

¹⁵²Vgl. AB 04: 2004 1 ff.

¹⁵³Vgl. AB 04: 2004 7 ff.

- 1: Der Vertrag
- 2: Anpassung der AB 04, laut Gesetzesänderungen
- 3: AB 04
- 4: Angebot(e)
- 5: Ausschreibung(en)
- 6: Abrechnungsbestimmungen
- 7: Leistungsverzeichnis(se)
- 8: Nachsendung(en)
- 9: Verwaltungsvorschriften, Gesetzesänderungen
- 10: Einzurechnende Bauleistungen, die Inhalt der Baubeschreibung, aber nicht Gegenstand des Leistungsverzeichnisses sind
- 11: Spezifikationen
- 12: Pläne
- 13: andere Unterlagen

Kapitel 2 legt die vertragliche Abwicklung des Bauvorhabens anhand der Ausschreibungsunterlagen fest. Zusätzlich werden Maßnahmen für Qualität und Umwelt definiert, die in einem abschließenden Qualitäts- und Umweltplan dokumentiert werden. Weiters wird auf die Rechte und Pflichten in der Ausführungsphase hingewiesen. Im anschließenden *Kapitel 3* wird die Organisation auf der Baustelle definiert. Jeder Projektbeteiligte ernennt einen Vertreter. Der Fokus des *Kapitels 4* liegt auf der Vertragslaufzeit. Die Ausführung eines Werks wird zeitlich über einen Bauzeitenplan festgelegt. Dieser stellt einen Vertragsbestandteil dar. Darüber hinaus wird auf einen Leitfaden im Umgang mit Leistungsabweichungen aufgrund von Witterung, Epidemie oder Krieg etc. verwiesen. Bestimmungen für Haftung, Garantien und Entschädigungen werden im *Kapitel 5* charakterisiert. *Kapitel 6* beschäftigt sich mit der Vergütung und Abrechnung eines Bauvorhabens. Im *Kapitel 7* werden Bestimmungen für die laufende Prüfung während der Projektabwicklung und der abschließenden Abnahme des Werks festgelegt. *Kapitel 8* zeigt die Bedingungen für eine Vertragsauflösung auf. Im *Kapitel 9* wird ein Leitfaden im Falle einer Streitschlichtung angeführt. Den Abschluss bildet *Kapitel 10*, das die außerordentliche Streitschlichtung behandelt.¹⁵³

Vertragsgestaltung nach AB 04

Neben den Inhalten eines Bauvertrags definiert die *AB 04* in ihren allgemeinen Bestimmungen die Bedingungen für Leistungs- und Aufwandsverträge. Unter den Leistungsvertrag wird der Einheitspreis- und der Pauschalpreisvertrag verstanden. Der Aufwandsvertrag entspricht einem Regiepreisvertrag. Die Unterscheidung der Vertragstypen findet nach der Art des Entgelts statt. Der Einheitspreisvertrag wird anhand der Bauleistung im LV beschrieben. Das LV kann als Katalog der Leistungen zur Erstellung des Werks verstanden werden. Diese wird in Leistungspositionen charakterisiert. Eine Position setzt sich aus deren Vordersatz (Einheit z.B. m, m², m³, to, Stk etc.) und dem Einheitspreis zusammen. Das Produkt aus der ausgeschriebenen Menge und dem kalkulierten Einheitspreis ergibt den Positionspreis. Das Entgelt setzt sich aus der Summe

der Positionspreise zusammen, dabei spricht man vom vertraglichen Entgelt. Das tatsächliche Entgelt kann aufgrund der tatsächlichen Vordersatzmenge vom vertraglichen Entgelt abweichen.

Im Gegensatz dazu wird beim Pauschalvertrag die vollständige Bauleistung durch ein pauschaliertes Entgelt beschrieben. Die Vergütung erfolgt nach einer oder mehreren Pauschalen. Das vertragliche und das tatsächliche Entgelt unterscheidet sich nicht, da der Pauschalpreis einen Festpreis darstellt. Den Leistungsverträgen steht der Aufwandsvertrag gegenüber was in Österreich einen Regiepreisvertrag gleichzusetzen ist. Die Vergütung erfolgt nach dem tatsächlichen Aufwand in Stunden. In Schweden wird der Regiepreisvertrag als *A Prislista Liste* bezeichnet.^{154,152}

Die *AB 04* gibt Auskunft über die wesentlichen Vertragsbestandteile eines Bauvertrags. Aufklärung, welches Verfahren bei der Vergabe eines Werkes anzuwenden ist, wird in Schweden wiederum im Gesetz *2016:1145* für öffentliches Beschaffungswesen festgelegt. Im Wesentlichen erfolgt dies nach dem Billigstbieter- und Bestbieterprinzip. Das gegenständliche Projekt wird nach dem Prinzip des Billigstbieters vergeben, daher liegt der Fokus auf diesem Vergabeverfahren.

Vereinfacht dargestellt stellt der Preis das maßgebende Zuschlagskriterium dar. Um eine Vergleichbarkeit zwischen den Angeboten der Unternehmen sicherzustellen, müssen Standards definiert werden. Das im folgenden Unterabschnitt beschriebene Standardleistungsbuch *AMA 17* [2] stellt einen derartigen Standard dar.

4.4.2 Standardleistungsbeschreibung – AMA Anläggning 17

Die von der AB Svensk Byggtjänst entwickelte *AMA 17* [2] ist ein Standardwerk. Dieses nimmt Bezug auf Normen, Gesetze und Produktspezifikationen. Es dient unter anderem als Grundlage zur Erstellung einer Ausschreibung für die Tätigkeiten Hochbau, Tiefbau und Installationsarbeiten. Der Zweck dieser ist, den ausführende Unternehmen die Möglichkeit zu geben Angebote einzureichen und sich an Vergabeverfahren zu beteiligen.¹⁵⁵

Charakteristika der AMA Anläggning 17

Die Beschreibung der Bauleistung erfolgt nach einer hierarchischen Struktur anhand eines neunstelligen Buchstaben- und Zahlencodes in den LG, ULG, GP und den Positionen. In Tab. 4.2 sind die übergeordneten Leistungsgruppen überblicksmäßig dargestellt. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Auflistung nicht die vollständige Beschreibung aller Tätigkeiten zur Herstellung eines Werks darstellt. Der Fokus liegt vor allem auf den herzustellenden Bauleistungen des gegenständlichen Projekts, die mittels einer beispielhaften Position **E.BF.3142.01** abgerundet werden:¹⁵⁶

- **E:** Sicherung
- **E.BF:** Spritzbetonarbeiten
- **E.BF.3142:** Faserverstärkter Spritzbeton
- **E.BF.3142.01:** Faserverstärkter Spritzbeton mit einer Dicke von 5 cm

Wie bereits am Beginn des Abschnitts ausgeführt, ist kein einheitliches Normenwerk für den zyklischen Vortrieb in Schweden vorgesehen. Da die *AB 04* als Standardwerk nur die allgemeinen Bestimmungen des Bauwesens regelt und tunnelbauspezifischen Vertragsbestandteile lediglich in der *AMA 17* enthalten sind, wird der Fokus auf diese gelegt. Für die Ausschreibung von Untertagebauwerken wird insbesondere auf die ULG CB *Excavation* der LG C verwiesen. Da der

¹⁵⁴Vgl. [27] Marcus und Anders, S. 542 f.

¹⁵⁵Vgl. AMA 17: 2019 Vorwort

¹⁵⁶Vgl. AMA 17: 2019 18 ff.

Tab. 4.2: Leistungsgruppen nach *AMA 17* (Quelle: *AMA 17*: 2019 [2, 9 ff.]

Leistungsgruppen	Allgemeine Beschreibung	Tätigkeiten
B	Vorarbeiten, Hilfsarbeiten, Dekontaminationsarbeiten, Demontage, Abbruch, Rodung	Temporäre Wasseraufbereitungsanlagen, Trennwand nach Tunneldurchschlag, Wassermengenmessung, Probeentnahme und Kontrolle von Wasser, Abbrucharbeiten, etc.
C	Tunnelbauarbeiten	Transport von Bergmassen, Felsaushub für den Haupttunnel, Tunnel für Fluchtwege zwischen Haupttunnel, Sicherungsarbeiten (Gebirgsverankerungen, Injektionsarbeiten, Wasserhaltungsmaßnahmen, etc.)
D	Installationserweiterungen	Innenausbau (z.B. Geotextil), Vorarbeiten Straßenbau, Markierungen für Straßenbau etc.
E	Sicherung	Stahlfaserspritzbeton, Betonierarbeiten für temporäres Messbecken etc.
P	Leitungsbau	Verlegung von Rohrsystem, Pipeline, etc.
Y	Kontrolle und Dokumentation	Deformationskontrolle
Z	Abdichtungsarbeiten	Material und technische Spezifikationen

Untergrund den Kern der Disziplin des Bauingenieurwesens darstellt, findet eine Einteilung nach geologischen Gesichtspunkten statt. Anhand dieser Gesichtspunkte ist eine Klassifizierung nach Vortriebsklassen möglich.

Untergrundklassifizierung

Für die Bestimmung des Untergrunds wird der Baugrund nach *AMA 17* [2] in Materialtypen 1 bis 7 eingeteilt, siehe Tab. 4.3. Auf Basis dieser entwickelten Typen erfolgt die geologische Einteilung des Untergrundes.¹⁵⁷ Neben den Materialtypen findet eine Kategorisierung des Untergrunds in Klassen statt, die in Österreich mit den Vortriebsklassen gleichzusetzen sind. Diese setzen sich aus fünf Ausbruch- (I bis IV und Sonderklasse) und Spannklassen (Breite eines Tunnels) zusammen. Weiteres enthalten die Klassen Informationen über notwendige Sicherungs- und Sondierungsmaßnahmen und falls erforderlich auch über Injektionsarbeiten. Diese werden nach technischen und geologischen Spezifikationen bestimmt.¹⁵⁸ Dadurch kann einer Vortriebsklasse die Abschlagslänge und der notwendige Bedarf an Sicherungsmittel seitens des Ausschreibenden zugewiesen werden. Mithilfe dieser Angaben kalkuliert das ausführende Unternehmen die Vortriebsleistung je Tunnelmeter, mit der in weiterer Folge die Vortriebsdauer bestimmt werden kann.

Schwedisches Vergütungsmodell

Der durch die Geologie beschriebene Tunnel wird in Abschnitte mittels Kilometrierung (Kilometer von bis) unterteilt. Eine tunnelbauspezifische Besonderheit ist, dass sich diese nicht jeweils aus

¹⁵⁷Vgl. *AMA 17*: 201978

¹⁵⁸Vgl. *AMA 17*: 2019 134 ff.

Tab. 4.3: Materialtypen nach *AMA 17* (Quelle: *AMA 17*: 2019 [2, S. 80])

Materialtyp	Bezeichnung	Beispiel
1	Rock Typ 1	Mica-poor granite or gneiss and other hard and durable rock types such as quartzite, diabase, porphyry an leptite
	Rock Typ 2	Mica-rich granite or gneiss and other rock types with moderate durability and poor wear resistance, e.g. homogeneous lime-stone
2	boulder and stony soiltypes, Coarse grained soils	Boulders, cobbles, gravel, sand, sandy gravel, gravelly sand, gravel till, sand till
3A	Rock Typ 3	Rock types with a high mica content, clay shale, chalk, weathered rock and non-classified rock material
3B	Mixed grain soil	Clayed or silty sand, clayey or silty gravel, clayed or silty sandtill, clayey or silty graveltill, clayey or silty till
4B	Fine-grained soil	Clay, claytill
5B	Fine-grained soil	Silt, clayey silt, silty clay, silt till, silty claytill
6A	organic, mineral soil	Clayey gyttja, silty dy, sandy humus
6B	Organic soil	Gyttja, dy, Peat, Humus
7	Residual product, Reclaimed material, light weight material	Slag products, borken apshalt, crushed concrete, expanded clay

einer Klasse der Untergrundklassifizierung zusammensetzen, sondern aus einer Reihe von Klassen. Dadurch errechnet sich im Endeffekt eine durchschnittliche Vortriebsleistung je Abschnitt. Abweichungen, die sich zwischen den prognostizierten und den tatsächlichen Untergrundverhältnissen im Zuge der Ausführung auftun, werden somit nicht berücksichtigt.

Als Vergütungsgrundlage dient grundsätzlich der Vertrag zwischen zwei Vertragspartnern. Daher wird im folgenden Abschnitt der Bauvertrag des gegenständlichen Projektes näher dargestellt, wobei dieser exemplarisch für Bauverträge im Tunnelbau in Schweden herangezogen werden kann.

4.5 Bauvertrag und notwendige Umlage von BGK

Der Bauvertrag setzt sich grundlegend aus den im Kapitel 4.4.1 beschriebenen Vertragstypen zusammen. Einerseits aus zwei Einheitspreisverträgen (EHP-V), andererseits aus einem Regiepreisvertrag (RP-V), dargestellt in Abb. 4.4. Die EHP-V werden unterteilt in *Bergtunnel* und *Byggnadsverk*. Im Vertrag *Bergtunnel* findet eine Beschreibung der Ausbruch-, Sicherungs- und Injektionsarbeiten sowie der sonstigen Arbeiten statt. Diese werden in der Tab. 4.2 detailliert beschrieben. Der zweite EHP-V *Byggnadsverk* beinhaltet die Bauleistung für den Innenausbau. Im Gegensatz zum EHP-V *Bergtunnel*, der sich aus einer Vielzahl von Vordersätzen mit unterschiedlichen Einheiten (z.B. m, m², m³ etc.) und Einheitspreisen zusammensetzt, wird die

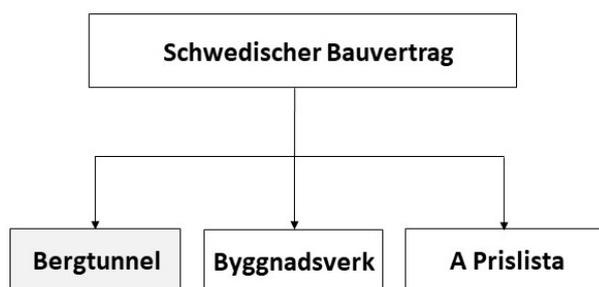


Abb. 4.4: Schwedischer Bauvertrag

Bauleistung beim Vertrag *Byggnadsverk* über einen Festpreis (1 [Pa]) abgegolten. Das Entgelt der A-Prislista wird nach tatsächlichem Aufwand (Stunden) vergütet.

Der Umgang mit den zeitgebundenen BGK bzw. ZGA wird anhand des EHP-V *Bergtunnel* beschrieben, da dieser die Kostenbestandteile beinhaltet und darüber hinaus aufzeigt, wie mit den Kosten exemplarisch in Schweden umzugehen ist.

4.6 Die Umlage von zeitgebundenen Baustellengemeinkosten

Prinzipiell setzt sich ein Tunnelbauprojekt aus den Leistungsteilen Ausbruchs-, Sicherungs- und Injektionsarbeiten und den sonstigen Arbeiten zusammen. Diese stellen im schwedischen Bauvertrag einen möglichen Umlageträger für die BGK dar. Ergänzend können als Instrument der Umlage auch der Mittelohn und der Gesamtzuschlag herangezogen werden.

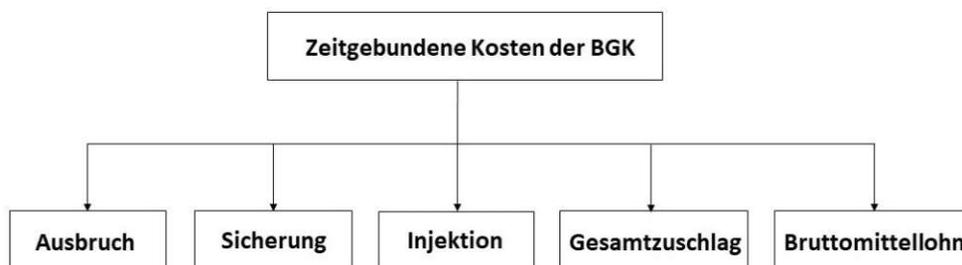


Abb. 4.5: Schwedischer Bauvertrag – Umlage von zeitabhängigen Kosten

In Abb. 4.5 ist eine Beschreibung der möglichen Leistungsteile als Umlageträger dargestellt. Tunnelbauprojekte weisen generell eine besondere Gemeinsamkeit auf, nämlich die starke Abhängigkeit von der Vortriebszeit. Dies unterscheidet den Tunnelbau maßgeblich von anderen Tätigkeiten im Bauwesen. In diesem Zusammenhang ist besonders auf Leistungsteile zu achten, die am kritischen Weg liegen.

Die Vortriebsmethode zeichnet sich vor allem durch eine serielle Arbeitsweise aus. Aus diesem Grund besteht zwischen den auszuführenden Tätigkeiten eine Beziehung. Dies sorgt dafür, dass eine zeitliche Verzögerung eines Arbeitsschrittes eine Verlängerung der nachfolgenden Tätigkeiten nach sich ziehen kann. Im Extremfall ist eine Bauzeitverlängerung die Folge, welche maßgeblich die monetäre Höhe der zeitgebundenen BGK beeinflusst. Es ist daher nachvollziehbar, welche Konsequenzen die Umlage der BGK auf Umlageträger haben kann.

Die LV-Struktur eines schwedischen Bauvertrags sorgt dafür, dass der Bieter in der Angebotskalkulation die zeitgebundenen BGK auf Leistungsteile zu verteilen hat. Die Umlage erfolgt unter der Prämisse, dass jener Umlageträger in der Angebotsbearbeitung ermittelt wird, der

das geringste Risiko einer Mengenerhöhung bzw. Mengensenkung darstellt. Eine ausführliche Erläuterung der Risiken, bestimmt durch ein entworfenes Spektrum seitens des Autors, findet im Kapitel 5.3 statt. Die Leistungsteile lassen sich wie folgt beschreiben, der Leistungsteil Ausbruch ist annähernd pauschal zu sehen, aufgrund einer nahezu unveränderlichen Tunnellänge. Die Sicherung weist einen ähnlichen Vordersatzcharakter auf. Der Stützmittelbedarf orientiert sich an der einzubauenden Mindestsicherung. Einen risikoreicheren Umlageträger stellt der Leistungsteil Injektion dar, dieser weist oftmals wesentliche Abweichungen in der Ausführungsphase auf.

Weitere Möglichkeit der Umlage stellen der Mittellohn und der Gesamtzuschlag als Umlageträger dar. Im zyklischen Vortrieb ist neben einem intensiven Geräteinsatz der manuelle Arbeitseinsatz durch produktives Personal unerlässlich. Als Umlageträger ist dieser im Bauwesen weitverbreitet, da der Mittellohn im direkten Zusammenhang mit der Leistungserstellung steht. Die Berücksichtigung der BGK im Gesamtzuschlag entspricht dem Prinzip einer *Gießkanne*, da die Kosten auf alle Einzelkosten in den LV-Positionen verteilt werden. Eine ausführliche Auseinandersetzung erfolgt im Kapitel 4.8.

4.7 Gegenüberstellung des österreichischen und des schwedischen Vertragsmodells

Die aus der wissenschaftlichen Literatur und den Normenwerken gewonnenen Erkenntnisse finden ihre Anwendung im folgenden Kapitel. Das Ziel ist eine Gegenüberstellung ausgewählter vertraglicher Charakteristika von Österreich und Schweden. Diese sind im Überblick in Tab. 4.4. Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass die Vergabe keine wesentlichen Unterschiede aufweist. Die Projektvergabe erfolgt sowohl in Österreich, als auch in Schweden, nach definierten Zuschlagskriterien, das heißt (d.h.) nach dem Billigst- oder Bestbieterprinzip. Die Ausschreibung unterscheidet sich in den beiden Ländern nicht. Die Beschreibung der Leistungen erfolgt entweder konstruktiv oder funktional und enthält darüber hinaus geologische und technische Informationen über das zu erstellende Werk. Weiters finden in Schweden die gängigen Leistungs- und Aufwandsverträge ihre Anwendung im Bauvertrag.

Allgemeine Bestimmungen werden wie in der heimischen *ÖNORM B 2118* [37] im Standardvertrag *AB 04* [1] behandelt. Ein vertragliches Merkmal, das Österreich von Schweden unterscheidet ist, dass tunnelbauspezifische Themen in Schweden nicht in einer eigenständigen Norm behandelt, sondern nur in der *AMA 17* [2] berücksichtigt werden. Diese stellt das Gerüst eines Bauvertrags dar, um Bauleistungen schlussendlich in Leistungspositionen zu klassifizieren dar. Der Aufbau der beiden Standardwerke weist keine wesentlichen Unterschiede auf.

Eine Besonderheit im Tunnelbau sind die sogenannten Vortriebsklassen, die einen wesentlichen Bestandteil einer geotechnischen Beschreibung bilden. Treten in Schweden veränderte Untergrundverhältnisse auf, wird die Untergrundklassifizierung, im Gegensatz zu Österreich, nicht fortlaufend angepasst, da diese als Konglomerat in den jeweiligen Ausbruchpositionen zusammengefasst sind. Darüber hinaus sorgt dieser Umstand dafür, dass die Bauzeit auch nicht in gleicher Art und Weise auf veränderte Bedingungen angepasst wird. Aus diesem Grund wird in Schweden der Ausschreibung eines Tunnelbauprojekts kein Bauzeitmodell beigelegt, wie es in Österreich der Fall ist.

Wie bereits im Kapitel 4.6 genauer erläutert, ist die Umlage der ZGA auf mengenabhängige LV-Positionen notwendig, da das LV keine gesonderten Positionen für diese Kosten vorsieht. Das Risiko, dass mit solch einer mengenabhängigen Betrachtung einhergeht, wird im folgenden Unterabschnitt näher erläutert.

Tab. 4.4: Gegenüberstellung der Vertragsmodelle – Österreich und Schweden

Allgemeine Kriterien	Österreich	Schweden
Vergabeform	Billigstbieterprinzip Bestbieterprinzip	Billigstbieterprinzip Bestbieterprinzip
Werkvertrag	<i>ÖNORM B 2118</i> <i>ÖNORM B 2203-1</i>	AB 04
Standardleistungs- beschreibung	<i>LB VI</i>	AMA-Anlagging-17
Vertragsarten	EHP-, /Pauschalpreis-/ Regiepreis	EHP-, /Pauschalpreis-/ Regiepreis
Leistungs- beschreibung	konstruktiv	konstruktiv/ funktional
geologische- Beschreibung	AG	AG
technische- Beschreibung	AG	AG
Leistungsverzeichnis	LG, ULG, GP, Position	LG, ULG, GP, Position
Vergütungsmodell	Vortriebsklassen	Untergrundklassifizierung
Bauzeitmodell	<i>ÖNORM B 2203-1</i>	–
Vergütung BGK	eigene Positionen	Umlage der BGK

Zwischenresümee – Vergleich im Umgang mit zeitgebundenen BGK in Österreich und Schweden

Neben der ohnehin schon komplexen Kostenstruktur von Bauprojekten sieht ein schwedischer Bauvertrag die Zuordnung von zeitgebundenen BGK auf mengenabhängige Positionen vor. Obwohl die Projektkosten maßgeblich durch die Ausführungszeit dominiert werden, ist eine Umlage dieser Kostenbestandteile, beschrieben im Unterabschnitt 4.6, notwendig. In Österreich wird mit den heimischen Normenwerken ein anderer Weg im Umgang mit diesen Kosten gewählt. Diese können, falls es der Bauvertrag zulässt, in einer separate Position berücksichtigt und somit als Einzelkosten einer Leistungsposition behandelt werden. Dies wird in der Abb. 4.6 vereinfacht dargestellt.

Um die monetären Auswirkungen einer eigenen Position für die zeitgebundenen BGK auf die Kostenstruktur eines Tunnelbauprojektes aufzuzeigen, wird der gegenständliche Bauvertrag um diese Position erweitert. Dadurch ist die Umlage der zeitabhängigen Kostenbestandteile nach sechs unterschiedlichen Modellen möglich, die im folgenden Kapitel charakterisiert werden.

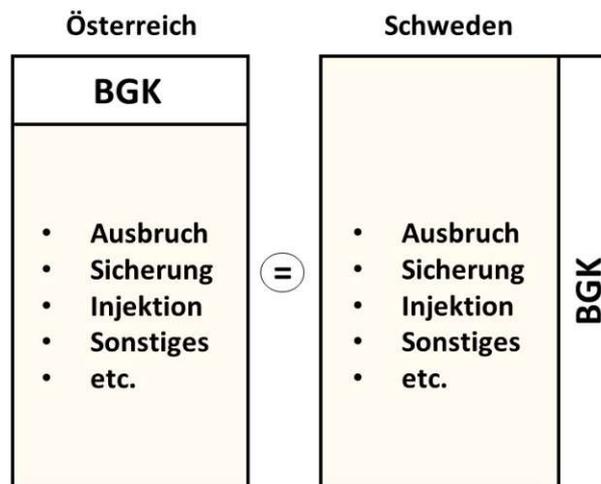


Abb. 4.6: Umgang mit Baustellengemeinkosten in Österreich und in Schweden

4.8 Modellbildung

Mit der Entwicklung der Umlagemodelle wird eine bauwirtschaftliche Betrachtung der im Kapitel 3.5.2 behandelten ZGA verfolgt. Im Tunnelbau ist es üblich, dass die zeitabhängigen Kosten umgelegt werden. Daher wird der kalkulatorische Weg verfolgt, diese entweder auf die Vordersätze einer Leistungsposition (z.B. [m³] Ausbruch, [m²] Spritzbeton, [Stk] Anker, [kg] Injektionsmaterial etc.) oder auf Einzelkosten (Lohn-, Energie-, Materialkosten, Sonstiges) umzulegen.

Grundsätzlich stellt die Umlage den Deckungsbeitrag dar, der durch den Baupreis gedeckt wird. Das Ziel der gegenständlichen Arbeit ist es, die ZGA nach normativen und literarischen Gesichtspunkten in einem Bauvertrag vorzusehen. Im abschließenden Kapitel 5 werden die monetären Auswirkungen mittels Variantenstudien verdeutlicht. Als Grundlage der Modellbildung dient das LV des schwedischen Projektes. Im Zuge der Ausarbeitung werden diese auf die gängigen Leistungsteile im Tunnelbau Ausbruch, Sicherung, Injektion und Sonstiges aufgeschlüsselt, um allgemein gültige Aussagen im Umgang mit den zeitgebundenen BGK zu treffen.

Die Modellentwicklung wird auf der Ebene des Preises bewertet. Der Baupreis bezieht sich auf jene Leistung, die dem AG in Rechnung gestellt wird. Der AG zahlt dem ausführenden Unternehmen die vertraglich festgelegte Angebotssumme, um das hergestellte Werk zu übernehmen. Der Angebotspreis stellt dabei den zu generierenden Erlös eines Unternehmens dar. Der Erlös bzw. Umsatz, beschreibt das Produkt zwischen vertraglich festgelegtem Einheitspreis und der Absatzmenge. Weiters wird in Anlehnung an die österreichischen Vertragswerke der Bauvertrag um eine eigene LV-Position im Leistungsverzeichnis für eine verursachungsgerechte Zuordnung der ZGA erweitert.

In Abb. 4.7 ist die Preisstruktur des gegenständlichen Projekts dargestellt. Insgesamt beläuft sich die Angebotssumme auf 193.743.178 SEK. Der Baupreis gliedert sich in die zwei maßgebenden Elemente, ZGA und den o.g. Leistungsteilen. Die ZGA setzen sich aus dem Erlös für Bauregie, Geräte, Lohn und Energie zusammen. Der Definition im Kapitel 3.5.2 entsprechend, werden die Anteile Lohn und Energie aus den Leistungsteilen ausgeschieden und mit zeitgebundenen BGK, Bauregie und Geräten, als ZGA zusammengefasst. Insgesamt beläuft sich der zeitabhängige Erlös auf 107.667.819 SEK. Der Leistungsteil Ausbruch, welcher 12% der Angebotssumme ausmacht, setzt sich aus den Einzelkosten, Materialkosten (Sprengstoff und Bohrstahl), Verschleiß und sonstigen Kosten zusammen. Der Leistungsteil Injektion enthält neben den Materialkosten (Injektionsmaterial und Bohrstahl) die Prüfkosten. Vor den eigentlichen

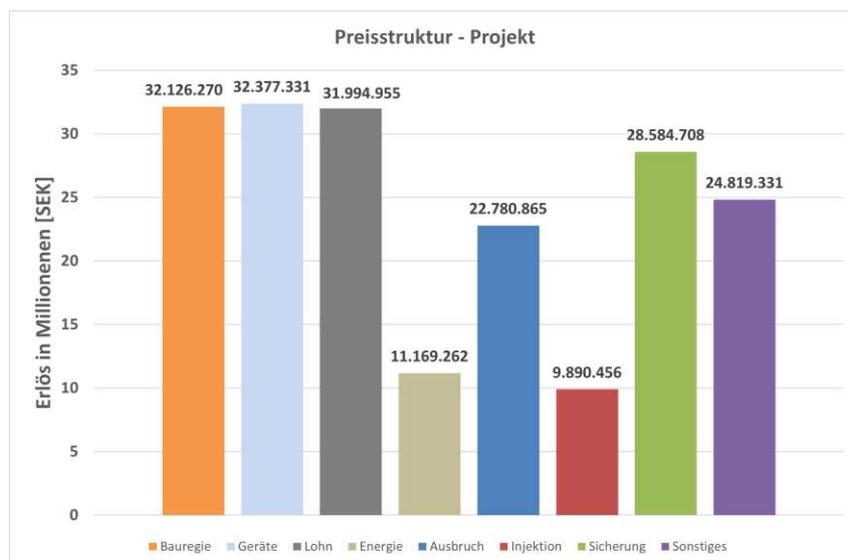


Abb. 4.7: Preisstruktur – schwedisches Projekt

Injektionsarbeiten finden Vorinjektionen statt, um den Untergrund auf seine Beschaffenheit zu prüfen. Der Leistungsteil Sicherung, der 14% der Angebotssumme ausmacht, beinhaltet Kosten für den Einsatz von Bohrstahl, Verschleiß und Prüfkosten. Der Leistungsteil Sonstiges setzt sich aus den Transportkosten des Ausbruchmaterials und weiteren Tätigkeiten, die keinen Einfluss auf die am kritischen Weg liegenden Leistungsteile haben, zusammen.

Anhand Abb. 4.7 wird monetär ersichtlich, dass die ZGA 55% der Angebotssumme ausmachen. Für die Vergütung ist es von essentieller Bedeutung, wie die zeitabhängigen Kostenbestandteile im Leistungsverzeichnis eines Bauvertrags berücksichtigt werden.

4.8.1 Umlagemodelle im zyklischen Tunnelvortrieb

Großbauprojekte im Tunnelbau sind geprägt durch zeitliche und monetäre Risiken. Vor allem die monetären Risiken gilt es auf ein beherrschbares Niveau in der Angebotserstellung zu reduzieren. Dadurch soll ein auskömmlicher Preis generiert werden. Eine große Unsicherheit stellen dabei die ZGA dar. Der folgende Unterabschnitt widmet sich der Modellbildung zur Umlage dieser Kosten auf unterschiedliche Umlageträger.

In Anlehnung an die schwedischen und österreichischen Vertragsmodelle werden sechs Umlagemodelle entwickelt. Bei der Umlage der ZGA findet eine Unterscheidung nach mengenabhängigen, zeitabhängigen und Gesichtspunkten statt, dargestellt in Abb. 4.8. Nach den mengenabhängigen Modellen (Ausbruch, Sicherung, Injektion und Mittellohn) werden die ZGA auf die Vordersätze oder Einzelkosten einer Leistungsposition umgelegt. Im Anschluss folgt das gesamtheitliche Modell (Gesamtzuschlag). Die ZGA werden prozentual auf sämtliche Einzelkosten umgelegt.

Mittels des Modells *zeitgebundene Position* erfolgt die Umlage in Anlehnung an die österreichischen Normenwerken auf separate Leistungspositionen, genauer erläutert im Kapitel 3.5. Eine Berücksichtigung der zeitabhängigen Kosten auf den Leistungsteil Sonstiges (Preisstruktur), erweist sich als nicht zielführend, da dieser nicht am kritischen Weg liegt.

In den folgenden Unterabschnitten findet eine detaillierte Beschreibung der entwickelten Umlagemodelle statt. Im Anschluss folgt eine beispielhafte Berechnung des Verrechnungs- oder Zuschlagssatzes auf Basis des schwedischen Bauvertrags. Aus Gründen der Anonymisierung

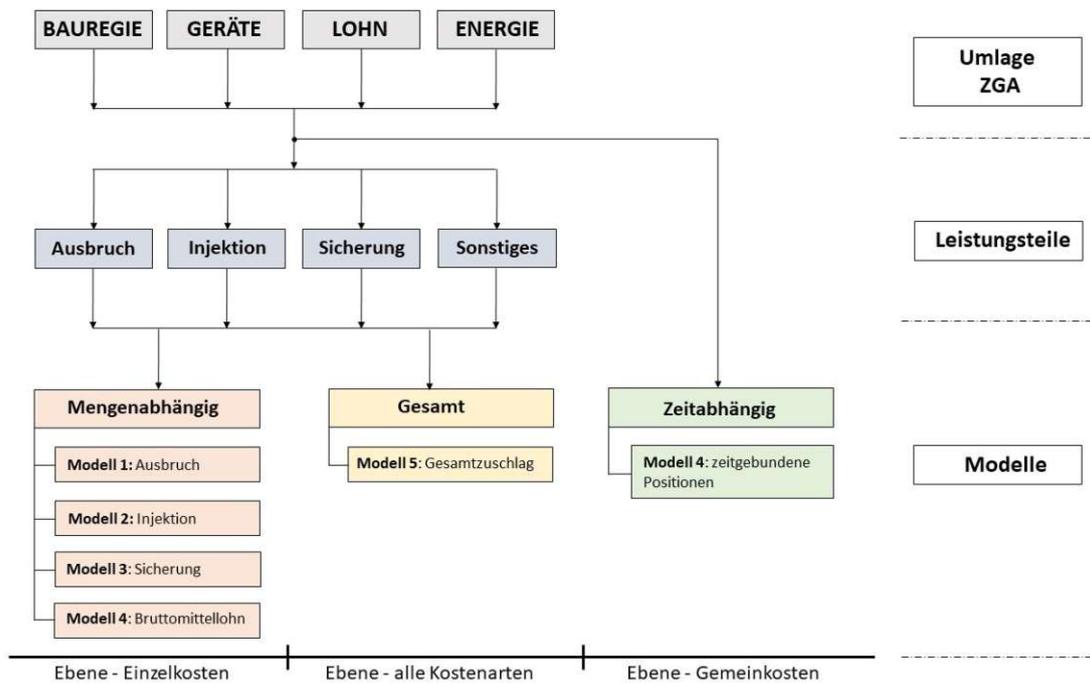


Abb. 4.8: Mögliche Umlagemodelle

stellen die folgenden Zahlen der Umlageträger nur grobe Richtwerte dar. Den Abschluss bildet die Gegenüberstellung der Umlagemodelle.

4.8.2 Modell 1 – Ausbruch

Der Leistungsteil Ausbruch setzt sich aus den wesentlichen Arbeitsschritten (Bohren, Besetzen, Bewettern, Schüttern) eines zyklischen Vortriebs zusammen. Der Fels wird durchörtert und ein Hohlraum unter Tage geschaffen. Über den Globus verteilt gilt der Ausbruch als nahezu unveränderlicher Umlageträger, näher erläutert im Kapitel 5.3. Der am kritischen Weg liegende Leistungsteil unterliegt kaum einer Mengenmehrung bzw. -minderung, wodurch eine Umlage der ZGA auf den Umlageträger ein probates Mittel darstellt.

Die Ausbrucharbeiten werden im gegenständlichen Bauvertrag in Positionen mit der Einheit [m³] einkalkuliert. Die Ausbruchpositionen stehen sinnbildlich für eine Vielzahl von Bauverträgen im Tunnelbau um die im Zusammenhang mit den Leistungsteil stehenden Bauleistungen, vertraglich zu berücksichtigen. Aus diesem Grund können die ZGA in Beziehung zu diesen gesetzt werden. Das gegenständliche Projekt beinhaltet sechs Ausbruchpositionen, die jeweils einen Abschnitt des Tunnels definieren.

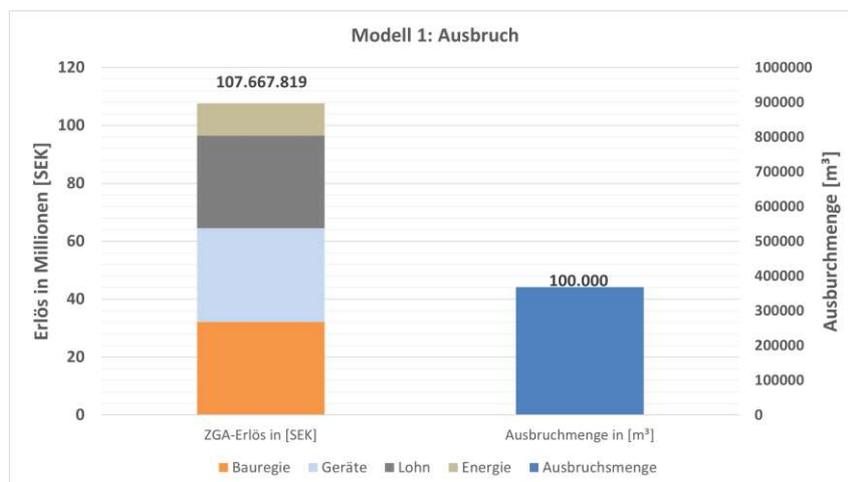


Abb. 4.9: Umlage der ZGA auf Umlageträger – Ausbruchposition

Abb. 4.9 stellt die ZGA und den Umlageträger *Ausbruchposition* gegenüber. Um die Berechnung des Verrechnungssatzes exemplarisch aufzuzeigen, wird als Umlageträger eine Position aus dem schwedischen Leistungsverzeichnis herangezogen, die Tunnelabschnitt des Tunnels beschreibt. Aus Glg. 4.1 und 4.2 ist der Erlös der ZGA und der Ausbruchmenge eines Abschnittes ersichtlich. Da die Vortriebsleistung pro Kalendertag ermittelt wird, ist einerseits die Dauer der vollständigen Vortriebsarbeiten und andererseits die Dauer des jeweiligen Abschnittes zu ermitteln. Insgesamt erstrecken sich die Vortriebsarbeiten über 450 KT siehe Glg. 4.3. Die Vortriebsunterbrechung, Stillstandzeiten, Abgänge etc. werden dabei nicht berücksichtigt. Der beispielhafte Tunnelabschnitt dauert 100 KT an. Mit Glg. 4.5 errechnet sich der Erlös pro KT. Dividiert durch die Ausbruchmenge, ergibt sich ein Verrechnungssatz in Höhe von 23,93 SEK/m³.

$$\Sigma ZGA = 107.667.819 \text{ SEK} \quad (4.1)$$

$$\text{Ausbruchmenge} - \text{Abschnitt} = 100.000 \text{ m}^3 \quad (4.2)$$

$$\Sigma \text{Vortriebsdauer} = 450 \text{ AT} \quad (4.3)$$

$$\text{Vortriebsdauer des Abschnitts} = 100 \text{ AT} \quad (4.4)$$

$$\frac{100 \text{ AT}}{450 \text{ AT}} = 22,22\% * 107.667.819 \text{ SEK} = 23.926.182 \text{ SEK} \quad (4.5)$$

$$\frac{23.926.182 \text{ SEK}}{100.000 \text{ m}^3} = 23,93 \text{ SEK/m}^3 \rightarrow \text{Verrechnungssatz} = 23,93 \text{ SEK/m}^3 \quad (4.6)$$

4.8.3 Modell 2 – Sicherung

Der Leistungsteil Sicherung beinhaltet die Arbeiten für das Einbringen der Stützmittel in die Ortsbrust und Tunnellaubung. Die vorausseilende Sicherung (Spieße) kommt vor allem in Projektabschnitten mit geringer Standzeit zum Einsatz. Die vorübergehende Sicherung (Spritzbeton, Einzelanker und Systemanker etc.) verhindert einerseits die Gebirgsentfestigung und andererseits eine Reduktion der Verformung, bis der endgültige Ausbau abgeschlossen ist.

Die Art und Menge einzubringender Stützmittel sind in den Vortriebsklassen definiert, die von den Ausschreibenden in der geotechnischen Planung anhand von Bandbreiten in den Vortriebsklassen festgelegt werden. Den unteren Schranken stellt die Mindestsicherung dar. Hingegen werden die Stützmittel oben hin durch die Fläche von Tunnellaubung und Ortsbrust beschränkt. Die Flächen sind endlich, dadurch kann nur eine gewisse Anzahl an Stützmittel eingebracht werden.

Der Leistungsteil Sicherung, ähnlich dem Ausbruch, unterliegt geringen Mengenschwankungen. Die am kritischen Weg liegenden Sicherungsarbeiten stellen somit einen konstanten Umlageträger dar.

Zur beispielhaften Umlage der ZGA wird die Leistungsposition Spritzbeton in [m²] aus dem schwedischen Bauvertrag herangezogen, da dieser wie o.g. durch die Klassifizierung in seiner aufzubringenden Menge bzw. Dicke eindeutig definiert ist. Wie im Kapitel 4.8.2 ausgeführt wurde, ist für die Umlage der ZGA auf mengenabhängige Positionen ein Verrechnungssatz notwendig.

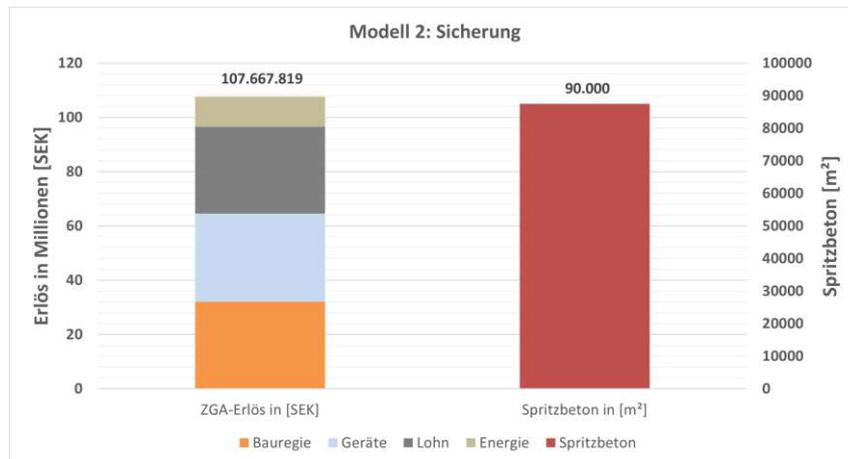


Abb. 4.10: Umlage der ZGA auf Umlageträger – Spritzbeton

Der Erlös der ZGA und der Umlageträger sind in Abb. 4.10 dargestellt. Exemplarisch wird der Spritzbeton auf einer Fläche von 90.000 m² (Tunnellaibung und Ortsbrust je Abschlag) aufgetragen. Der Verrechnungssatz in Höhe von 1.196,31 SEK/m² errechnet nach sich nach Glg. 4.9, durch die Division der ZGA und festgelegten Fläche, auf die der Spritzbeton aufgetragen wird.

$$\Sigma ZGA = 107.667.819 \text{ SEK} \quad (4.7)$$

$$\text{Spritzbeton} = 90.000 \text{ m}^2 \quad (4.8)$$

$$\frac{107.667.819 \text{ SEK}}{90.000 \text{ m}^2} = 1.196,31 \text{ SEK/m}^2 \rightarrow \text{Verrechnungssatz} = 1.196,31 \text{ SEK/m}^2 \quad (4.9)$$

4.8.4 Modell 3 – Injektion

Eine Maßnahme zur Bodenverbesserung stellt der Einsatz von Injektionen im Tunnelbau dar. Anhand dieser wird der Baugrund verfestigt und abgedichtet. Der Arbeitsbereich unter Tage und somit letztendlich der fertiggestellte Tunnel werden dadurch vor Wassereintritt geschützt. Der Leistungsteil Injektion beinhaltet die Arbeiten für Vorinjektionen, die Herstellung von Injektionschirmen und die Aushärtungszeit des Injektionsmaterials. Die vorhergehenden Arbeiten sind für die nachfolgenden Injektionsarbeiten unerlässlich, um die Qualität des Untergrunds mittels Probeinjektionen zu überprüfen. Durch den Einsatz von Bohrgeräten werden schirmartige Bohrlöcher vorseilend im Firstbereich erstellt. Über Injektionslanzen, die mit Pumpen verbunden sind, wird das Injektionsmaterial entlang der hergestellten Verpressstrecke injiziert. Injektionschirme werden so konzipiert, dass die Erhärtingsphasen außerhalb der Arbeitszeiten stattfinden, um Haupttätigkeiten (Ausbruch, Sicherung) nicht in ihrem Wirkungsbereich zu behindern.

Injektionsarbeiten werden maßgeblich durch die vorherrschenden hydrologischen und geologischen Bedingungen beeinflusst. Trennflächen, Klüfte und die Beschaffenheit des Untergrunds spielen eine bedeutende Rolle. Diese beeinflussen einerseits die Wasserwegigkeit und andererseits den Umgang des einzubringenden Injektionsmaterials. Es können dabei Abweichungen in der Ausführung zu den prognostizierten Verhältnissen auftreten. Die Injektionsarbeiten stellen eine weitere Möglichkeit dar, die ZGA im Leistungsverzeichnis zu berücksichtigen. Entsprechend dem Leistungsteil Ausbruch und Sicherung liegen die Arbeiten ebenso am kritischen Weg.

Exemplarisch für den Leistungsteil Injektion wird der Umlageträger *Pumpenstunden* des schwedischen Leistungsverzeichnisses betrachtet. Der immense Kostendruck aus innerbetrieblicher Sicht in einem Bauunternehmen und der zeitliche Druck durch den AG sorgt dafür, dass bei gesamtwirtschaftlicher Betrachtung der Fokus auf den Vortriebsleistungen liegt. Die Leistungen werden maßgeblich durch die Anzahl an Stunden, die für die Vortriebsarbeiten benötigt werden, bestimmt. Der Umlageträger *Pumpenstunden* tritt mit dem Stundenaufwand der Injektionsarbeiten direkt in Erscheinung. Um die ZGA auf die Pumpenstunden umzulegen, ist die Bildung eines Verrechnungssatzes notwendig.

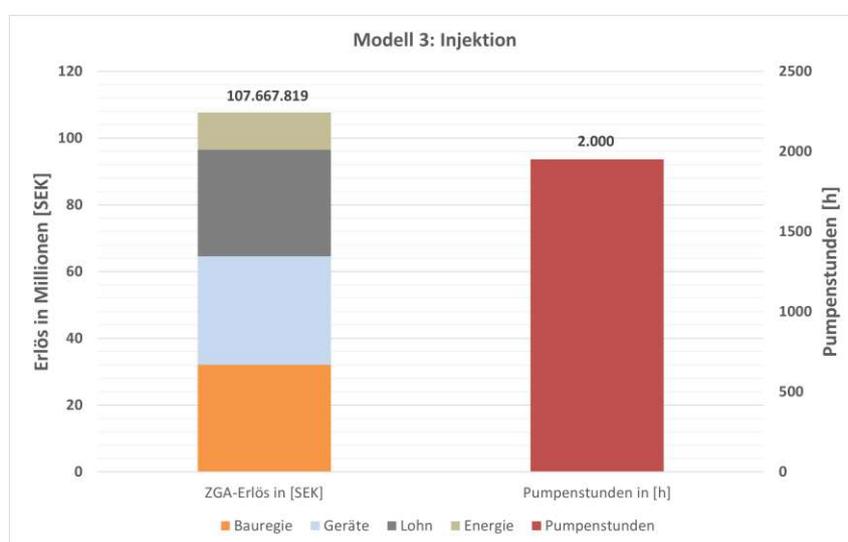


Abb. 4.11: Umlage der ZGA auf Umlageträger – Pumpenstunden

Für die Injektionsarbeiten werden Pumpenstunden in Höhe von 2000 h erwartet. In Abb. 4.11 findet eine Gegenüberstellung der umzulegenden Kosten und dem Umlageträger statt. Der zu ermittelnde Verrechnungssatz berechnet sich aus Glg. 4.12. Diese setzt sich aus dem Verhältnis ZGA zu den Pumpenstunden zusammen. Insgesamt ergibt sich eine Verrechnungssatz in Höhe von 53.833,91 SEK/h.

$$\Sigma ZGA = 107.667.819 \text{ SEK} \quad (4.10)$$

$$Pumpenstunden = 2000 \text{ h} \quad (4.11)$$

$$\frac{107.667.819 \text{ SEK}}{2000 \text{ h}} = 53.833,91 \text{ SEK/h} \rightarrow \text{Verrechnungssatz} = 53.833,91 \text{ SEK/h} \quad (4.12)$$

4.8.5 Modell 4 – Mittellohn

Die Vorgehensweise bei der ZGA in den Einzelkosten *Lohn* der Leistungspositionen einkalkuliert werden, stellt eine Alternative zur Umlage dar. Werden diese gesondert in den Lohnkosten

berücksichtigt, dienen als Umlageträger die produktiven Stunden. Hierfür werden die variablen zeitabhängigen Kostenbestandteile im Mittellohn einkalkuliert. Dieser entspricht den Lohnkosten je Arbeitsstunde des produktiven Personals. Die Deckung der ZGA erfolgt somit über den Arbeitsaufwand im Sinne der Lohnstunden multipliziert mit dem Mittellohn. Ein Charakteristikum des Modells ist, dass die produktiven Stunden im direkten Zusammenhang mit der Leistungserstellung stehen. In Anlehnung an die *ÖNORM B 2061* [35] werden die ZGA im K3-Blatt berücksichtigt, um schlussendlich den Preisanteil *Lohn*, sämtlicher Leistungspositionen im LV, mit den Kosten zu beaufschlagen.

Die Ermittlung der produktiven Stunden erfolgt entweder laut Kollektivvertrag (Kollektivvertrag (KV)) oder über die Stundenaufzeichnung. Mit dem KV errechnet sich die produktive Arbeitszeit abzüglich der Zeit für die Abwesenheit (Feiertage, Urlaub, Krankenstand, Schlechtwetter, unproduktive Tätigkeiten etc.).¹⁵⁹ Eine Besonderheit, die den Tunnelbau von anderen Tätigkeiten im Bauwesen unterscheidet, ist, dass sich die Arbeitszeit nicht nach den Wochenarbeitszeiten in Höhe von 39 Stunden (laut KV), sondern nach der Schichtarbeit richtet. Diese liegt vor, wenn der Arbeitsplatz an einem Arbeitstag von mehreren Arbeitnehmer oder Arbeitsgruppen abwechselnd eingenommen wird.¹⁶⁰ Im Gegensatz dazu erfolgt nach der zweiten Variante die Kalkulation der produktiven Stunden über die Stundenaufzeichnung. Im Fall des gegenständlichen Projekts ergeben sich exemplarisch 65.000 Stunden.

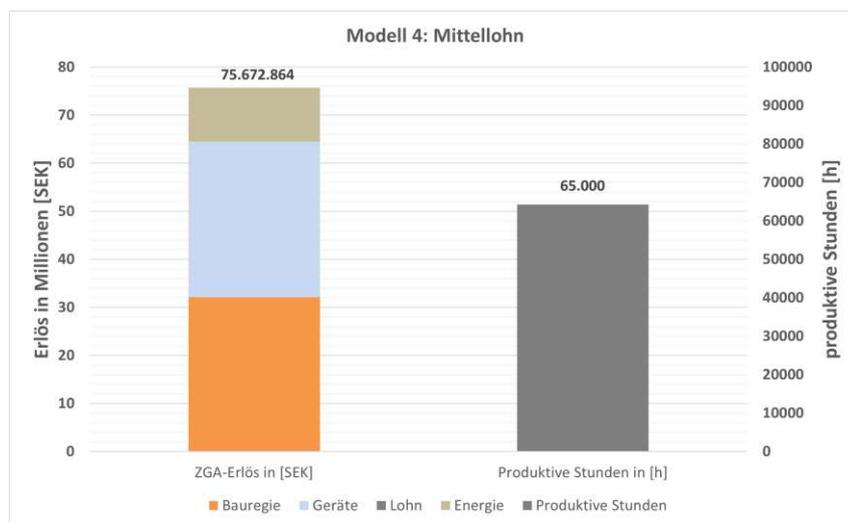


Abb. 4.12: Umlage der ZGA auf Umlageträger – Produktive Stunden

Die Abb. 4.12 stellt die Umlage und den Umlageträger *produktive Stunden* gegenüber. Im Fall des Modells 4 werden die ZGA um den Anteil Lohn bereinigt, da diese den Kostenträger darstellen. Die ZGA setzen sich somit aus Bauregie, Geräte und Energie zusammen. Dadurch ergeben sich bereinigte ZGA mit insgesamt 75.672.864 SEK. Ein Tunnelbauprojekt setzt sich aus einer Vielzahl von Leistungspositionen zusammen. In diesen finden sich Bruttomittelgehälter in divergenter Höhe, da sich der Personalaufwand je Bauleistung unterschiedlich gestaltet. Um eine konsistente Vorgehensweise aufzuzeigen, werden jene Leistungspositionen als Basis herangezogen, die einen Stundensatz von 450 SEK/h einkalkulieren.

Der Verrechnungssatz, 1164,20 SEK/h, errechnet sich aus Glg. 4.16 und setzt sich aus dem Verhältnis ZGA und den produktiven Stunden zusammen. Mittels der Addition von 450 SEK/h,

¹⁵⁹Vgl. [19] Kropik, S. 253 ff.

¹⁶⁰Vgl. [19] Kropik, S. 233

Glg. 4.17, errechnet sich ein Stundensatz in Höhe von 1614,20 SEK/h. Dieser beinhaltet summa summarum den ursprünglich festgelegten Bruttomittelohn und die umzulegenden Kosten.

$$\Sigma ZGA = 75.672.864 \text{ SEK} \quad (4.13)$$

$$\Sigma \text{ produktive Stunden} = 65.000 \text{ h} \quad (4.14)$$

$$\text{Mittelohn} = 450 \text{ SEK/h} \quad (4.15)$$

$$\frac{75.672.864 \text{ SEK}}{65.000 \text{ h}} = 1164,20 \text{ SEK/h} \quad (4.16)$$

$$\text{Verrechnungssatz} = 1164,20 \text{ SEK/h} + 450 \text{ SEK/h} = 1614,20 \text{ SEK/h} \quad (4.17)$$

4.8.6 Modell 5 – Gesamtzuschlag

Eine gesamtheitliche Umlage der ZGA auf sämtliche Einzelkosten (Lohn, Energie, Material und sonstige Kosten) in einem Leistungsverzeichnis wird mit dem Modell 5 verfolgt. Die ZGA werden hierfür im Gesamtzuschlag berücksichtigt. Im Zuge der Entwicklung des Modells wird auf die *ÖNORM B 2061* zurückgegriffen, deren Fokus auf der Ermittlung des Baupreises liegt. Die Wirtschaftlichkeit eines Unternehmens kann nur aufrechterhalten werden, wenn eine Deckung der ZGA erreicht wird. Einen wesentlichen Anteil über den Fortbestand eines Unternehmens am Markt haben die Zuschlagsbestandteile Geschäftsgemeinkosten, Finanzierungskosten, Wagnis und Gewinn, die im K2-Blatt berücksichtigt werden. In dieser besteht ebenso die Möglichkeit projektspezifische Kosten vorzusehen. Darunter sind auch Baustellengemeinkosten zu verstehen. Somit ist eine normative Umlage der ZGA möglich.

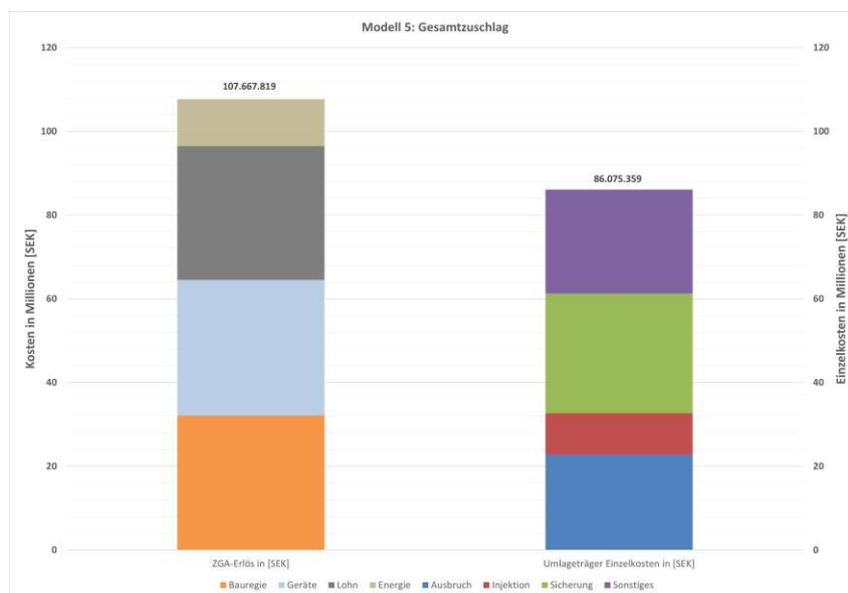


Abb. 4.13: Umlage der ZGA auf Umlageträger – Einzelkosten

In Abb. 4.13 werden sämtliche Einzelkosten der Umlage ZGA gegenübergestellt. Aus dem Verhältnis Umlage zu Umlageträger ergibt sich ein Zuschlagsatz. Dieser errechnet sich durch Glg. 4.20, mittels Division der ZGA durch die Summe der Einzelkosten. Aus der Bildung des Verhältnisses ergibt sich ein Gesamtzuschlag in Höhe von 125,00%.

$$\Sigma ZGA = 107.667.819 \text{ SEK} \quad (4.18)$$

$$\Sigma \text{ Einzelkosten} = 86.075.359 \text{ SEK} \quad (4.19)$$

$$\frac{107.667.819 \text{ SEK}}{86.075.359 \text{ SEK}} * 100 = 125,00\% \quad (4.20)$$

$$\text{Zuschlagsatz} = 125,00\% \quad (4.21)$$

4.8.7 Modell 6 – Zeitgebundene Position

Im abschließenden Modell wird der schwedische Bauvertrag um die aus der österreichischen Norm bekannte eigene Position für zeitgebundene Baustellengemeinkosten erweitert. Abweichungen sind bei der Herstellung von Untertagebauwerken allgegenwärtig. Um diesen Umstand im heutigen Tunnelbau gerecht zu werden, zieht man in Österreich im zyklischen Vortrieb das flexible Vertragsmodell *ÖNORM B 2203-1* heran. Dadurch werden veränderte Bedingungen im Vergleich zu den prognostizierten Bedingungen der Ausschreibung berücksichtigt. Die veränderten Bedingungen beziehen sich vor allem auf die während der Vortriebsarbeiten anzutreffenden Untergrundverhältnisse und auf die damit im Zusammenhang stehenden Vortriebsklassen. Bei auftretender Vortriebsklassenverschiebung ändern sich die Vortriebsleistungen und damit auch die am kritischen Weg liegenden Leistungsteile (Ausbruch, Sicherung und Injektion). Das entstehende Delta an Bauzeit kann dadurch rechnerisch ermittelt werden und wirkt sich schlussendlich auf die Höhe der ZGA aus.

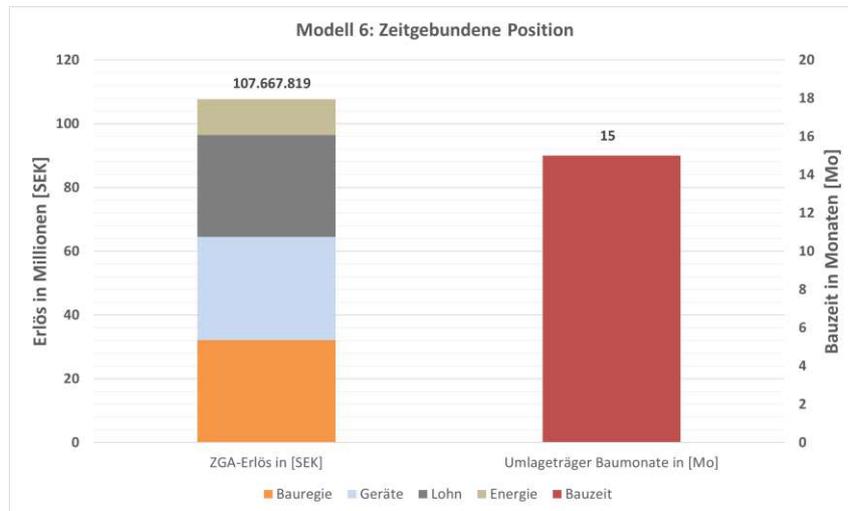


Abb. 4.14: Umlage der ZGA auf Umlageträger – Bauzeit

Um den Sachverhalt zu verdeutlichen werden die umzulegenden ZGA und der Umlageträger, die vertraglich festgelegte Vortriebsdauer in Höhe von 15 Baumonaten, herangezogen. Dies ist in der Abb. 4.14 dargestellt.

Berechnung der Verrechnungseinheiten:

Das folgende Rechenbeispiel dient lediglich als Erläuterung für die Vorgehensweise bei der Ermittlung der VE, ein Anspruch auf Vollständigkeit ist nicht gegeben. Als Basis dient die aus der *LB VI* [24] bekannte zeitgebundene Position *020302A ZGKB Vortriebsbeginn-Votr.-od.Betonierende, Grundpos., UT*. Diese wird durch eine Pauschale beschrieben und setzt sich aus den ZGA in Höhe von 107.667.819 SEK zusammen. Die Verhältnisbildung in Glg. 4.24, aus der Pauschale und der

prognostizierter Vortriebsdauer, kommt dem monatlichen Erlös in Höhe von 7.177.854,60 SEK/Mo, gleich.

$$\text{Vortriebsbeginn bis Vortriebsende Tunnelröhren} = 15 \text{ Mo} \quad (4.22)$$

$$020302 \text{ A, Grundpos., UT : PA} = 107.667.819 \text{ SEK} \quad (4.23)$$

$$\text{SEK/VE} = \frac{107.667.819 \text{ SEK}}{15 \text{ Mo}} = 7.177.854,60 \text{ SEK/Mo} \quad (4.24)$$

$$\text{EHP/VE} = 7.177.854,60 \text{ SEK/Mo} \quad (4.25)$$

4.9 Gegenüberstellung der entworfenen Umlagemodelle

Die folgende monetäre Gegenüberstellung der Umlagemodelle in Abb. 4.15 zeigt die unterschiedliche Verteilung der ZGA in den Leistungsteilen Ausbruch, Sicherung und Injektion und der zeitgebundenen Positionen auf. Anhand dieser werden die Unterschiede zwischen den divergierenden Umlagemodellen 1 bis 6 illustriert.

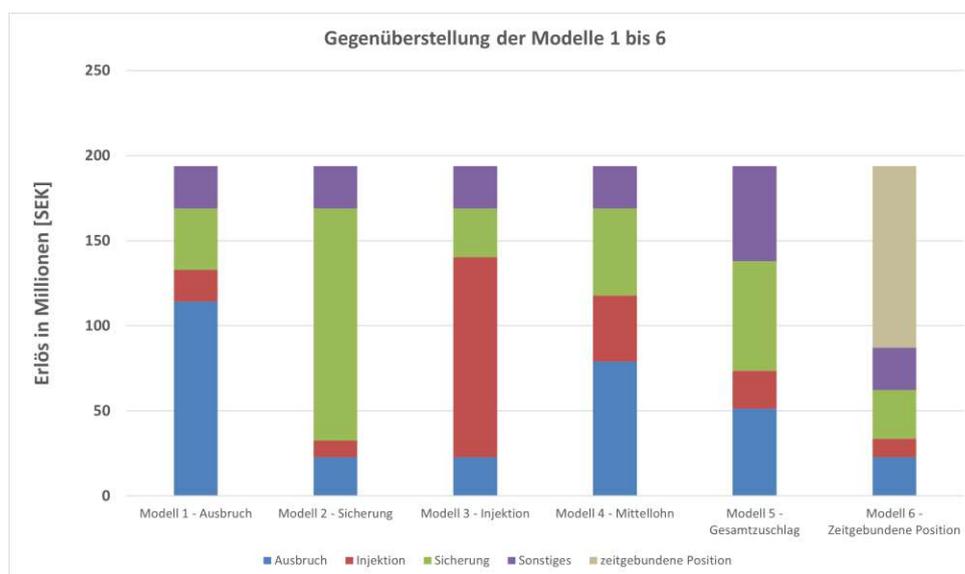


Abb. 4.15: Gegenüberstellung der Modelle im Bau-SOLL

Modell 1 bis 4 bilden die Umlage auf mengenabhängige Umlageträger (Ausbruch, Sicherung, Injektion und produktive Stunden) ab. Das Modell 5 bildet die Umlage auf Einzelkosten sämtlicher Leistungspositionen ab. Die Berücksichtigung der ZGA in einer eigenen Position, in Anlehnung an das ÖNORM-Vertragsmodell wird im Modell 6 dargestellt.

Die Umlage der Kosten in den unterschiedlichen Modellen sorgt augenscheinlich dafür, dass die jeweiligen Umlageträger bei gleicher Angebotssumme signifikant zunehmen. Im Gegensatz zu den Modellen 1 bis 3, bei welchen die zeitabhängigen Bestandteile jeweils auf einen Leistungsteil umgelegt werden, sehen die Modelle 4 und 5 die Umlage der Kosten auf alle Leistungsteile, außer auf Sonstiges vor. Das Modell 4 zeigt auf, dass vor allem der Ausbruch (41%) und die Sicherung (26%) lohnintensive Tätigkeiten im Tunnelbau darstellen. Dies erklärt sich dadurch, da diese Tätigkeiten zu den wesentlichen Arbeitsschritten des zyklischen Vortriebs zählen. Im Gegensatz dazu nimmt der Leistungsteil Injektion mit 20% den geringsten der drei Haupttätigkeiten ein. Eine Eigenschaft des Modells ist, dass die restlichen Einzelkosten Energie, Materialkosten und

sonstige Kosten keinen Einfluss auf die Deckung der ZGA haben. Die Deckung wird ausschließlich durch die Lohnkosten erreicht. Der Vorteil liegt in einer übersichtlichen Umlage der Kosten.

Hingegen erfolgt die Deckung der Kosten im Modell 5 über sämtliche Einzelkosten. Der Nachteil ist, dass das Risiko einer Unterdeckung der Kosten wesentlich höher ist. Ändert sich z.B. bei gleichbleibendem Arbeitseinsatz aus unterschiedlichen Gründen der Preis des Materials (der Stahlpreis stellt einen volatilen Kostenträger dar), führt dies, obwohl die vollständigen Lohnkosten abgegolten werden, zu einer Unterdeckung der ZGA. Das Modell 6 beinhaltet im Bauvertrag eine eigene Position für zeitgebundene BGK im Leistungsverzeichnis, dadurch werden die vollständigen ZGA in diese einkalkuliert.

4.10 Zusammenfassung – Spezielle Risiken in der Angebotskalkulation aus Umlagen

Der Umgang mit zeitgebundenen BGK ist abhängig vom Bauvertrag und wird in jedem Land unterschiedlich gehandhabt. Um im Falle einer Abweichung des Bauablaufs (technischer, geologischer, hydrologischer Natur etc.) die Kosten vollständig vergütet zu bekommen und somit einen ausreichenden Deckungsbeitrag erzielen zu können, ist die Umlage der ZGA für den wirtschaftlichen Erfolg und Misserfolg einer Baustelle entscheidend.

Da internationalw Bauverträge oftmals keine spezifischen Positionen für zeitgebundene BGK vorsehen, ist die Umlage auf Leistungsteile (Ausbruch, Sicherung oder Injektion) notwendig. Dies unter der Prämisse, dass die Kosten auf Umlageträger berücksichtigt werden, deren Mengenrisiko überschaubar ist. Die Leistungsteile Ausbruch und Sicherung weisen hierfür die geringsten Mengenschwankungen auf. Das ist der Tatsache geschuldet, dass sich die Kubatur des auszubrechenden Hohlraums im zyklischen Vortrieb nicht wesentlich ändert. Seitens der Ausschreibenden orientiert sich die Vorgabe der Stützmittelanzahl oft an der Mindestsicherung. Darüber hinaus stellt die Hohlraumfläche (Ortsbrust und Tunnellaubung) eine endliche Fläche dar, wodurch eine bedeutende Zunahme der einzubauenden Stützmittel nicht möglich ist. Beide Leistungsteile stellen somit risikoarme Umlageträger dar. Als risikoreich kann der Leistungsteil Injektion bezeichnet werden. Der Ausschreibende stellt die Untergrundverhältnisse wahrscheinlich nicht schlechter dar, als sie sich tatsächlich herausstellen. Trotzdem besteht immer das Risiko der Mengenerhöhung bei den Injektionsarbeiten. Abweichungen zwischen den prognostizierten und tatsächlichen Baugrundbedingungen spielen dadurch eine wesentliche Rolle im Tunnelbau.

Weitere Umlagemöglichkeiten stellen der Mittellohn und der Gesamtzuschlag dar. Die Berücksichtigung der ZGA auf den Lohn oder auf sämtliche Einzelkosten beschreibt ein probates Mittel zur Umlage der Kosten im Bauwesen. Das Mengenrisiko ist jedoch bei diesen beiden Umlagemodellen ebenfalls prekär. Ändern sich die Einzelkosten nicht im gleichen Verhältnis, liegt eine Unterdeckung der ZGA vor.

Grundsätzlich bildet die Umlage auf mengenabhängige Umlageträger aus baubetrieblicher und betriebswirtschaftlicher Sicht keine sinnvolle Lösung, um eine faire und transparente Vergütung für beide Seiten zu ermöglichen. Sieht der AG trotz dieses Umstandes keine eigene Position im LV vor, so ist der AN gezwungen, die Baustellengemeinkosten auf mengenabhängige Umlageträger zu kalkulieren. Mit der Umlage der ZGA auf mengenabhängige Positionen wird die Annahme getroffen, dass diese nur bei Leistungserstellung des Umlageträgers verursacht werden. Treten nun Abweichungen im Bauablauf auf und verändern sich die am kritischen Weg liegenden Leistungsteile (Ausbruch, Sicherung und Injektion) der Höhe nach, so müssen die Ressourcen länger vorgehalten werden. Im Fall der Umlage auf mengenabhängige Positionen anstatt auf zeitgebundene Positionen findet keine Fortschreibung der ZGA statt. Diesen Umstand entgegnet das österreichische Vertragsmodell dahingehend, dass eigene Positionen für zeitgebundene BGK

im Leistungsverzeichnis vorgesehen werden. Veränderte Bedingungen unter Tage können dadurch flexibel im Bauvertrag berücksichtigt werden.

Die Modellbildung veranschaulicht das Kalkulationsrisiko in der Angebotsphase und stellt das Bau-SOLL der gegenständlichen Arbeit dar. Um typische Szenarien im Tunnelbau aufzeigen, wird im folgenden Kapitel eine Variantenstudie durchgeführt. In diesem Sinne findet eine Simulation der entwickelten Modelle statt, welche wiederum das Bau-SOLLTE darstellt.



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

Variantenstudien von Umlagemodellen für den zyklischen Vortrieb

Auf Basis der Datenstruktur des schwedischen Projektes, das dem Bau-SOLL entspricht, wurden die Umlagemodelle im Kapitel 4 entwickelt. Um das oder die geeigneten Umlagemodell(e) für die Berücksichtigung der ZGA in einer Angebotskalkulation zu identifizieren, werden drei Varianten und eine Feldstudie durchgeführt. Unter einer Variante wird in der Arbeit die veränderliche Größe des Vordersatzes in einem LV verstanden. Diese beschreibt das Bau-SOLLTE. Die Feldstudie zeigt auf, welche monetären Auswirkungen die Umlage haben könnte. Dabei bezieht man sich auf eine veränderte Bauzeit und deren Auswirkungen auf den Umlageträger einhergehend mit dem Erlös.

Prinzipiell kann ein LV im Tunnelbau nach den übergeordneten Leistungsteilen Ausbruch, Sicherung, Injektion und Sonstiges klassifiziert werden. Änderungen der Vordersätze der am kritischen Weg liegenden Leistungsteile führen in der Regel zu einer Änderung der Bauzeit. Eine Bauzeitverlängerung oder -verkürzung hat direkte Auswirkungen auf die Ressourcen (Personal und Geräte) und dahingehend auch auf die Höhe der ZGA (positiv wie negativ). Aufgrund der hohen Komplexität (vertraglicher, technischer oder geologischer Natur) eines Tunnelbauprojekts kann das Kalkulationsrisiko, das mit der Umlage der ZGA einhergeht, nie vollständig beseitigt werden unabhängig davon welche unternehmerischen Handlungen das ausführende Unternehmen zur Preisbildung setzt.

Da die ZGA maßgeblich durch die Bauzeit bestimmt werden, weisen Bauverträge im Tunnelbau (z.B. *ÖNORM B 2203-1*) eine gewisse Flexibilität in Ausführung und späteren Abrechnung auf. Zeitabhängige Kosten werden nicht nur positionsweise im LV berücksichtigt. Ein zusätzlicher Vertragsbestandteil bildet ein Bauzeitmodell. Auf Grundlage dieses Bauzeitmodells kann eine Bauzeitverkürzung oder -verlängerung rechnerisch ermittelt und abgerechnet werden. Im gegenständlichen Kapitel bedient sich der Autor einer vereinfachten Annahme eines Bauzeitmodells. Dadurch soll die grundsätzliche Sinnhaftigkeit dieses Modells aufgezeigt werden. Das Vergütungsrisiko in der Ausführung und der späteren Abrechnung kann dadurch ein Stück weit reduziert werden.

Um eine grundsätzliche Aussage für den nationalen und internationalen Tunnelbau treffen zu können, decken die Variantenstudien ein breites Spektrum an baupraktischen Szenarien im Tunnelbau ab. Das Ziel ist, jenes Modell herauszufinden, das am geeignetsten zur Umlage und zur Deckung der ZGA erscheint. Die monetären Risiken eines Tunnelbauprojektes liegen sowohl auf Seiten des AG als auch auf Seiten des AN. Generell stellt die Umlage von zeitgebunden BGK sowohl ein Risiko als auch eine Chance dar. Risiko und Chance müssen sich jedoch die Waage halten, um ein positives Ergebnis für alle Projektbeteiligten zu erzielen.

5.1 Feldstudie der entworfenen Umlagemodelle

Aufgrund von Abweichungen des Bauablaufs musste die Bauausführung des gegenständlichen Projekts angepasst werden. Aus Gründen der Anonymisierung findet keine nähere Erläuterung statt. Mit den dokumentierten Mengen wird als Einleitung zu Kapitel 5 eine Feldstudie vorgenommen, die zeigen soll, welche Auswirkungen die unterschiedlichen Umlagemodelle auf den Erlös in Bezug auf die Bauzeit haben können. Die kumulierten Erlösfunktionen aus Bau-SOLL und Bau-SOLLTE weisen einen typischen S-Kostenverlauf auf, dies aufgrund der grundlegenden Bauphasen (Anlauf-, Hauptbau- und Auslaufzeit), näher erläutert im Kapitel 3.5.1. Die Bau-SOLL-Verläufe weisen hierbei trotz unterschiedlicher Umlagevarianten pro Umlagemodell ein kongruierendes Verhalten auf. Im Gegensatz dazu zeigen die Bau-SOLLTE-Verläufe pro Modell aufgrund der Abweichungen des Bauablaufs in der Ausführungsphase und Umlage in unterschiedliche Leistungsteile (Ausbruch, Sicherung und Injektion etc.) divergente Erlösfunktionen auf.

Grundsätzlich ist hinsichtlich der Feldstudie festzuhalten, dass es zu Veränderungen der Vordersätze bei den Leistungsteilen gekommen ist. Die einzelnen Leistungsteile haben sich insofern verändert, als beim Leistungsteil Ausbruch geringfügigen Massenmehrungen im Zuge der Bauausführung aufgetreten sind. Die Mengen der Sicherung haben sich um 20% erhöht. Darüber hinaus nahm der Leistungsteil Injektion im Mittel um das Vierfache zu. Aufgrund der Anpassung der Vordersätze der divergenten Leistungsteile hat sich die Ausführungszeit um das 3-Fache erhöht.

Modell 1 – Ausbruch

Grundsätzlich ist an den Verläufen der Erlösfunktionen in Abb. 5.1 ein ähnliches Erlösverhalten über die Bauzeit zu erkennen. Der Verlauf des SOLL-Erlöses weist in der Anlaufzeit einen progressiven Anstieg von Baumonat 0 bis 3 auf, dies aufgrund der Tatsache, dass der Ressourceneinsatz von Personal und Geräten sukzessive zunimmt. Anschließend verhält sich der SOLL-Erlös proportional über den Zeitraum Baumonat 3 bis 15. Der Leistungsteil Ausbruch fällt in gleicher Höhe über die Bauzeit an. Von Baumonat 15 bis 17 nimmt die Erlösfunktion ein degressives Verhalten in Richtung Soll-Ende an. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass die Ressourcen abgebaut werden. Im Gegensatz dazu weist die Erlösfunktion des SOLLTE-Erlöses Schwankungen vom Baumonat 5 bis 44 auf. Die Anlaufphase erstreckt sich über den gleichen Zeitraum (3 Baumontate). Von Baumonat 10 bis 12 ist eine hohe Vortriebsleistung erkennbar (steiler Anstieg der Erlösfunktion). Trotz Schwankungen ist ein proportionales Verhalten der SOLLTE-Erlösfunktion über den Zeitraum Baumonat 13 bis 18 bzw. 22 bis 41 festzumachen. Die Ausbrucharbeiten werden pro Monat in gleichbleibender Höhe fortgesetzt. Ab Baumonat 41 sind diese weitestgehend abgeschlossen. Die Erlösfunktion verläuft in Richtung SOLLTE-Ende degressiv. Es werden Ressourcen abgebaut (z.B. Abgang von Personal, wie etwa der Vortriebsmannschaft, Poliere etc.). Mit diesem Umlagemodell würde ein SOLLTE-Erlös von 223 Millionen SEK erzielt werden.

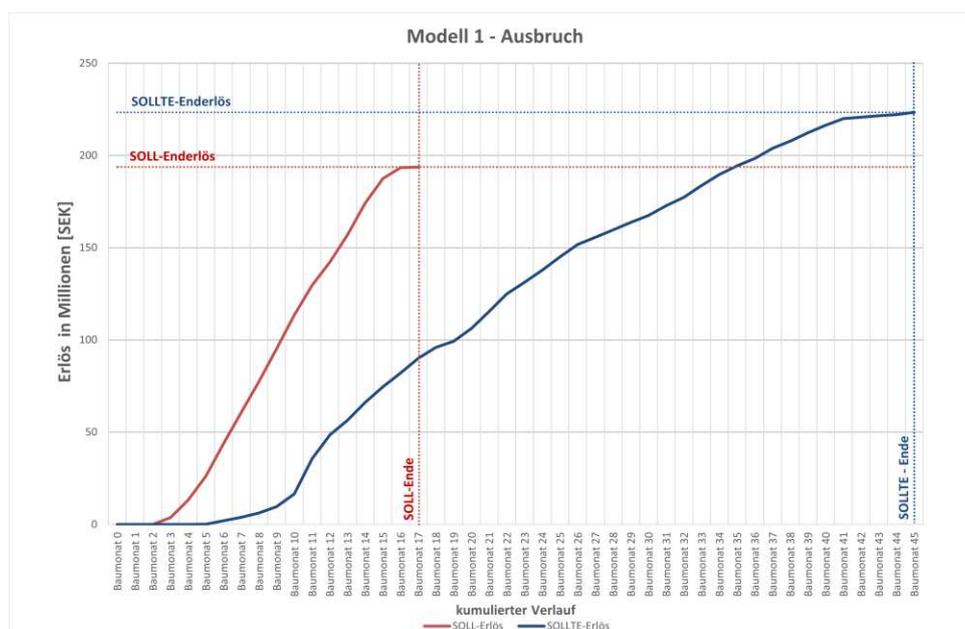


Abb. 5.1: Erlösfunktion aus Bau-SOLL und Bau-SOLLTE für Modell 1 – Ausbruch

Modell 2 – Sicherung

Der Leistungsteil Sicherung ist dem Leistungsteil Ausbruch im Wesentlichen sehr ähnlich. In der folgenden Abb. 5.2 ist eine beispielhafte Umlage auf den Umlageträger SpC dargestellt. Es zeigt sich ein ähnliches Verhalten des Erlöses von Bau-SOLL und Bau-SOLLTE über die Bauzeit wie beim Modell 1. Die Sicherungsarbeiten beginnen zeitgleich ab Baumonat 5. Vom Zeitraum Baumonat 10 bis 12 ist ein hoher Einsatz von Spritzbeton erkennbar. Ein proportionales Erlösverhalten über die Bauzeit ist von Baumonat 12 bis 19, 20 bis 30 und 31 bis 41 erkennbar. Ab Baumonat 41 sind die Sicherungsarbeiten großteils abgeschlossen. Mittels der Umlage der ZGA auf den Umlageträger SpC ergibt sich ein SOLLTE-Erlös in Höhe von 224 Millionen SEK.

Modell 3 – Injektion

Abb. 5.3 stellt die Erlösfunktionen über die Bauzeit gegenüber und beschreibt darüber hinaus die Umlage auf den Umlageträger *Pumpenstunden*. Der kumulierte Kostenverlauf des SOLL-Erlöses weist einen typischen S-Kostenverlauf über den Zeitraum der SOLL-Bauzeit auf. An der SOLLTE-Erlösfunktion ist im Unterschied festzustellen, dass der kumulierte Verlauf wesentliche Abweichungen über den tatsächlichen Ausführungszeitraum aufweist. Ab Baumonat 5 startet die Haupttätigkeit Injektion. Über den Zeitraum Baumonat 5 bis 8 liegen die durchschnittlichen Pumpenstunden pro Monat bei 70 h/Mo. Die geringe Leistung ist auf Abweichungen des Bauablaufs zurückzuführen, sodass die Vortriebsmannschaft den Bauablauf entsprechend anpassen muss. Von Baumonat 8 bis 18 bzw. 19 bis 40 liegen wiederum die Pumpenstunden pro Monat bei 200 h/Mo. Von Baumonat 40 bis 45 nähern sich die Injektionsarbeiten degressiv dem SOLLTE-Ende an. Die Umlage der ZGA auf den Umlageträger *Pumpenstunden* würde einen Erlös von 509 Millionen SEK verursachen.

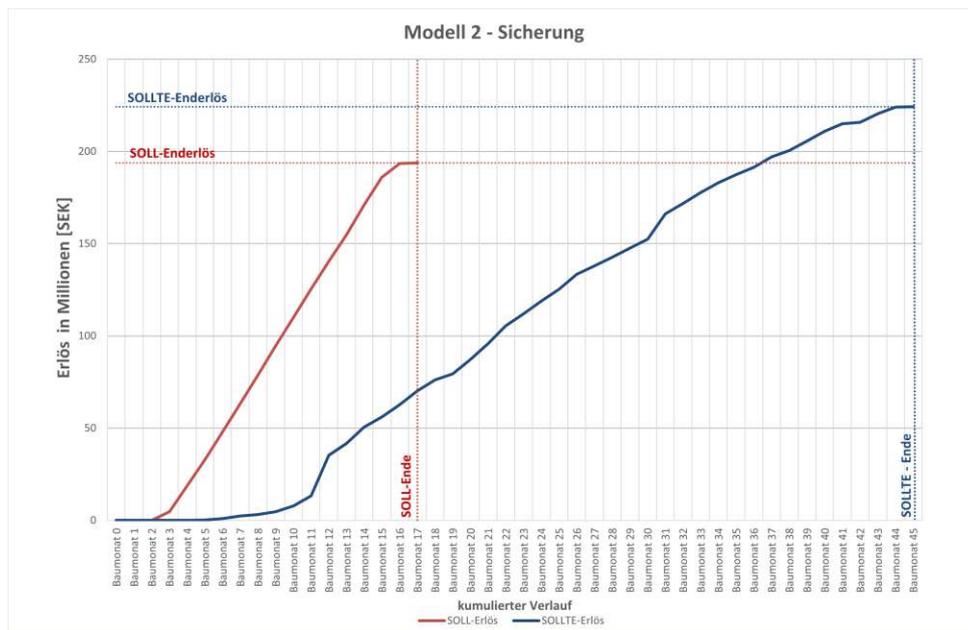


Abb. 5.2: Erlösfunktion aus Bau-SOLL und Bau-SOLLTE für Modell 2 – Sicherung

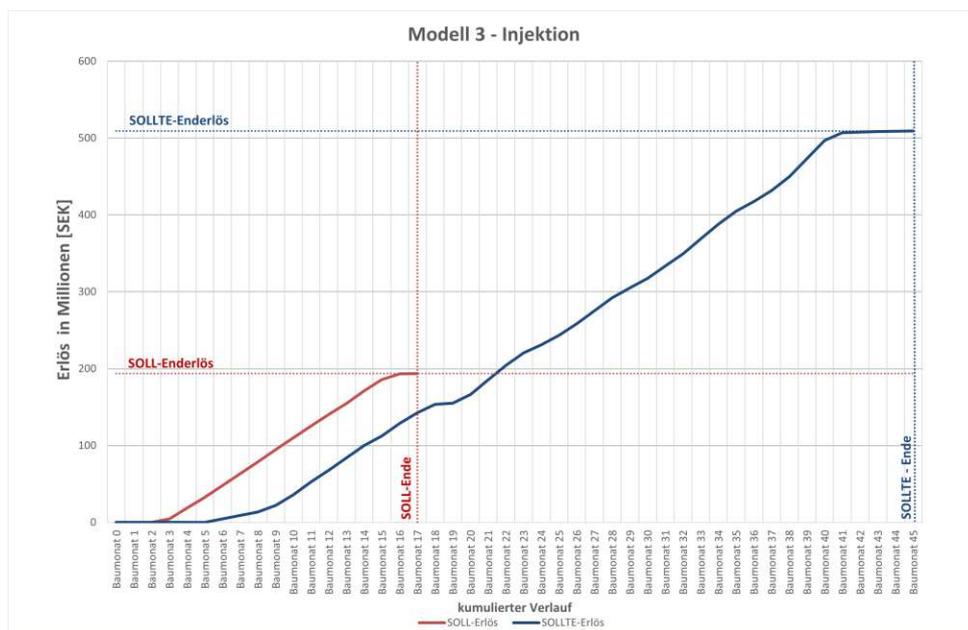


Abb. 5.3: Erlösfunktion aus Bau-SOLL und Bau-SOLLTE für Modell 3 – Injektion

Modell 4 – Mittellohn

Abb. 5.4 beschreibt den SOLL- und SOLLTE-Erlös des Umlagemodells 4, dies mit der Umlage auf die *produktiven Stunden*. Vom Baumonat 5 bis 9 ist ein progressives Erlösverhalten ersichtlich. Der Einsatz von unproduktivem Personal wird sukzessive pro Baumonat erhöht. Über den Zeitraum Baumonat 9 bis 18 bzw. 19 bis 40 werden Vortriebsarbeiten in gleichbleibender Höhe durchgeführt. Die Vortriebsarbeiten Ausbruch, Sicherung und Injektion etc. sind mit Baumonat 45 endgültig abgeschlossen. Mittels der Umlage auf den Umlageträger *produktive Stunden* würde ein Erlös in Höhe von 219 Millionen SEK lukriert werden.

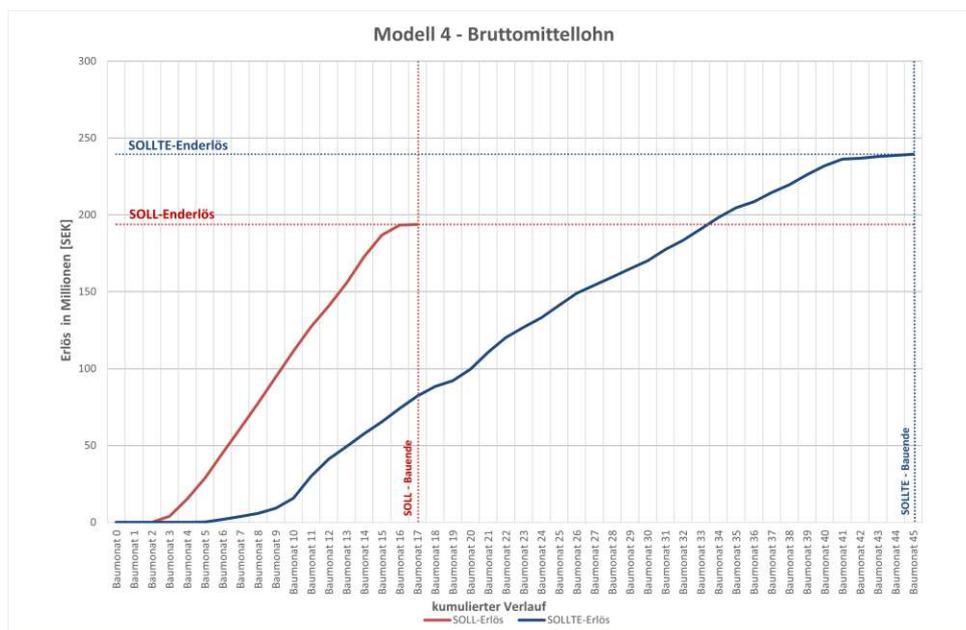


Abb. 5.4: Erlösfunktion aus Bau-SOLL und Bau-SOLLTE für Modell 4 – Mittellohn

Modell 5 – Gesamtzuschlag

Abb. 5.5 stellt die monetäre Gegenüberstellung von Bau-SOLL und Bau-SOLLTE dar. Nach Umlage der ZGA auf alle Kostenarten erhöht sich das Bau-SOLLTE absolut um 47 Millionen SEK im Vergleich zum Bau-SOLL. Die Divergenz ergibt sich durch eine proportionale Belastung der Kostenarten mittels des Zuschlagsatzes. Ändert sich die Höhe des Umlageträgers nehmen die ZGA in gleicher Höhe zu. Die Umlage der zeitabhängigen Kosten auf sämtliche Einzelkosten würde einen SOLLTE-Erlös von 224 Millionen SEK verursachen.

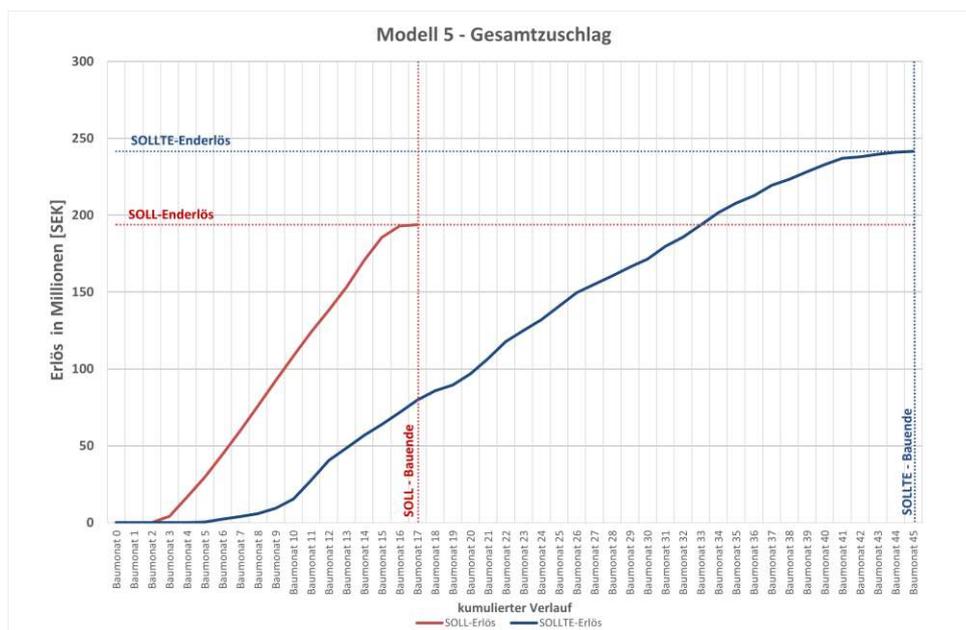


Abb. 5.5: Erlösfunktion aus Bau-SOLL und Bau-SOLLTE für Modell 5 – Gesamtzuschlag

Modell 6 – Zeitgebundene Position

In Abb. 5.6 werden das Bau-SOLL und das Bau-SOLLTE des gegenständlichen Modells zeitlich gegenübergestellt. Der SOLL-Erlös weist wie in den oben dargestellten Modellen einen S-Kostenverlauf auf. Es lässt sich jedoch erkennen, dass im Baumonat 0 ein Sprung in der Erlösfunktion erfolgt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bereits mit Baumonat 0 ein zeitgebundener Erlös anfällt. Über die Vortriebsdauer Baumonat 3 bis 17 fallen die ZGA in nahezu gleicher Höhe an.

Der SOLLTE-Verlauf weist über den Zeitraum Baumonat 3 bis 45 einen proportionalen Anstieg über die Bauzeit auf, da der berechnete Verrechnungssatz [SEK/Mo] in annähernd gleicher Höhe bis zum SOLLTE-Ende anfällt. Der SOLLTE-Erlös für Bauregie, Geräte, Lohn und Energie wird somit über die vollständige Vortriebsdauer vergütet. Insgesamt würde sich dieser auf 410 Millionen SEK belaufen.

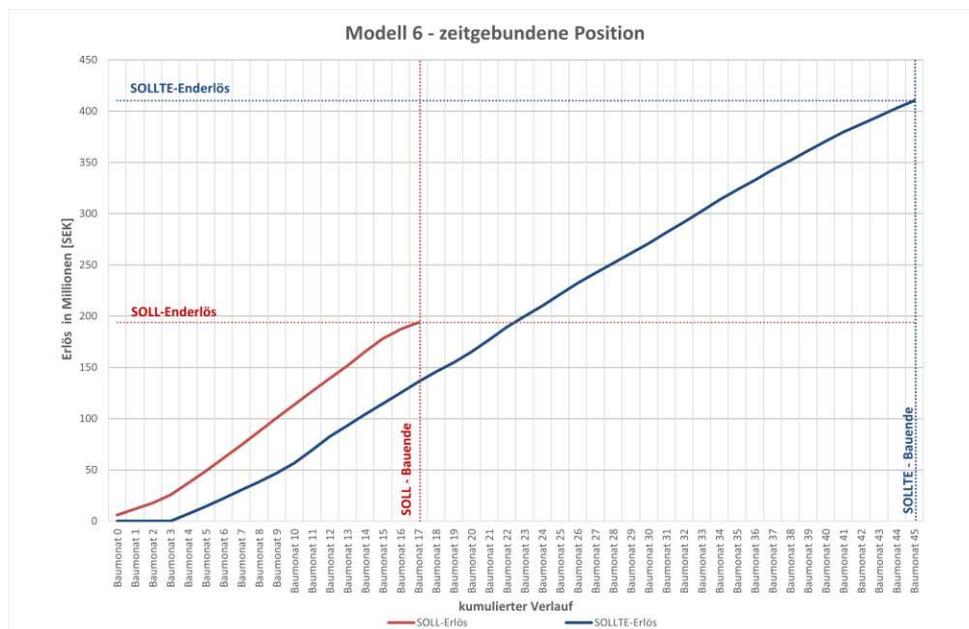


Abb. 5.6: Erlösfunktion aus Bau-SOLL und Bau-SOLLTE für Modell 6 – Zeitgebundene Position

Gegenüberstellung der Umlagemodelle

Im folgenden Unterabschnitt findet eine gesamtheitliche Gegenüberstellung der Erlösfunktionen der entwickelten Umlagemodelle statt. Dies wird in Abb. 5.7 veranschaulicht.

Anhand der Bau-SOLL-Verläufe ist erkennbar, dass die Modelle 1 bis 6 einen nahezu gleichartigen Verlauf von Baumonat 0 bis 17 aufweisen. Modell 6 unterscheidet sich insofern von den übrigen Modellen, als der Erlös in annähernd gleicher Höhe pro Baumonat verursacht wird. Dies erklärt den Sprung am Beginn der Erlösfunktion in Höhe von 5 Millionen SEK. Unabhängig des Verlaufs über die SOLL-Bauzeit nehmen sämtliche Modelle den SOLL-Enderlös von 193 Millionen SEK ein. Nachvollziehbar, da die ZGA pro Modell nur auf unterschiedliche Umlageträger umgelegt werden.

Das Bau-SOLLTE verdeutlicht, dass eine Umlage der ZGA auf divergente Umlageträger wesentliche monetäre Auswirkungen des Enderlöses mit sich bringen würde. Trotz einer Abweichung des Bauablaufs weisen die Modelle 1 und 2 einen ähnlichen SOLLTE-Enderlös auf. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass die Umlageträger der Leistungsteile Ausbruch und Sicherung keiner wesentlichen Mengenmehrung unterliegen. Mit dem SOLLTE-Bauende nimmt Modell 1 den geringsten Enderlös mit 223 Millionen SEK ein. Dies entspricht einer relativen Änderung von

15% bezogen auf den SOLL-Enderlös. Das Modell 2 liegt mit 224 Millionen SEK nur marginal über dem Modell 1. Im Gegensatz zu den Umlageträgern *Ausbruch* und *Spritzbeton* unterliegt der Umlageträger *Pumpenstunden* des Modells 3 einer massiven Mengenmehrung. Dieser Umstand sorgt dafür, dass mit diesem Umlagemodell ein maximaler Enderlös von 500 Millionen SEK lukriert werden könnte. Zwischen den Modellen 4 und 5 kann dahingehend ein Vergleich gezogen werden, dass diese neben einem nahezu identen Erlösverhalten über die vollständige Vortriebsdauer geringfügige monetäre Unterschiede (2 Millionen SEK) des Enderlöses aufweisen. Dies erklärt sich dadurch, dass sich die Leistungsteile *Ausbruch*, *Sicherung* und *Injektion* nicht im selben Verhältnis im Zuge der Abweichung des Bauablaufs ändern. Das Modell 6 weist im Vergleich zu den übrigen Umlagemodellen ein proportionales Verhalten der Erlösfunktion über die gesamte Vortriebsdauer auf, dies mit einem Enderlös in Höhe von 410 Millionen SEK.

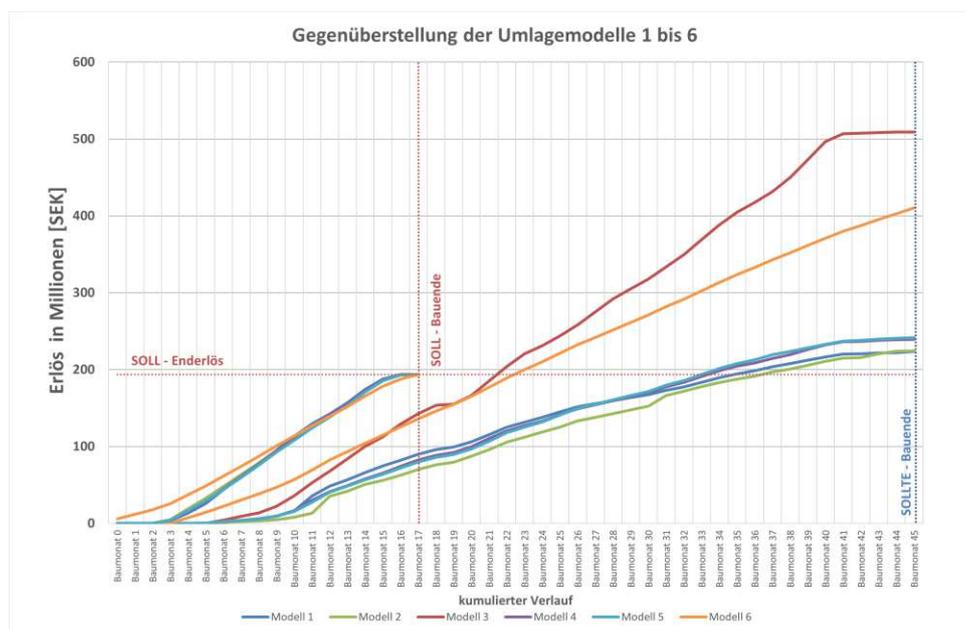


Abb. 5.7: Gegenüberstellung der Umlagemodelle 1 bis 6 – Erlösfunktion Bau-SOLL und BAUSOLLTE

Anhand der Gegenüberstellung wird ersichtlich, dass im Fall einer Abweichung des Bauablaufs die Umlage auf divergente Umlageträger wesentliche monetäre Auswirkungen auf die Vergütung mit sich ziehen würde. Massive Änderungen des Vordersatzes, wie es beim Modell 3 der Fall ist, bewirken den maximalen SOLLTE-Erlös im Vergleich zu den übrigen Modellen. Treten geringfügige Anpassungen der LV-Menge im laufenden Baubetrieb auf, sorgt dies für unwesentliche monetäre Divergenzen bezogen auf den SOLL-Erlös, obwohl sich die Bauzeit fast um das 2,6-fache erhöht. Dies ist anhand der Modelle 1, 2, 4 und 5 identifizierbar. Das Modell 6 berücksichtigt neben den Anpassungen der Leistungsteile *Ausbruch*, *Sicherung*, *Injektion* und *Sonstige* die veränderte Bauzeit. Dieses Modell unterliegt den geringsten Schwankungen über die gesamte Vortriebsdauer.

In den folgenden Kapiteln findet eine ausführliche Auseinandersetzung in Form von Variantenstudien statt. Diese analysieren durch Anpassungen des Vordersatzes der am kritischen Weg liegenden Leistungsteile *Ausbruch*, *Sicherung* oder *Injektion* die monetären Auswirkungen auf die Umlagemodelle 1 bis 6.

5.2 Grundsätzliche Vorgehensweise der Variantenstudien

Der schwedische Bauvertrag stellt das Bau-SOLL dar. Das Resultat der einzelnen Variantenstudien, durch Anpassung der Vordersätze, beschreibt das Bau-SOLLTE.

Dieses Kapitel gliedert sich in drei Abschnitte. Den ersten Abschnitt bildet die Modellsimulation anhand baupraktischer Szenarien. Die zweite Variantenstudie zeigt die Risiken der Umlage der ZGA anhand einer fixen Bauzeitveränderung auf. Um zu veranschaulichen, welches Wagnis mit der Umlage der ZGA einhergeht, wird in der letzten Variantenstudie die Bauzeitveränderung als variabel und nicht als fix angenommen. Auf Grundlage dieser Variantenstudien kann abschließend eine fundierte Aussage zu den unterschiedlichen Umlagemodellen getroffen werden, dies mit dem Ziel bei gesichertem Erlös und geringstem Kalkulationsrisiko das *sicherste* Modell auszumachen.

	Leistungsumfang	
	Bau-SOLL	Bau-SOLLTE
Einheitspreis	Vertraglich vereinbart	Vertraglich vereinbart
LV-Menge	Vertraglich vereinbart	der Bauausführung entsprechend
Positionspreis	SOLL-Menge x EHP	IST-Menge x EHP
Angebotssumme	Σ Positionspreise	Σ Positionspreise

Abb. 5.8: Bau-SOLL und Bau-SOLLTE

Grundsätzlich kann ein Bauprojekt in den Leistungsumfang Bau-SOLL und Bau-SOLLTE differenziert werden, dargestellt in Abb. 5.8. Das Bau-SOLL stellt die Bauleistungen dar, wie sie in den Leistungspositionen im LV beschrieben sind. Darüber hinaus werden laut *ÖNORM B 2118* unter Bauleistungen all jene Leistungen verstanden, die durch den Bauvertrag festgelegt werden. Dazu zählen neben dem Leistungsverzeichnis die vertraglichen und rechtlichen Bestimmungen, die Baubeschreibung und die Pläne.¹⁶¹ Die LV-Positionen inklusive des Vordersatzes wird durch den AG festgelegt. Eine vollumfängliche Beschreibung der Bauleistung in einer LV-Position erfolgt durch den Einheitspreis (EHP). Dieser wird vom AN im Zuge der Angebotsphase kalkuliert. Das Resultat ist der Positionspreis pro Position. Aus der Summe der Positionspreise errechnet sich die Angebotssumme, die den zu vergütenden SOLL-Erlös darstellt.

Im Gegensatz dazu repräsentiert das Bau-SOLLTE den angepassten vertraglichen Leistungsumfang. Der Vordersatz richtet sich nach den tatsächlichen Mengen, die im Zuge der Bauausführung auftreten. Die IST-Menge multipliziert mit dem SOLL-EHP ergibt den Positionspreis und damit den SOLLTE-Erlös. Änderungen der Vordersätze betreffen nicht nur mengenabhängige, sondern auch zeitabhängige Positionen (Modell 6). Um Abweichungen eines Bauablaufs in der Bauzeit zu berücksichtigen, wird in Anlehnung an die *ÖNORM B 2203-1* der schwedische Bauvertrag um ein Bauzeitmodell erweitert.

Bauzeitmodell laut ÖNORM

Ein Bauzeitmodell verfolgt den Grundsatz, dass Abweichungen zwischen prognostizierten und tatsächlichen Bedingungen laut Bauvertrag berücksichtigt werden. Die Abweichungen des Bauablaufs beziehen sich auf die tatsächlichen Untergrundverhältnisse, die im laufenden Baubetrieb auftreten. Aus diesem Grund werden die Vortriebsklassen entsprechend angepasst. Nach abgeschlossenen Vortriebsarbeiten liegt die vollständige und tatsächliche Vortriebsklassenverteilung

¹⁶¹Vgl. [37] ÖNORM B 2118: 2021-12-01, S. 9

vor.¹⁶²

Als Berechnungsgrundlage dienen die laut Ausschreibung bekannten Vortriebsklassen, um die Bauzeit für ein Bauzeitmodell zu berechnen. Dieser Tatsache geschuldet, werden die Vortriebsarbeiten in Tabellenform dargestellt (Zeilen Nr. 1 bis 2), wie man in Abb. 5.9 erkennen kann. Jeder Vortriebsklasse wird darüber hinaus eine Vortriebslänge zugewiesen (Spalte I). Das ausführende Unternehmen setzt in der Spalte II die Vortriebsgeschwindigkeit ein. Daraus errechnet sich die Vortriebsdauer. Exemplarisch wird die Vortriebsdauer in Tunnelmetern pro Kalendertag angegeben. In Zeile 3 errechnet sich die prognostizierte und theoretische Gesamtbauzeit.

Prognostizierte variable Vortriebsdauer der Tunnelröhren KALOTTE						Theoretische Bauzeit KALOTTE		
Zeilen Nr.	Vortriebsklasse Kalotte	I	II	III = I : II	IV	V = VI : II		
		Menge	Einheit	Vortriebs geschwindigkeit [m/KT]	Vortriebsdauer [KT]	Menge tatsächlich	Einheit	theoretische Vortriebsdauer [KT]
1	VKL X/XX	-	m		X	-	m	A
2	VKL Y/YY	-	m		Y	-	m	B
3		-	m	Summe =	X + Y	-	Summe =	A + B
4	Vortriebsunterbrechungen gem ÖNORM B 2203-1 [KT] (Vom AG für Angebot vorgegeben)				W			W
5	Prognostizierte Vortriebsdauer [KT] (ohne Vortriebs-Stilliegezeiten als Summe Zeile 3 + 4)				X + Y			A + B + W
6	Vortriebs-Stilliegezeiten gem ÖNORM B 2203-1 [KT] (Vom AG für Angebot vorgegeben)				Z			Z
7	Prognostizierte Vortriebsdauer [KT] (inkl. Vortriebs-Stilliegezeiten als Summe Zeile 5 + 6)				X + Y + Z			A + B + W + Z

vom Bieter einzusetzen
 berechnet
 Abgestimmt zw. AN und AG

Abb. 5.9: Bauzeitmodell – ÖNORM B 2203-1 (Quelle: modifiziert nach Goger und Chylik [17, S. 15])

Spezifika, die nicht direkt mit den Vortriebsarbeiten abgegolten werden, lassen sich als zusätzliche Zeiten in der Tabelle darstellen. Darunter werden laut *ÖNORM B 2203-1* die Vortriebsunterbrechung (Zeile 4) und Vortriebsstilliegezeiten (Zeile 6) verstanden. Dem Vertragswerk entsprechend, gilt die kalkulierte Vortriebsgeschwindigkeit innerhalb definierter Schranken je Vortriebsklasse. Geringfügige Abweichungen beeinflussen die Leistung somit nicht. Dadurch errechnet sich summa summarum die prognostizierte Vortriebsdauer (Zeile 7).

Treten im Zuge der Vortriebsarbeiten Abweichungen des Bauablaufs auf, die zu einer Verschiebung der Vortriebsklassen und somit zu einer Änderung der Vortriebsgeschwindigkeit führen, so spricht man von der theoretischen Bauzeit. Die tatsächlichen Vortriebsmeter werden hierfür zwischen AN und AG abgestimmt und in Spalte IV, in Abhängigkeit der tatsächlichen Vortriebsklasse, eingetragen. Dadurch lässt sich jede Abweichung im Bauablauf, die mit den Vortriebsarbeiten zusammenhängt, abbilden. Weiteres können über dieses Modell die ZGA verursachungsgerecht abgegolten werden. Der Gesamterlös richtet sich somit nach den Zeitangaben des ausführenden Unternehmens.¹⁶³

Bauzeitmodell beim untersuchten Projekt

Für die einzelnen Variantenstudien wird exemplarisch die aus dem schwedischen Tunnelbauprojekt bekannte Bauzeit von 15 Monaten herangezogen, siehe Abb. 5.10. Diese stellt das Bau-SOLL dar. Der Leistungsteil Ausbruch erstreckt sich über 8 Baumonate. Die Sicherungsarbeiten werden über einen Zeitraum von 5 Baumonaten erstellt. Der Leistungsteil Injektion nimmt 2 Baumonate in Anspruch. Der Autor möchte ausdrücklich darauf hinweisen, dass die zeitlichen

¹⁶²Vgl. [6] Bundesanstalt für Straßenwesen, S. 8

Verhältnisse nicht den tatsächlichen entsprechen. Sie stellen lediglich eine beispielhafte Annahme dar, um aufbauend auf dieser, die drei Variantenstudien durchführen zu können. Darüber hinaus werden Vortriebsunterbrechungen und Vortriebsstilligzeiten nicht berücksichtigt. Das vereinfachte Bauzeitmodell soll nur die grundsätzliche Vorgehensweise im Umgang mit der Bauzeit aufzeigen.

prognostiziert Bauzeit	
[Mo]	
Ausbruch	8,00
Sicherung	5,00
Injektion	2,00
Bauzeit	15,00

Abb. 5.10: Bauzeitmodell – Variantenstudien

Auf Grundlage der gesammelten Erkenntnissen aus dem Kapitel 3.5.4 wird dem Leser der kritische Weg in Form einer vereinfachten Darstellung, dargestellt in Abb. 5.11, bildhaft verdeutlicht. Die Gesamtbauzeit setzt sich aus den Festzeiten 1 und 2 (Baustellenrichtung und -räumung) und den leistungsabhängigen Zeiten von Vortriebsbeginn bis Betonierende zusammen. Die variablen Zeiten, welche durch die am kritischen Weg liegenden Leistungsteile (Ausbruch, Sicherung und Injektion), bestimmt werden, beeinflussen die Gesamtbauzeit maßgeblich. Gemäß Abb. 5.11 setzen sich diese aus den Vortriebsarbeiten in den beiden Tunnelröhren zusammen. Darüber hinaus werden Innenausbauarbeiten zur Herstellung der Innenschale berücksichtigt. Da diese im Tunnelbau nach Festzeiten abgerechnet werden, liegt keine Beeinflussung der Bauzeit vor. Die Rohbauarbeiten und Betonierarbeiten können unmittelbar aneinander anschließen, sich überlappen oder durch Pufferzeiten getrennt werden. Die endgültige Gesamtbauzeit ergibt sich aus dem kritischen Weg, der sich über die Festzeiten und die variablen Zeiten erstreckt.¹⁶³

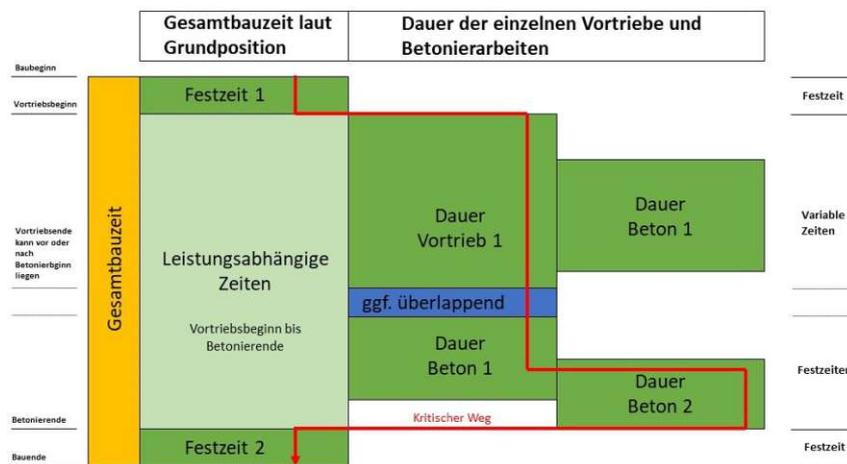


Abb. 5.11: Beispielhaftes Bauzeitmodell (Quelle: modifiziert nach Bundesanstalt für Straßenwesen [6, S. 9])

Die Dauer der Leistungsteile richtet sich in der Regel nach den Vortriebsarbeiten im Bereich der Kalotte, da diese am kritischen Weg liegt. Der Nachlauf in Form des Strossen-/ Sohlenvortriebs wirkt auf den Kalottenvortrieb nicht ein. Arbeiten, die nicht am kritischen Weg liegen, wie z.B. gleichzeitig laufende Vortriebsarbeiten oder Betonierarbeiten werden nicht berücksichtigt. Die zeitliche Spanne dieser Arbeiten findet gesondert statt.

¹⁶³Vgl. [6] Bundesanstalt für Straßenwesen, S. 14

5.3 Variantenstudie 1 – Modellsimulation

Auf Basis der entwickelten Umlagemodelle werden die Vordersätze der Leistungsteile Ausbruch, Sicherung, Injektion und Sonstiges mittels sieben Varianten in ihrer Höhe, nach typischen Szenarien im Tunnelbau, variiert. Das Ziel der ersten Variantenstudie ist es, jenes Umlagemodell auszumachen, dass die ZGA am realistischen abbildet.

Zu Beginn der folgenden Variantenstudien muss eine Systematik zur Anpassung der Vordersätze einzelner Leistungsteile bestimmt werden. In der Phase der Angebotskalkulation stellt der Unternehmer grundsätzlich Überlegungen an, welches Spektrum die Leistungsteile annehmen können. Der Unternehmer stellt sich somit die Frage, was in der Ausführung eines Tunnelbauprojektes passieren könnte. Der Autor hat zu den jeweiligen Teilen, folgende Szenarien ausgemacht:

Ausbruch: Bei einem geplanten Tunnelbauprojekt wird die Tunnellänge festgelegt, die grundsätzlich als unveränderliche Größe im Tunnelbau bezeichnet werden kann. Die sich daraus errechnende Ausbruchkubatur unterliegt somit kaum Schwankungen. Der Vordersatz der Ausbruchpositionen weist somit in der Bauausführung wenn dann nur geringe Abweichungen auf. Das Spektrum der Vordersätze bewegt sich im Prozentbereich von rund $\pm 5\%$. Kommt es zur Anpassung der Tunnellänge, kann dies beispielhaft mit einer dynamischen Baugrenze zusammenhängen.

Sicherung: Die einzubauende Stützmittelmenge wird durch den AG festgelegt. Diese orientiert sich bei den meisten Tunnelbauprojekten an der Mindestsicherung und an der zur Verfügung stehenden Fläche von Tunnellaibung und Ortsbrust. Die Stützmittelmenge kann in der Bauausführung variieren. Diese muss sich nicht immer an der Mindestsicherung (100%) orientieren. Die Menge an einzubauenden Stützmittel kann darunter oder auch darüber liegen. Als untere Stützmittelgrenze wird ein Prozentsatz von -10% angenommen. Die maximale Abweichung nach oben wird ebenfalls mit $+10\%$ geschätzt. Für die Verdeutlichung der Variantenstudie kommen jedoch größere Abweichungen bei der Simulation zum Einsatz.

Injektion: Der Leistungsteil Injektion ist im Vergleich zu den soeben dargestellten Leistungsteilen maßgeblich von den geologischen und hydrologischen Untergrundverhältnissen abhängig. Die prognostizierten und tatsächlichen Bedingungen klaffen daher bei einer Vielzahl von Tunnelbauprojekten auseinander, falls die Injektionsarbeiten zur Anwendung kommt. Aus diesem Grund ist eine Umlage der ZGA auf diesen Leistungsteil mit großen Störungsanfälligkeiten in Bezug auf die Vordersätze verbunden. Prozentuale Abweichungen im Bereich -50% und $+300\%$ drücken diesen Sachverhalt aus.

Sonstiges: Unter diesen Leistungsteil werden jene Bauleistungen verstanden, die nicht am kritischen Weg liegen und aus diesem Grund die Bauzeit im laufenden Baubetrieb nicht beeinflussen. Die Auswirkungen sind monetärer und nicht zeitlicher Natur.

Das oben beschriebene Spektrum der Leistungsteile wird im Folgenden vereinfacht in Tab. 5.1 pro Umlagemodell und Variante tabellarisch festgehalten. Die Simulation der Modelle findet mittels sieben Varianten statt.

Die sieben Varianten können wie folgt beschrieben werden. **Variante 0** stellt das Bau-SOLL dar. Die Menge der Vordersätze richtet sich nach dem schwedischen Bauvertrag. Für **Variante 1** werden die tatsächlichen Vordersätze der Leistungsteile herangezogen. Diese entsprechen dem Bau-SOLLTE. In **Variante 2** findet eine außerordentliche Mengenerhöhung der Leistungsteile Sicherung, Injektion und Sonstiges statt (+ +). Der Ausbruch unterliegt keiner Änderung und entspricht dem Vordersatz des Bau-SOLL (o). Exemplarisch wird jenes Szenario im Tunnelbau angenommen, dass sich die Untergrundverhältnisse ungünstiger als ursprünglich prognostiziert,

	Variante 0	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 7
Ausbruch	SOLL	tatsächlich	o	o	o	o	o	o
Sicherung	SOLL	tatsächlich	++	--	+	+	++	-
Injektion	SOLL	tatsächlich	++	--	o	--	--	++
Sonstiges	SOLL	tatsächlich	++	--	o	+	--	++

Tab. 5.1: Variantenstudie 1 – Spektrum

darstellen. Die Vordersätze in **Variante 3** pro Leistungsteil entsprechen genau dem Gegenteil. Es liegt eine Mengenminderung, anstatt einer Mehrung vor (- -), dies unter der Annahme, dass sich die Untergrundverhältnisse weit besser darstellen als in Variante 2 angenommen. In **Variante 4** sind die Vordersätze der Leistungsteile Ausbruch, Injektion und Sonstiges ident mit dem Bau-SOLL. Die LV-Menge der Sicherung nimmt geringfügig ab (-). **Variante 5** zeichnet sich im Vergleich zur Variante 4 insofern aus, als die Injektionen um 50% reduziert werden. Der Leistungsteil Sonstiges erhöht sich geringfügig (+). Dies erklärt sich dadurch, dass sich die hydrologischen und geologischen Bedingungen weit besser in der Ausführung darstellen als in einer Ausschreibung angenommen. **Variante 6** geht ebenfalls von verbesserten Untergrundverhältnissen für Injektionsarbeiten aus, die einzubringenden Stützmittel werden jedoch um 50% erhöht. In der abschließenden **Variante 7** nimmt der Vordersatz für Sicherung um 110% ab. Hingegen nimmt der Leistungsteil Injektion und Sonstiges zu.

Die unterschiedlichen Varianten führen nicht nur zu einer Anpassung des Vordersatzes pro Leistungsteil, sondern sind zusätzlich mit einer Bauzeitveränderung verknüpft. Dahingehend wird die folgende Tab. 5.2 um die Zeile Bauzeit erweitert. Diese stellt das Spektrum tabellarisch nach den unterschiedlichen Prozentsätzen pro Umlagemodell und Variante dar.

	Variante 0	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 7
Ausbruch	100%	103%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Sicherung	100%	107%	200%	80%	150%	150%	200%	90%
Injektion	100%	400%	200%	50%	100%	50%	50%	200%
Sonstiges	100%	100%	200%	50%	100%	150%	50%	200%
Bauzeit	100,00%	202,53%	146,67%	80,67%	106,67%	90,00%	96,67%	132,00%

Tab. 5.2: Variantenstudie 1 – prozentuale Verteilung pro Leistungsteil und Variante

Die Bauzeit variiert signifikant zwischen den unterschiedlichen Varianten. Exemplarisch werden Variante 0, 1 und 3 näher erläutert. Da die **Variante 0** das vertragliche SOLL darstellt, liegt dementsprechend die Bauzeit bei 100%. Mittels **Variante 1** und **Variante 3** wird die Änderung der Bauzeit aufgrund einer Mengenerhöhung bzw. -minderung, offensichtlich. Trotz der geringen Anpassung des Vordersatzes von Ausbruch und Sicherung wirkt sich der Leistungsteil Injektion massiv auf die Bauzeit aus. Im Gegensatz dazu liegt bei der Variante 3 eine Bauzeitverkürzung vor. Der Vordersatz für Sicherung, Injektion und Sonstiges reduziert sich um mehr als das Doppelte.

	Variante 0	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 7
	[Mo]							
Ausbruch	8,00	8,24	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Sicherung	2,00	2,14	4,00	1,60	3,00	3,00	4,00	1,80
Injektion	5,00	20,00	10,00	2,50	5,00	2,50	2,50	10,00
Summe	15,00	30,38	22,00	12,10	16,00	13,50	14,50	19,80

Tab. 5.3: Variantenstudie 1 – vereinfachtes Bauzeitmodell

In Tab. 5.3 ist die zeitliche Gegenüberstellung pro Variante und Modell in Baumonaten dargestellt. Diese errechnet sich aus der Multiplikation der SOLL-Bauzeit pro Leistungsteil und

der prozentualen Verteilung laut Tab. 5.2. Auf Grundlage der Tab. 5.2 basieren die folgenden Abb. 5.12 und Tab. 5.4. Diese stellen anschaulich den Erlös der Umlagemodelle den jeweiligen Varianten gegenüber. Am Beginn werden die entwickelten Umlagemodelle auf ihre Schwankungen untersucht. Im Anschluss folgt eine Gegenüberstellung pro Modell und Variante mit einem abschließenden Resümee.

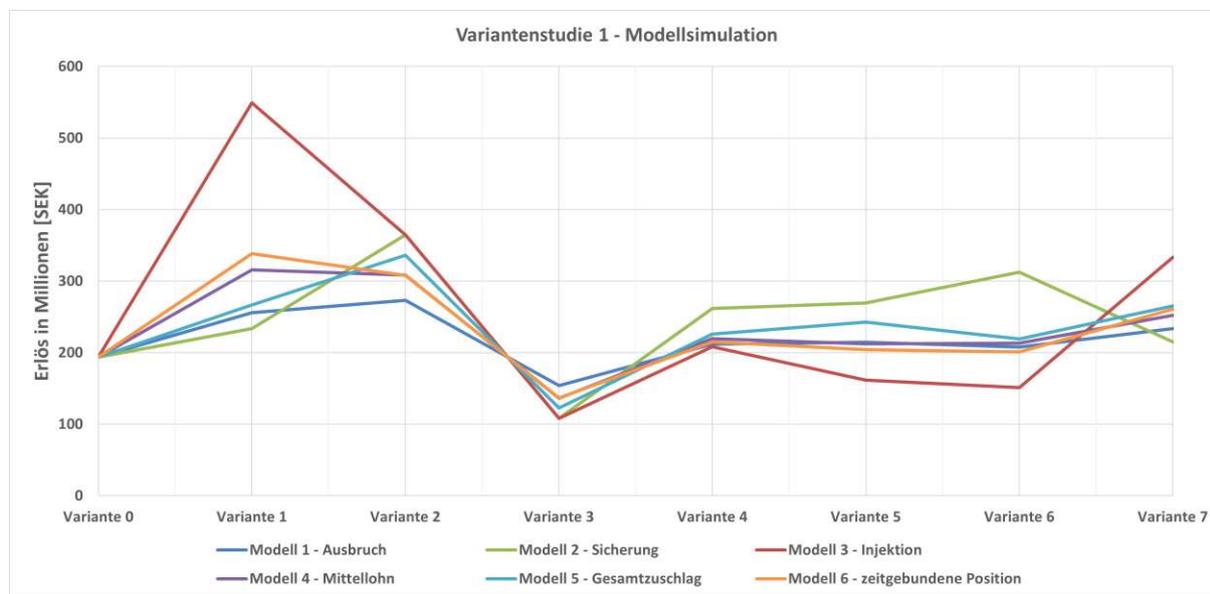


Abb. 5.12: Variantenstudie 1 - Modellsimulation

Die nachfolgenden Analysen beziehen sich auf die Werte der Tab. 5.4, welche die Ergebnisse aus Abb. 5.12 darstellt. **Modell 1** weist pro Variante geringe Schwankungen auf. Dies erklärt sich dadurch, dass sich die Vordersätze nur geringfügig ändern. Im Gegensatz dazu wird anhand des Modells 2 ersichtlich, dass eine Zunahme des Vordersatzes pro Variante zu monetären Auswirkungen des Leistungsteils Sicherung führt. Dies zeigt sich bei sämtlichen Varianten. Der Erlös liegt immer unter- oder überhalb der vertraglich festgelegten Angebotssumme. **Modell 3** weist ebenso wie das **Modell 2** eine Störungsanfälligkeit pro Variante auf. Dies ist an der Variante 1 aufgrund einer Zunahme des Vordersatzes um das 2,8-Fache erkennbar. Die Ausschläge der Erlösfunktion sind nicht nur bei einer Mehrung, sondern auch bei einer Minderung (Varianten 3, 5 und 6) des Vordersatzes ableitbar. Die Umlage der ZGA nach **Modell 4** auf die Einzelkosten Lohn sorgt trotz divergenter Vordersätze pro Variante, für ein regelmäßiges Verhalten der Erlösfunktion (Vordersatz mal EHP). Im Unterschied dazu ist am **Modell 5** erkennbar, dass dieses durch die Umlage der ZGA auf sämtliche Einzelkosten größeren Schwankungen unterliegt. Die Anpassung des Vordersatzes eines Leistungsteils im Vergleich zu den restlichen Leistungsteilen hat gravierende Auswirkung auf den zu vergütenden Erlös. Im Vergleich zu den mengenabhängigen und gesamtheitlichen Modellen berücksichtigt **Modell 6** die Bauzeit. Eine Bauzeitverlängerung oder -verkürzung wirkt sich demgemäß auf die Erlösfunktion aus. Mit Blick auf die Tab. 5.3 wird ersichtlich, dass eine Bauzeitverlängerung (Variante 1) zu einer Erhöhung des Erlöses führt. In gleicher Art und Weise reagiert das Modell auch bei einer Bauzeitverkürzung (Variante 3 bis 6). Der Verlauf der Funktion weist ein regelmäßiges Verhalten auf.

Im folgenden Unterabschnitt findet eine Gegenüberstellung der Erlöse der Umlagemodelle pro Variante statt. Diese soll die monetären Divergenzen, die mit den sieben erstellten Varianten einhergehen, aufzeigen.

Erlöse in [SEK] - Aufschlüsselung								
	Variante 0	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 7
Modell 1 - Ausbruch	193.743.178	255.885.379	273.251.298	164.775.932	211.721.201	214.764.496	207.923.189	233.699.646
Modell 3 - Sicherung	193.743.178	233.635.649	364.705.491	149.137.779	261.869.441	269.333.878	312.640.811	214.827.712
Modell 2 - Injektion	193.743.178	549.102.358	364.705.491	116.837.434	208.035.532	161.666.060	151.139.083	333.262.313
Modell 4 - Bruttomittelohn	193.743.178	315.844.427	308.563.501	151.722.373	219.392.105	212.439.102	213.279.798	252.135.861
Modell 5 - Gesamtzuschlag	193.743.178	266.571.230	336.209.925	141.811.816	225.913.198	242.714.566	219.019.865	265.435.881
Modell 6 - zeitgebundene Position	193.743.178	338.517.239	307.829.024	149.541.402	215.145.090	204.323.410	200.905.991	260.744.817
Bauzeit	100,00%	202,53%	146,67%	80,67%	106,67%	90,00%	96,67%	132,00%

Tab. 5.4: Variantenstudie 1 – Erlös pro Umlagemodell und Variante

Gegenüberstellung der Varianten

Anhand **Variante 0** sind keine Divergenzen der Erlöse pro Umlagemodell auszumachen. Im Gegensatz dazu findet eine Auffaltung der Erlösfunktionen in **Variante 1** statt. Modell 2 und 3 weisen den größten und geringsten Erlös in dieser Variante auf. Dies erklärt sich dadurch, dass sich der Leistungsteil Injektion um 300% und die Sicherung um nur 7% erhöhen. Vor allem die Zunahme des Vordersatzes der Injektion spiegelt sich im Modell 4 wider. Die Anpassung des Vordersatzes geht mit einer Erhöhung der Lohnkosten einher. Der Erlös des Modells liegt bei 315 Millionen SEK. Aufgrund der Tatsache, dass nur der Leistungsteil Injektion einer massiven Mengenmehrung unterliegt und Ausbruch sowie Sicherung nur minimal zunehmen, steigt der Erlös des Modells 5 lediglich um 1,40%. Anhand Modell 6 ist nicht nur die Anpassung der Vordersätze, sondern auch die Zunahme der Bauzeit um das 2-Fache erkennbar. Der Erlös des Modells liegt über dem der Modelle 1, 2, 4 und 5. In **Variante 2** klingt die Auffächerung der Erlösfunktion ab. Das ist der Tatsache geschuldet, dass sich der Vordersatz des Leistungsteils Injektion halbiert und Sicherung nahezu verdoppelt. Modell 2 und 3 bzw. 4 und 6 weisen einen deckungsgleichen Erlös auf. Entsprechend der Bauzeitverkürzung von 30 auf 22 Monate, nimmt der Erlös des Modells 6 ab. Anhand **Variante 3** sind die Auswirkungen der Abnahme der Bauzeit um 20% auf die Umlagemodelle ersichtlich. Die Abnahme der Bauzeit sorgt dafür, dass jegliche Erlöse unterhalb der vertraglichen Angebotssumme liegen. Mittels **Variante 4** ist eine Konzentration der Umlagemodelle in nahezu einem Punkt erkennbar. Dies ist einer Anpassung der Vordersätze der Leistungsteile im geringen Ausmaße geschuldet, lediglich der Leistungsteil Sicherung erhöht sich um 87,5%. Dies erklärt den Ausschlag des Modells 2. Die Erlöse der Modelle 1, 3, 4, 5 und 6 sammeln sich bei durchschnittlich 216 Millionen SEK. Im Gegensatz dazu liegt der Erlös für die Sicherungsarbeiten bei 260 Millionen SEK. Variieren die Vordersätze, wie es in **Variante 5** der Fall ist, so tritt wiederum eine Auffächerung der Erlösfunktionen auf. Die monetären Extremwerte bilden die Modelle 2 und 3. **Variante 6** weist dieselben Merkmale auf, die Auffächerung nimmt zu. Bei **Variante 7** konzentrieren sich die Modelle 4, 5 und 6 bei einem durchschnittlichen Erlös von 259 Millionen SEK. Aufgrund der Anpassung der Leistungsteile Sicherung und Injektion nehmen die Modelle 2 und 3 Extremwerte an.

Zwischenresümee

Anhand der in Abb. 5.12 dargestellten Varianten wird ersichtlich, dass der AN in der Angebotskalkulation unternehmerische Handlungen setzen muss, um die ZGA in der Ausführung vergütet zu bekommen. All dem ungeachtet, stellt die Wahl eines Umlagemodells den Unternehmer vor Kalkulationsrisiken, da im Fall einer Anpassung des Vordersatzes (Mengenmehrung oder -minderung) der Erlös durch diese maßgeblich beeinflusst wird. Dies ist unabhängig davon, wie geschickt der Unternehmer den Baupreis bildet. Das Risiko kann reduziert, aber nie vollständig beseitigt werden. Zusätzlich wird mittels der Abb. 5.12 aufgezeigt, dass die Umlageträger eine hohe Störanfälligkeit besitzen (Modell 2 und 3). Es wird zwar der höchste Erlös generiert, aber dies zu Lasten eines unvorhersehbaren Ausgangs in der Ausführung eines Tunnelbauprojektes.

Erste Aussagen können auf Grundlage des angenommenen Spektrums der Leistungsteile am Beginn der Variantenstudie und Abb. 5.12 getroffen werden. Demzufolge stellt das Modell 1 grundsätzlich ein geeignetes Umlagemodell dar. Dies erklärt sich dadurch, dass der Leistungsteil eben störungsunauffällig ist. Da jedoch die Bauzeit keine Berücksichtigung findet, stellt dieses Modell keine praktikable Wahl dar. Die größte Störungsanfälligkeit weisen die beiden Modelle 2 und 3 bei einer Anpassung der Vordersätze auf. Die Umlage der ZGA in Sicherung und Injektion gestalten sich somit als risikoreichste Umlage im Vergleich zu den sechs anderen Umlagemodellen. Anhand Modell 4 ist erkennbar, dass die Anpassung der Vordersätze direkte Auswirkungen auf die Einzelkosten Lohn hat. Der Erlös des Umlagemodells pro Variante bleibt somit nicht konstant. Die Schwankungen pro Variante sind beim Umlagemodell 5 größer. Das ist der Tatsache geschuldet, dass die ZGA auf sämtliche Einzelkosten einkalkuliert werden. Ändern sich die Leistungsteile nicht im gleichen Verhältnis, sondern vielmehr in unterschiedlicher Höhe, so werden die ZGA nicht vollständig vergütet.

Berücksichtigt ein Bauvertrag keine eigenen Positionen für die ZGA, dann erweisen sich Modell 4 und 5 trotzdem als geeignete Umlagemodelle, da diese im Vergleich zu den Modellen 2 und 3 wesentlich risikoärmer und weniger störungsanfällig sind. Da die genannten Modelle die Bauzeit nicht berücksichtigen, geht der Blick in Richtung Modell 6. Ein fester Bestandteil bildet bei diesem Modell die Bauzeit. Aus Abb. 5.12 und Tab. 5.3 geht hervor, dass eine Bauzeitverlängerung oder -verkürzung 1:1 berücksichtigt wird. Da die Leistungsteile am kritischen Weg liegen und maßgeblich durch die Bauzeit bestimmt werden, eignet sich das Modell 6 am besten für eine risikoarme Umlage der ZGA. Je wechselhafter die Bauzeit ist, was im Tunnelbau häufig der Fall ist, desto risikobehafteter ist die Kalkulation des Ressourceneinsatzes von Personal und Geräten. Das Modell 6 berücksichtigt diesen Sachverhalt nicht nur durch eine eigene Position im LV, sondern auch durch ein Bauzeitmodell. Das verursachte Delta aufgrund einer Bauzeitveränderung wird somit berücksichtigt. Unter dieser Prämisse spiegelt das zeitabhängige Modell die erwartungsgemäß kalkulierten Kosten für Bauregie, Geräte, Lohn und Energie wider. Der lukrierte Erlös des Modells entspricht den IST-Kosten der ZGA.

In der folgenden Variantenstudie werden die monetären Auswirkungen auf die entwickelten Umlagemodelle im Zuge einer festgelegten Bauzeit analysiert. Dahingehend wird die Bauzeit nach vier typischen Szenarien im Tunnelbau sukzessive erhöht. Von der vertraglich festgelegten Bauzeit des gegenständlichen Projekts, bis hin zur Verdoppelung der Bauzeit.

5.4 Variantenstudie 2 – Modellsimulation und -gegenüberstellung bei festgelegter Bauzeit

Aufbauend auf den gewonnen Erkenntnissen im Kapitel 5.3 werden nunmehr die Umlagemodelle dahingehend gegenübergestellt, welche monetären Auswirkungen die gleiche Bauzeit pro Variante auf entwickelten Modelle hat. Als Richtwert für die Umlagemodelle 1 bis 5 wird das Modell 6 herangezogen. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass dieses neben den Anpassungen der Vordersätze der divergenten Leistungsteile die Bauzeit berücksichtigt. Die Bauzeit wird bei den mengenabhängigen Modellen (1, 2, 3 und 4) und dem gesamtheitlichen Modell 5 nicht einkalkuliert. Hingegen findet die Bauzeit im Modell 6 sehr wohl Berücksichtigung. Die ZGA werden in eigenen Positionen umgelegt und spiegeln die tatsächlich kalkulierten Kosten für Geräte und Personal wider. Es werden daher Anpassungen der Bauzeit wirklichkeitsgetreu abgebildet.

Bei der Variantenstudie 2 handelt es sich um eine fiktive Anpassung der Bauzeit, die weder in der einen noch in der anderen Sphäre (AG oder AN) liegt. Es werden die Auswirkungen einer gleichbleibenden Bauzeit pro Variante auf die Umlagemodelle untersucht. Darüber hinaus sollen

die Risiken, die mit einer Anpassung des Vordersatzes einhergehen sowie deren Auswirkungen auf den zu vergütenden Erlös verdeutlicht werden.

Die Bauzeitänderung wird durch die Anpassung der Vordersätze pro Leistungsteil und Variante erreicht. Hierfür werden sieben divergente Varianten entwickelt. Die Vordersätze der Leistungsteile werden in solch einer Art und Weise angepasst, dass sich eine idente Bauzeit pro Variante ergibt. Aus diesem Grund wird auf das entwickelte Spektrum in der Variantenstudie 1 kein Bezug genommen. In **Variante 0** stimmen die Vordersätze mit jenen des schwedischen Bauvertrags überein. Anhand der Varianten 1, 2 und 3 findet eine Anpassung der Leistungsteile Sicherung und Injektion, dies bei unverändertem Ausbruch, statt. In den **Varianten 4, 5, 6 und 7** erfolgt die Änderung der Leistungsteile nach einem ähnlichen Prinzip. Zusätzlich wird der Vordersatz für den Leistungsteil Ausbruch erhöht.

Die konstante Bauzeit pro Variante gliedert sich in vier typische Szenarien im Tunnelbau. Für das erste Szenario wird die vertraglich festgelegte SOLL-Bauzeit angenommen. Die Leistungsteile erfahren somit keine Änderung. Das zweite Szenario entspricht einer geringen Anpassung der Bauzeit um das 1,1-Fache. Im dritten Szenario wird die Bauzeit für sämtliche Varianten um das 1,3-Fache erhöht. Das letzte Szenario entspricht einer Verdoppelung der Bauzeit für sämtliche Varianten.

5.4.1 Festgelegte Bauzeit – 15,00 Monate

Im folgenden Unterabschnitt wird aufgezeigt, welche Auswirkungen eine unveränderte Bauzeit auf die Umlagemodelle und somit auf die ZGA hat. Anhand Tab. 5.5 wird ersichtlich, dass pro Leistungsteil und pro Variante die prozentuale Gewichtung dem Bau-SOLL entspricht. Es kommt daher zu keiner Änderung der Bauzeit.

	Variante 0	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 7
Ausbruch	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Sicherung	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Injektion	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Sonstiges	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Zeitgebundene Position	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tab. 5.5: Variantenstudie 2 – 15,00 Monate, prozentuale Verteilung pro Leistung pro Variante

In Tab. 5.6 ist ein vereinfachtes Bauzeitmodell dargestellt. Die Berechnung der Bauzeiten pro Leistungsteil pro Variante ist ident mit der Variantenstudie 1, siehe Kapitel 5.3.

	Variante 0	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 7
Ausbruch	8,00 Mo							
Sicherung	2,00 Mo							
Injektion	5,00 Mo							
Bauzeit	15,00 Mo							

Tab. 5.6: Variantenstudie 2 – 15,00 Monate, Bauzeitmodell

Für den Fall, dass keine zeitliche Anpassung der Bauzeit im laufenden Baubetrieb auftritt, zeigt sich anhand Abb. 5.13, dass sich sämtliche Umlagemodelle pro Variante in einem Punkt konzentrieren. Dies erklärt sich dadurch, dass einerseits die Leistungsteile keiner Änderung unterliegen und andererseits die Gewichtungen pro Variante ident sind. Demzufolge bündeln sich die Erlöse der Umlagemodelle bei der vertraglich festgelegten Angebotssumme. Dieser Sachverhalt ist monetäre anhand der Tab. 5.7 ersichtlich.

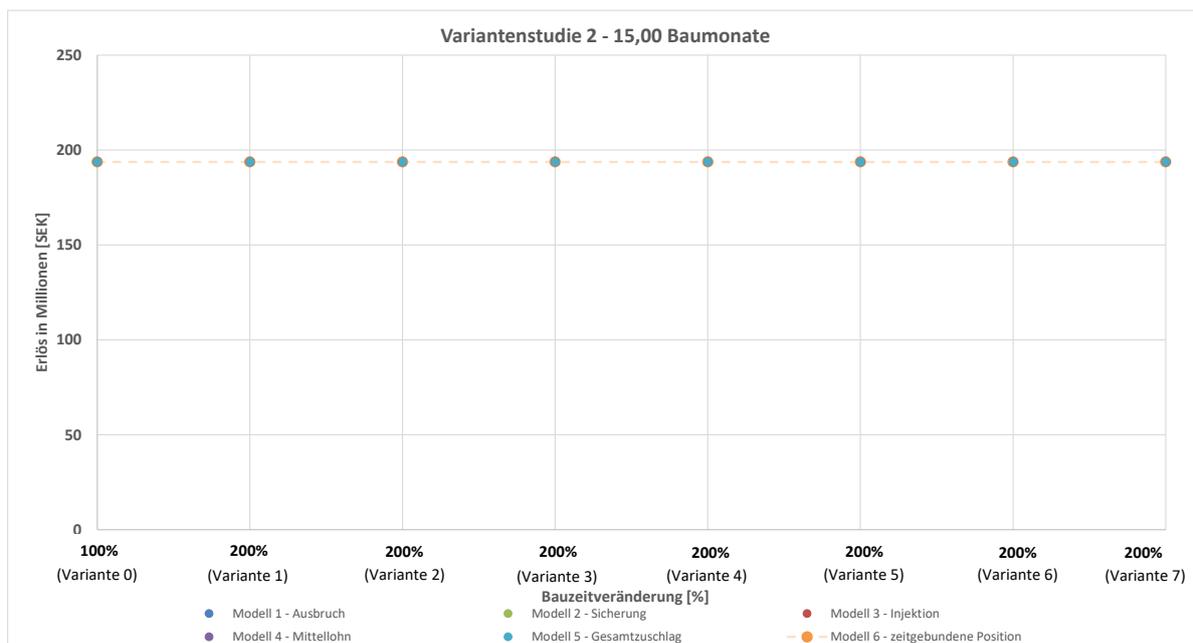


Abb. 5.13: Variantenstudie 2 – 15,00 Monate, festgelegte Bauzeit

Der o.g. Umstand trifft ebenso auf Modell 6 zu. Bleibt die Bauzeit konstant über sämtliche entwickelte Varianten, so unterliegen die Erlös pro Variante ebenso keiner Änderung. Dies ist anhand der orange schraffierten Linie ersichtlich, welche horizontal von Variante 0 bis 7 verläuft.

Erlöse in [SEK] - Aufschlüsselung								
	Variante 0	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 7
Modell 1 - Ausbruch	193.743.178	193.743.178	193.743.178	193.743.178	193.743.178	193.743.178	193.743.178	193.743.178
Modell 2 - Sicherung	193.743.178	193.743.178	193.743.178	193.743.178	193.743.178	193.743.178	193.743.178	193.743.178
Modell 3 - Injektion	193.743.178	193.743.178	193.743.178	193.743.178	193.743.178	193.743.178	193.743.178	193.743.178
Modell 4 - Mittellohn	193.743.178	193.743.178	193.743.178	193.743.178	193.743.178	193.743.178	193.743.178	193.743.178
Modell 5 - Gesamtzuschlag	193.743.178	193.743.178	193.743.178	193.743.178	193.743.178	193.743.178	193.743.178	193.743.178
Modell 6 - zeitgebundene Position	193.743.178	193.743.178	193.743.178	193.743.178	193.743.178	193.743.178	193.743.178	193.743.178
Bauzeit	100,00%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tab. 5.7: Variantenstudie 2 – 15,00 Monate, Erlös pro Umlagemodell und Variante

5.4.2 Festgelegte Bauzeit – 16,50 Monate

Eine Erhöhung der Bauzeit um 1,50 Monate suggeriert eine geringe Bauzeitverlängerung für sämtliche Varianten. Im folgenden Abschnitt werden die Auswirkungen auf die Umlage der ZGA pro Umlagemodell aufgezeigt. In Tab. 5.8 sind die unterschiedlichen prozentualen Gewichtungen pro Leistungsteil und Variante dargestellt. Auf Grundlage der Anpassung des Vordersatzes wird eine gleichbleibende Bauzeitverlängerung um 10% erreicht.

	Variante 0	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 7
Ausbruch	100%	100%	100%	100%	105%	105%	105%	105%
Sicherung	100%	121%	110%	130%	116%	100%	80%	110%
Injektion	100%	121%	126%	118%	116%	122%	130%	118%
Sonstiges	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Zeitgebundene Position	100%	110%	110%	110%	110%	110%	110%	110%

Tab. 5.8: Variantenstudie 2 – 16,50 Monate, prozentuale Verteilung pro Leistung pro Variante

Anhand Tab. 5.9 werden die prozentualen Verhältnisse aus Tab. 5.8 absolut in Monaten dargestellt. Es zeigt sich eine fixe Erhöhung der Bauzeit um 1,50 Monate für sämtliche Varianten. Die Anpassung der Vordersätze pro Variante erfolgt nach keiner bestimmten Systematik.

	Variante 0	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 7
Ausbruch	8,00 Mo	8,00 Mo	8,00 Mo	8,00 Mo	8,40 Mo	8,40 Mo	8,40 Mo	8,40 Mo
Sicherung	2,00 Mo	2,43 Mo	2,20 Mo	2,60 Mo	2,31 Mo	2,00 Mo	1,60 Mo	2,20 Mo
Injektion	5,00 Mo	6,07 Mo	6,30 Mo	5,90 Mo	5,79 Mo	6,10 Mo	6,50 Mo	5,90 Mo
Bauzeit	15,00 Mo	16,50 Mo						

Tab. 5.9: Variantenstudie 2 – 16,50 Monate, Bauzeitmodell

Abb. 5.14 stellt den Erlös pro Umlagemodell der fixen Bauzeitveränderung von 110% gegenüber. **Variante 0** beschreibt wieder das Bau-SOLL. Dies wurde bereits ausführlich im vorhergehenden Unterabschnitt 5.4.1 erläutert. In **Variante 1** wird jeweils der Leistungsteil Sicherung und Injektion um 21% erhöht. Da der Leistungsteil Ausbruch keine Änderung erfährt, steigen die Erlöse des Modells 1 lediglich um 6% zu, siehe Tab. 5.10. Aufgrund der prozentualen Veränderung der Modelle 2 und 3, erzielen diese einen Erlös von 225 Millionen SEK ein. Das ist insofern Nachvollziehbar, da die Leistungsteile im gleichen Verhältnis zunehmen. Da die Lohnkosten faktisch steigen, nimmt der Erlös des Modells 4 einen Wert von 213 Millionen SEK an. Dieser Erlös liegt geringfügig über den Modellen 5 und 6, die sich in einem Punkt bündeln. Dies erklärt sich durch die idente prozentuale Gewichtung von Sicherung und Injektion. Aufgrund einer relativen Bauzeitverlängerung um 10% und der Anpassung der Leistungsteile nimmt der Erlös des Modells 6 ebenso zu.

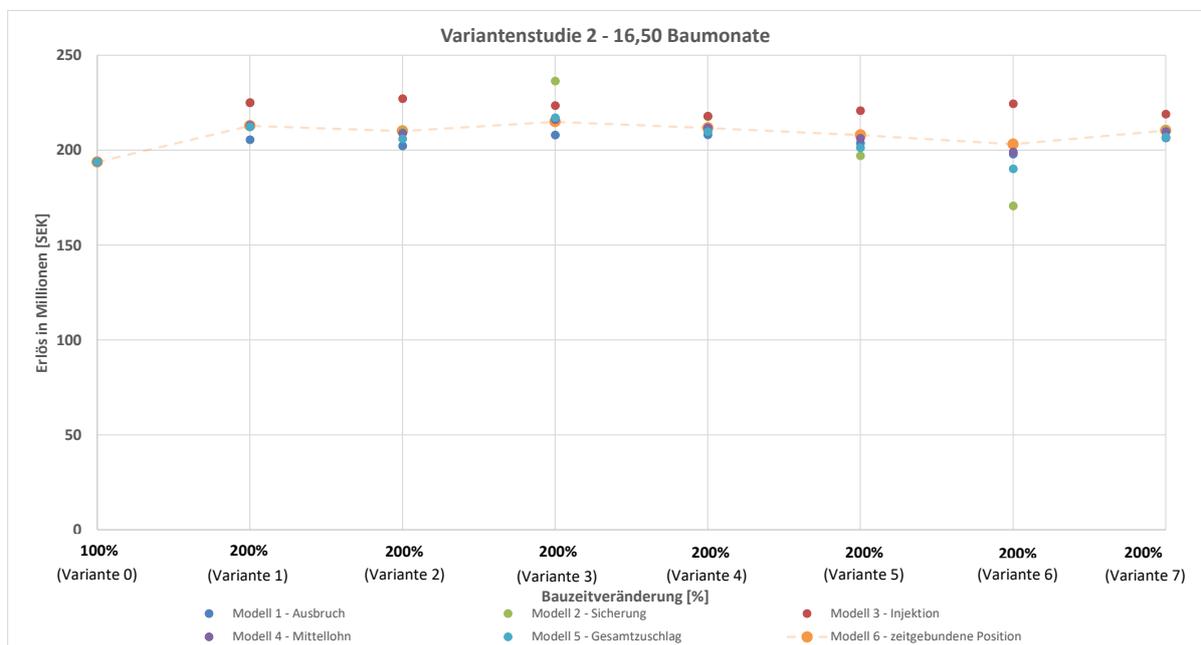


Abb. 5.14: Variantenstudie 2 – 16,50 Monate, festgelegte Bauzeit

In **Variante 2** werden die Leistungsteile Sicherung und Injektion nicht im gleichen Verhältnis erhöht, dies spiegelt sich auch an den Einnahmen der Umlagemodelle wider. Das Modell 1 weist wie in der Variante 1 den geringsten Erlös sämtlicher Modelle auf, dies aufgrund der Tatsache, dass der Leistungsteil Sicherung um 9% im Vergleich zur Variante 1 reduziert wird. Das Modell 3 weist mit 227 Millionen SEK die größten Erlös aus. Es ist festzuhalten, dass sich die Modelle 4

und 5 unterhalb des Modells 6 situieren. Zusätzlich ist erkennbar, dass das Modell 4 einen geringfügig höheren Erlös aufweist als Modell 5. Dies erklärt sich aufgrund der Gewichtung des Lohnanteils in den unterschiedlichen Leistungsteilen. Im Vergleich zu den Modellen 4 und 5 weist Modell 6 den höchsten Erlös auf, dies trotz einer gleichbleibenden Bauzeitveränderung von nur 10%. In **Variante 3** wird eine gegenteilige Gewichtung der Leistungsteile Sicherung und Injektion beschrieben. Modell 2 weist in dieser Variante den höchsten Erlös auf, dies im Vergleich zur Variante 2. Weiters ist aus der Abbildung ersichtlich, dass die Modelle 4 und 5 geringfügig über dem Modell 6 liegen. Dies erklärt sich dadurch, dass der Leistungsteil Injektion um 8% reduziert und im Gegenzug der Leistungsteil Sicherung um 20% erhöht wird. In den folgenden **Varianten 4, 5 und 7** liegt der idente Sachverhalt wie bereits oben dargestellt vor. Lediglich die **Variante 6** sticht monetär im Vergleich zu den übrigen Varianten heraus. Aufgrund der Reduktion des Leistungsteils Sicherung um 20%, bezogen auf das Bau-SOLL, werden mit dem Modell 2 die geringsten Einnahmen lukriert.

Erlöse in [SEK] - Aufschlüsselung								
	Variante 0	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 7
Modell 1 - Ausbruch	193.743.178	205.446.579	202.190.563	207.901.886	207.987.891	203.576.134	197.883.544	206.422.429
Modell 2 - Sicherung	193.743.178	225.017.776	209.930.059	236.399.218	217.564.055	197.058.122	170.598.853	210.287.756
Modell 3 - Injektion	193.743.178	225.017.776	227.049.242	223.479.080	217.887.058	220.745.042	224.432.762	218.901.181
Modell 4 - Mittellohn	193.743.178	213.005.766	208.899.951	216.101.097	211.757.338	206.206.453	199.044.021	209.787.669
Modell 5 - Gesamtzuschlag	193.743.178	212.276.011	205.943.036	217.052.347	209.797.099	201.204.636	190.117.587	206.748.161
Modell 6 - zeitgebundene Position	193.743.178	212.846.212	210.057.397	214.947.610	211.701.743	207.947.837	203.104.087	210.369.711
Bauzeit	100,00%	110%	110%	110%	110%	110%	110%	110%

Tab. 5.10: Variantenstudie 2 – 16,50 Monate, Erlös pro Umlagemodell und Variante

5.4.3 Festgelegte Bauzeit – 20,00 Monate

Der folgende Unterabschnitt beschreibt die Schwankungen der Umlagemodelle bei gleichbleibender Bauzeit pro Variante. Anhand Tab. 5.11 wird die prozentuale Verteilung der Leistungsteile und Varianten, die zu einer 1,3-fachen Bauzeit führt, dargestellt.

	Variante 0	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 7
Ausbruch	100%	100%	100%	100%	105%	105%	105%	105%
Sicherung	100%	171%	130%	120%	166%	100%	80%	130%
Injektion	100%	171%	188%	192%	166%	192%	200%	180%
Sonstiges	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Zeitgebundene Position	100%	133%	133%	133%	133%	133%	133%	133%

Tab. 5.11: Variantenstudie 2 – 20,00 Monate, prozentuale Verteilung pro Leistung pro Variante

In Tab. 5.12 wird die absolute Bauzeit pro Leistungsteil und Variante ersichtlich. Wie bereits in der vorhergehenden Bauzeitveränderung erfolgt die Anpassung der Vordersätze ebenso nach keiner bestimmten Systematik. Das Ziel ist einzig und alleine pro Variante eine fixe Bauzeitveränderung zu simulieren.

	Variante 0	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 7
Ausbruch	8,00 Mo	8,00 Mo	8,00 Mo	8,00 Mo	8,40 Mo	8,40 Mo	8,40 Mo	8,40 Mo
Sicherung	2,00 Mo	3,43 Mo	2,60 Mo	2,40 Mo	3,31 Mo	2,00 Mo	1,60 Mo	2,60 Mo
Injektion	5,00 Mo	8,57 Mo	9,40 Mo	9,60 Mo	8,29 Mo	9,60 Mo	10,00 Mo	9,00 Mo
Bauzeit	15,00 Mo	20,00 Mo						

Tab. 5.12: Variantenstudie 2 – 20,00 Monate, Bauzeitmodell

In Abb. 5.15 sind die Auswirkungen einer mittleren Bauzeitveränderung auf die unterschiedlichen Umlagemodelle pro Variante erkennbar. Es zeigt sich ein ähnliches monetäres Verhalten der

Varianten 1 und 4, der **Varianten 2 und 7** sowie der **Varianten 5 und 6**, siehe Tab. 5.13. Zu Beginn kann die allgemeine Aussage getroffen werden, dass die Störanfälligkeit der Modelle 2 und 3 einerseits zu einem maximalen und andererseits zu einem minimalen Erlös pro Variante führt. Weiters zeigt sich, dass die Modelle 4 und 5 für sämtliche Varianten nahezu unterhalb des Modells 6 liegen, mit Ausnahme der Variante 1 und 4. Erklären lässt sich dies bei den Varianten 1 und 4 dadurch, dass die Leistungsteile Sicherung und Injektion dieselbe prozentuale Gewichtung besitzen. Modell 4 zeigt mit Modell 6 für sämtliche Varianten die geringsten Schwankungen auf. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass wenn sich ein Leistungsteil im Verhältnis zu den übrigen erheblich erhöht, die Einzelkosten Lohn dahingehend ebenfalls gleichermaßen steigen. Das zeigt sich auch anhand des Modells 4. Im Gegensatz dazu weist das Modell 5 pro Variante wesentlich größere Schwankungen auf. Dies erklärt durch die Umlage der ZGA auf sämtliche Einzelkosten.

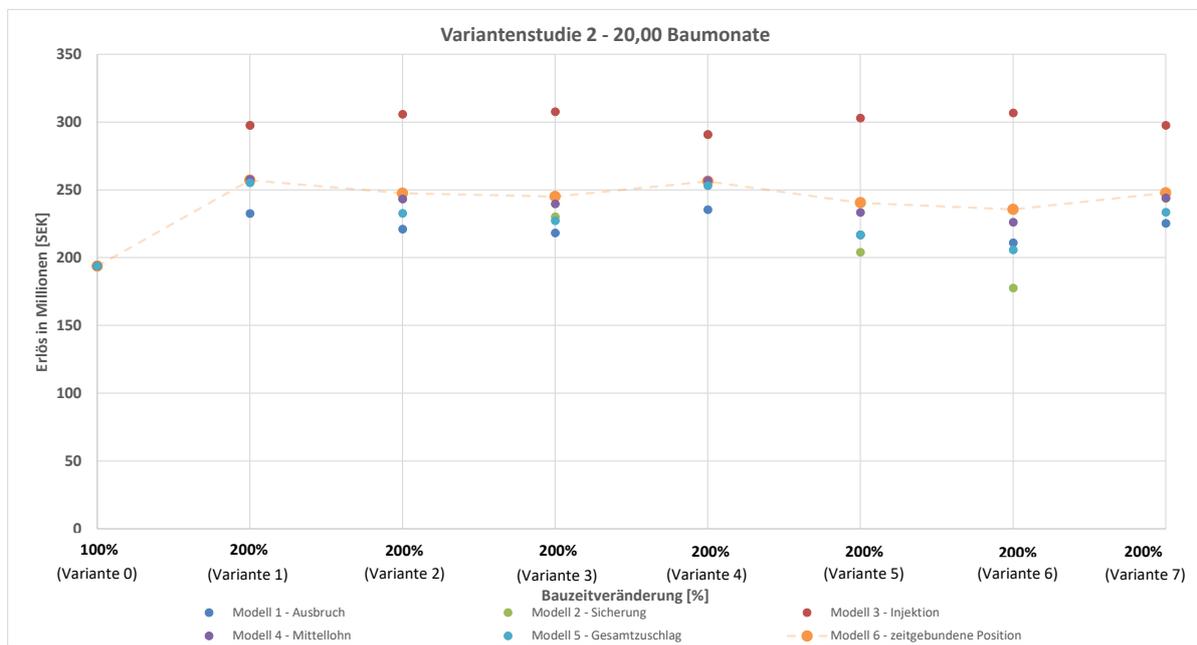


Abb. 5.15: Variantenstudie 2 – 20,00 Monate, festgelegte Bauzeit

Das Modell 6 zeigt nachweislich die geringsten Schwankungen für ausnahmslos alle Varianten auf. Obwohl sich die Bauzeit nur um das 1,3-Fache erhöht, sind die monetären Auswirkungen bereits ersichtlich. Grundsätzlich kann die Aussage getroffen werden, dass eine 1,3-fache Bauzeit die monetären Unterschiede zwischen den Umlagemodellen im Vergleich zu einer 1,1-fachen Bauzeitverlängerung anschaulicher verdeutlicht.

Erlöse in [SEK] - Aufschlüsselung								
	Variante 0	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 7
Modell 1 - Ausbruch	193.743.178	232.572.218	221.014.805	218.168.510	235.313.553	216.670.321	210.977.731	225.227.939
Modell 2 - Sicherung	193.743.178	297.504.695	243.322.537	230.092.903	290.625.656	203.971.550	177.512.282	243.670.344
Modell 3 - Injektion	193.743.178	297.504.695	305.769.872	307.613.732	290.840.991	302.918.276	306.605.996	297.504.253
Modell 4 - Mittellohn	193.743.178	257.651.764	243.201.064	239.619.848	256.724.670	233.267.705	226.105.273	244.050.067
Modell 5 - Gesamtzuschlag	193.743.178	255.230.616	232.635.737	227.092.213	253.075.850	216.765.764	205.678.715	233.418.600
Modell 6 - zeitgebundene Position	193.743.178	257.122.404	247.471.494	245.049.619	256.288.538	240.425.258	235.581.508	247.737.345
Bauzeit	100,00%	133%	133%	133%	133%	133%	133%	133%

Tab. 5.13: Variantenstudie 2 – 20,00 Monate, Erlös pro Umlagemodell und Variante

5.4.4 Festgelegte Bauzeit – 30,00 Monate

Die abschließende Bauzeitveränderung beschreibt eine Verdoppelung der SOLL-Bauzeit. Mittels Tab. 5.14 wird die Gewichtung der Leistungsteile pro Variante tabellarisch verdeutlicht, um eine 2-fache Bauzeit zu erreichen.

	Variante 0	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 7
Ausbruch	100%	100%	100%	100%	105%	105%	105%	105%
Sicherung	100%	314%	100%	225%	309%	100%	80%	200%
Injektion	100%	314%	400%	350%	309%	392%	400%	352%
Sonstiges	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Zeitgebundene Position	100%	200%	200%	200%	200%	200%	200%	200%

Tab. 5.14: Variantenstudie 2 – 30,00 Monate, prozentuale Verteilung pro Leistung pro Variante

In Tab. 5.15 ist die Bauzeit von 30 Monaten absolut pro Leistungsteil für sämtliche Varianten dargestellt. Die fixe Bauzeitveränderung pro Variante, ergibt sich vor allem durch die Anpassung des Leistungsteils Injektion. Dies erklärt sich dadurch, dass dieser dem Risiko der größten Mengenerhöhung in der Bauausführung unterliegt.

	Variante 0	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 7
Ausbruch	8,00 Mo	8,00 Mo	8,00 Mo	8,00 Mo	8,40 Mo	8,40 Mo	8,40 Mo	8,40 Mo
Sicherung	2,00 Mo	6,28 Mo	2,00 Mo	4,50 Mo	6,17 Mo	2,00 Mo	1,60 Mo	4,00 Mo
Injektion	5,00 Mo	15,72 Mo	20,00 Mo	17,50 Mo	15,43 Mo	19,60 Mo	20,00 Mo	17,60 Mo
Bauzeit	15,00 Mo	30,00 Mo						

Tab. 5.15: Variantenstudie 2 – 30,00 Monate, Bauzeitmodell

Anhand Abb. 5.16 werden die Erlöse der entwickelten Umlagemodelle pro Variante für eine verhältnismäßig große Bauzeitveränderung gegenübergestellt. Bestimmte Varianten können aufgrund ihres identen Verhaltens pro Umlagemodell zusammengefasst werden, das betrifft die **Varianten 1 und 4**, die **Varianten 5 und 6** und die **Varianten 2 und 7**. Zu Beginn der Analyse kann die grundsätzliche Aussage getroffen werden, dass die Umlagemodelle ein ähnliches Verhalten wie in der vorhergehenden Studie, Abschnitt 5.4.3, aufweisen. Der wesentliche Unterschied liegt vor allem in der verlängerten Bauzeit von 30 anstatt 20 Monaten. Dahingehend ändert sich an den getroffenen Aussagen grundsätzlich nichts. Eine 2-fache Bauzeitverlängerung führt somit zu einer zunehmenden Auffächerung der Erlöse pro Umlagemodell und Variante. Modell 1 bestätigt seinen risikoarmen Charakter als Umlageträger. Im Gegensatz dazu attestieren die Modelle 2 und 3 ihre deutliche Störungsanfälligkeit im Fall einer Anpassung der Leistungsteile Sicherung und Injektion. Modell 4 zeigt eine zunehmende monetäre Schwankung pro Variante auf. Dahingehend kann zwischen zwei Fällen unterschieden werden. Im ersten Fall deckt sich der Erlös mit jenem des Modells 6. Dies tritt bei den Varianten 1 und 4 in Erscheinung. Erklären lässt sich dies durch die nahezu idente Gewichtung der Leistungsteile Sicherung und Injektion. Im zweiten Fall liegt Modell 4 unterhalb des Erlöses von Modell 6 (Varianten 2, 3, 5, 6 und 7). Dies folgt daraus, dass ein Leistungsteil einer massiven Anpassung des Vordersatzes unterliegt. Demgegenüber ist Modell 5 den Schwankungen pro Variante aufgrund der Umlage der ZGA auf sämtliche Einzelkosten weit mehr ausgesetzt. Dies zeigt sich anhand der Varianten 2, 3, 5 und 6. Dies ergibt sich daraus, dass ein Leistungsteil (Injektion) eine deutliche Anpassung des Vordersatzes erfährt, nämlich bis zu 300%. Anhand des Modells 6 wird die 2-fache Bauzeitverlängerung monetär im Erlös ersichtlich, siehe Tab. 5.16. Es zeigt sich, dass eine Verdoppelung einer fixen Bauzeitänderung pro Variante zu wesentlichen Ausschlägen der Erlöse führt.

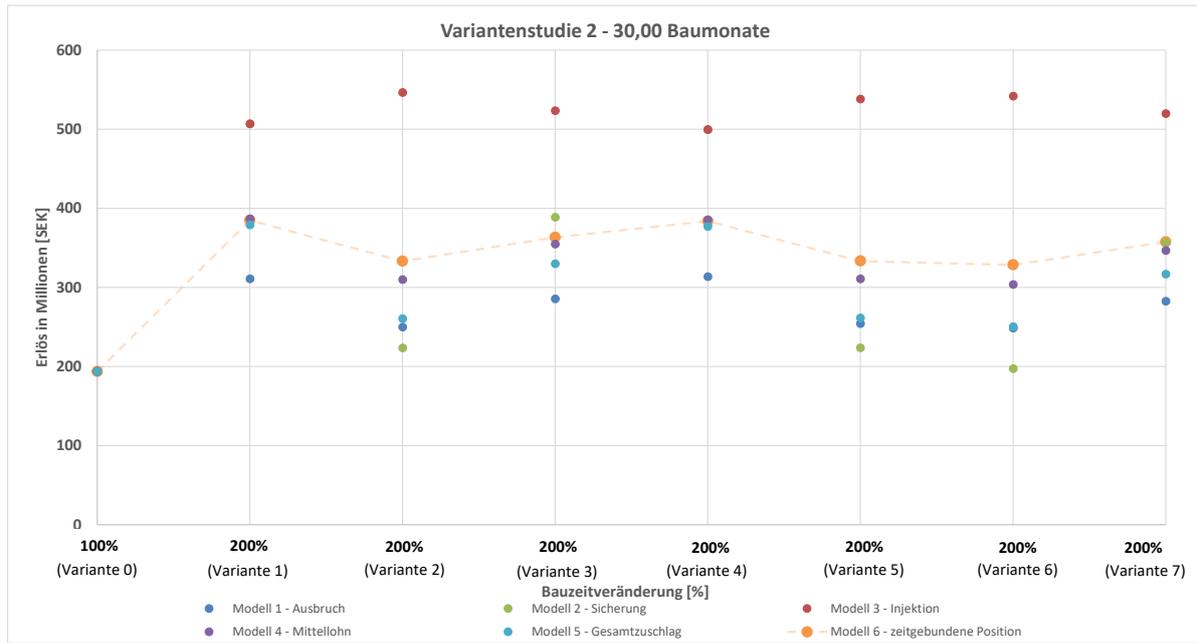


Abb. 5.16: Variantenstudie 2 – 30,00 Monate, festgelegte Bauzeit

Erlöse in [SEK] - Aufschlüsselung								
	Variante 0	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 7
Modell 1 - Ausbruch	193.743.178	310.852.117	249.941.404	285.520.092	313.481.056	254.154.537	248.461.947	282.617.488
Modell 2 - Sicherung	193.743.178	506.528.722	223.414.546	388.784.976	499.590.339	223.762.353	197.303.084	356.058.697
Modell 3 - Injektion	193.743.178	506.959.393	546.418.002	523.369.749	499.590.339	538.152.383	541.840.104	519.713.781
Modell 4 - Mittellohn	193.743.178	386.523.913	309.885.892	354.651.091	385.364.534	310.734.895	303.572.463	346.547.055
Modell 5 - Gesamtzuschlag	193.743.178	379.160.561	260.529.134	329.823.192	376.872.223	261.311.997	250.224.948	316.747.243
Modell 6 - zeitgebundene Position	193.743.178	384.959.372	333.131.252	363.404.687	383.846.730	333.397.103	328.553.353	357.615.851
Bauzeit	100,00%	200%	200%	200%	200%	200%	200%	200%

Tab. 5.16: Variantenstudie 2 – 30,00 Monate, Erlös pro Umlagemodell und Variante

Zwischenresümee – Variantenstudie 2

Im abschließenden Zwischenresümee werden die gesammelten Erkenntnisse aus der Variantenstudie 2 zusammengefasst. Die Auswirkungen einer gleichbleibenden Bauzeit pro Variante (15, 16,5 , 20 und 30 Monate) beeinflussen die Umlagemodelle maßgeblich. Für die Umlagemodelle können als Zwischenergebnis folgende Aussagen getroffen werden. Das Modell 1 weist für sämtliche Bauzeitverlängerungen eine geringe Schwankung pro Variante auf. Die Modelle 2 und 3 bekräftigen ihre Störungsanfälligkeit im Fall einer Anpassung des Vordersatzes in den beiden Leistungsteilen Sicherung und Injektion. Das Modell 4 weist im Vergleich zum Modell 5 die geringsten Schwankungen bei einer konstanten Bauzeit auf. Wesentliche Abweichungen des Modells treten vor allem dann auf, wenn ein Leistungsteil (Sicherung oder Injektion) einer erheblichen Anpassung des Vordersatzes unterliegt. Werden als Umlageträger für die ZGA sämtliche Einzelkosten herangezogen, wie es beim Modell 5 der Fall ist, so zeigen sich im Fall einer gleichbleibenden Bauzeitänderung erhebliche monetäre Ausschläge pro Variante. Das Modell 6 sticht insbesondere dadurch hervor, dass sich der Erlös des Modells für die unterschiedlichen Bauzeiten, im Vergleich zu den übrigen Modellen, gleichmäßig verhält. Das Modell mit der zeitgebundenen Position weist die geringsten Schwankungen pro Variante auf.

Abschließend ist festzuhalten, dass bei einer gleichbleibenden Bauzeit die monetären Auswirkungen auf ein Baustellenergebnis eines Tunnelbauprojektes beträchtlich sind. Unabhängig vom Umlagemodell besteht einem Unternehmen immer das Risiko, dass zeitgebundene BGK nicht im

vollem Umfang vergütet werden. Das Vergütungsrisiko wird maßgeblich durch die Anpassung der Leistungsteile bestimmt. Berücksichtigt ein Bauvertrag keine Bauzeitanpassung mittels einer zeitabhängigen Position im LV und eines Bauzeitmodells, ist es unerheblich, wohin die ZGA umgelegt werden. Ausgenommen davon ist der Fall, dass der Unternehmer eine risikoreiche Umlage auf Umlageträger vorsieht, die in der Ausführung massiven Mengenerhöhung unterliegen. Die notwendigen Kenntnisse sind jedoch bei der Erstellung der Angebotskalkulation verständlicherweise nicht bekannt. Weiters ist anhand einer fixen Bauzeit pro Variante ersichtlich, dass die Modelle 4 und 5 zum Großteil unterhalb des Modells 6 liegen. Um diese getroffene Aussage zu schärfen und schlussendlich zu bestätigen, wird die Bauzeit in der folgenden Variantenstudie variabel gestaltet.

5.5 Variantenstudie 3 – Modellsimulation und -gegenüberstellung bei variabler Bauzeitveränderung

In der abschließenden Variantenstudie 3 werden die Folgen der umzulegenden ZGA mittels den heterogen entwickelten Umlagemodelle für den Fall einer variablen Bauzeitenveränderung über den Baupreis dargestellt.

Diese Variantenstudie gliedert sich wie die vorhergehenden Studien in sieben divergierende Varianten. Bei der Erarbeitung dieser Varianten wird auf das entwickelte Spektrum, beschrieben im Abschnitt 5.3, zurückgegriffen. Dies definiert mögliche Schwankungsbreiten, der am kritischen Weg liegenden Leistungsteile (Ausbruch, Sicherung und Injektion). Im Gegensatz zur Variantenstudie 1 und 2 findet in den folgenden Varianten kein Durchmengen von unterschiedlichen Leistungsteilen pro Variante (Hohe und niedrige prozentuale Gewichtung pro Variante) statt. Das Ziel ist die Bauzeit sukzessive zu erhöhen. Es wird eine zunehmende Bauzeitverlängerung erreicht, indem die Leistungsteile pro Variante stets bis zur definierten Obergrenze des Spektrums erhöht werden.

Bei der Erstellung einer Angebotskalkulation kann ein Vergütungsrisiko in der Ausführung nie vollständig ausgeschlossen werden. Der Sinn der folgenden Variantenstudie ist darüber hinaus, anhand der entwickelten Varianten, jenes Modell auszumachen, dass zu einem konstanten Erlös hinsichtlich einer Bauzeitveränderung und zu einer adäquaten Vergütung in der Ausführung führt.

Außer es wird ein hochspekulativer Weg eingeschlagen und genau jener Umlageträger gewählt, der das größte Mengenerhöhung aufweist. Dadurch wird eine gewinnbringend Vergütung erreicht. Dieser Gedanke erübrigt sich jedoch quasi immer, da zwingender Weise keine Kenntnisse über die jeweiligen Schwankungsbreiten der Umlageträger vor Bauausführung bekannt sind. Darüber hinaus kann ein Unternehmen nicht automatisch davon ausgehen, dass bei Wahl dieser Umlageträger die ZGA vollumfänglich abgegolten werden, dies aufgrund der Komplexität eines Tunnelbauprojektes in Folge der vertraglichen, geologischen und technischen Einflussgrößen.

Anhand Tab. 5.17 wird die schrittweise prozentuale Anpassung der Leistungsteile pro Variante dargestellt. Um die Form der vorgehenden Variantenstudien beizubehalten, entspricht Variante 0 wiederum dem Bau-SOLL. Da sich in der laufenden Ausführung eines Tunnelbauprojekts die Untergrundverhältnisse auch als besser und nicht nur als schlechter herausstellen können, wird in der Variante 1 eine Bauzeitverkürzung angenommen.

	Variante 0	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 7
Ausbruch	100%	95%	100%	105%	105%	105%	105%	105%
Sicherung	100%	80%	120%	150%	200%	200%	200%	200%
Injektion	100%	80%	120%	200%	250%	300%	350%	400%
Sonstiges	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Zeitgebundene Position	100%	88%	109%	143%	166%	183%	199%	216%

Tab. 5.17: Variantenstudie 3 – prozentuale Verteilung pro Leistung und Variante

In Tab. 5.18 ist die absolute Bauzeit in Monaten pro Leistungsteil und Variante dargelegt. Diese ergibt sich aufgrund der prozentualen Gewichtung aus Tab. 5.17. Anhand dieser ist festzumachen, dass die Vordersätze des Leistungsteils Injektion pro Variante sukzessive erhöht werden. Im Vergleich dazu, findet eine geringfügige Anpassung der Leistungsteile Ausbruch und Sicherung statt. Dies erklärt sich dadurch, da diese den geringsten Mengenmehrungen in der Bauausführung unterliegen.

	Variante 0	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 7
Ausbruch	8,00 Mo	7,60 Mo	8,00 Mo	8,40 Mo				
Sicherung	2,00 Mo	1,60 Mo	2,40 Mo	3,00 Mo	4,00 Mo	4,00 Mo	4,00 Mo	4,00 Mo
Injektion	5,00 Mo	4,00 Mo	6,00 Mo	10,00 Mo	12,50 Mo	15,00 Mo	17,50 Mo	20,00 Mo
Bauzeit	15,00 Mo	13,20 Mo	16,40 Mo	21,40 Mo	24,90 Mo	27,40 Mo	29,90 Mo	32,40 Mo

Tab. 5.18: Variantenstudie 3 – Bauzeitmodell

Abb. 5.17 stellt den Erlös der Umlagemodelle und Variante in einem Punktdiagramm dar. Anhand der Punkte wird ein Trend anstatt einer Entwicklung pro Umlagemodell und Variante dargestellt. Die X-Achse beschreibt die prozentuale Bauzeitveränderung in [%] und die Y-Achse den Erlös in [SEK].

Die **Variante 1** entspricht einer Bauzeitverkürzung um -12% bezogen auf die Variante 0. Die Leistungsteile werden um -5% (Ausbruch) bzw. 10% (Sicherung und Injektion) reduziert. Nimmt die Bauzeit ab, so zeigt sich eine Konzentration der Erlöse bei durchschnittlich 170 Millionen SEK. Die geringsten Einnahmen werden durch das Modell 2 erwirtschaftet, dies aufgrund der Reduktion der Einzelkosten Lohn pro Leistungsteil. Der maximale Erlös ergibt sich durch das Modell 1. Dies ist insofern nachvollziehbar, als der Leistungsteil lediglich um 5% abnimmt. **Variante 0** kommt dem Bau-SOLL gleich. Dahingehend sammeln sich die Umlagemodelle bei einem Baupreis von 194 Millionen SEK. Obwohl die Bauzeit relativ gesehen nur um 9% erhöht wird, ist anhand der **Variante 2** ersichtlich, dass die Umlagemodelle bereits monetäre Divergenzen aufweisen. Der Leistungsteil Ausbruch entspricht dem Bau-SOLL. Sicherung und Injektion erfahren dieselbe prozentuale Gewichtung in Höhe von 120%. Dahingehend weist Modell 1 den geringsten Erlös und die Modelle 2 und 3 den Höchsten auf. Dahingehend resultiert der höhere Erlös des Modells 4 im Vergleich zum Modell 5. Das Modell 6 gibt sich die Waage und liegt inmitten der beiden Modelle. Gegenüber Variante 2 erhöht sich bei der **Variante 3** die Bauzeit um 31%. Weiters nehmen die Leistungsteile Ausbruch, Sicherung und Injektion zu. Aufgrund der minimalen Erhöhung des Vordersatzes des Ausbruchs werden mit Modell 1 die geringsten Einnahmen lukriert. Die Modell 2 und 3 nehmen wiederum den höchsten Erlös ein. Aufgrund der Anpassung der Vordersätze sämtlicher Leistungsteile positioniert sich Modell 4 über Modell 5. Dies erklärt sich dadurch, dass mittels des Modells 4 die ZGA auf die Lohnkosten umgelegt werden und diese im Verhältnis zu den Einzelkosten für Material, Energie und Sonstiges den wesentlich höheren Anteil ausmachen. Im Gegensatz zum Modell 4 berücksichtigt Modell 5 die ZGA auf sämtlichen Einzelkosten. Ändern sich die Leistungsteile nicht im gleichen Verhältnis und es wird nur ein Leistungsteil (Injektion) erheblich angepasst, sind die monetären Auswirkungen auf das Modell 5 wesentlich prägnanter. Im Vergleich zur Variante 3 kristallisiert sich bereits bei einer geringen Bauzeitverlängerung in Höhe von 109% heraus, dass der Erlös des Modells

6 über den beiden Modellen 4 und 5 liegt. Dahingehend wird nicht nur die Anpassung der Leistungsteile berücksichtigt, sondern auch die Bauzeitverlängerung. Diese führt wiederum zu einer längeren Vorhaltdauer der Ressourcen, die in der zeitgebundenen Position einkalkuliert wird. Für die folgenden **Varianten 4, 5, 6 und 7** zeigt sich derselbe Sachverhalt. Lediglich der Leistungsteil Sicherung nimmt ab Variante 4 einen gleichbleibenden Prozentsatz in Höhe von 200% ein. Der Leistungsteil Ausbruch nimmt einen Prozentsatz in Höhe von 105% ein. Diese beiden Prozentsätze entsprechen den im Spektrum festgelegten oberen Grenzen. Weiters ist erkennbar, dass die zunehmende Bauzeit zu einer Auffächerung der Umlagemodelle pro Variante führt. Dies resultiert daraus, dass der Leistungsteil Injektion sukzessive bis zu einem maximalen Prozentsatz von 400% zunimmt. Außerdem kann festgestellt werden, dass eine geringe zeitliche Bauzeitänderung ein unbeträchtliches Risiko für sämtliche Umlagen der ZGA darstellt. Entscheidend wird die Umlage ab einer relativen Bauzeitverlängerung von knapp 10%. Je mehr die Bauzeit zunimmt, desto größer ist der monetäre Erfolg, wenn die ZGA auf einen Leistungsteil umgelegt werden, welcher einer Mengenzunahme unterliegt. Die Risiken pro Umlagemodell sind entsprechend abzuwägen.

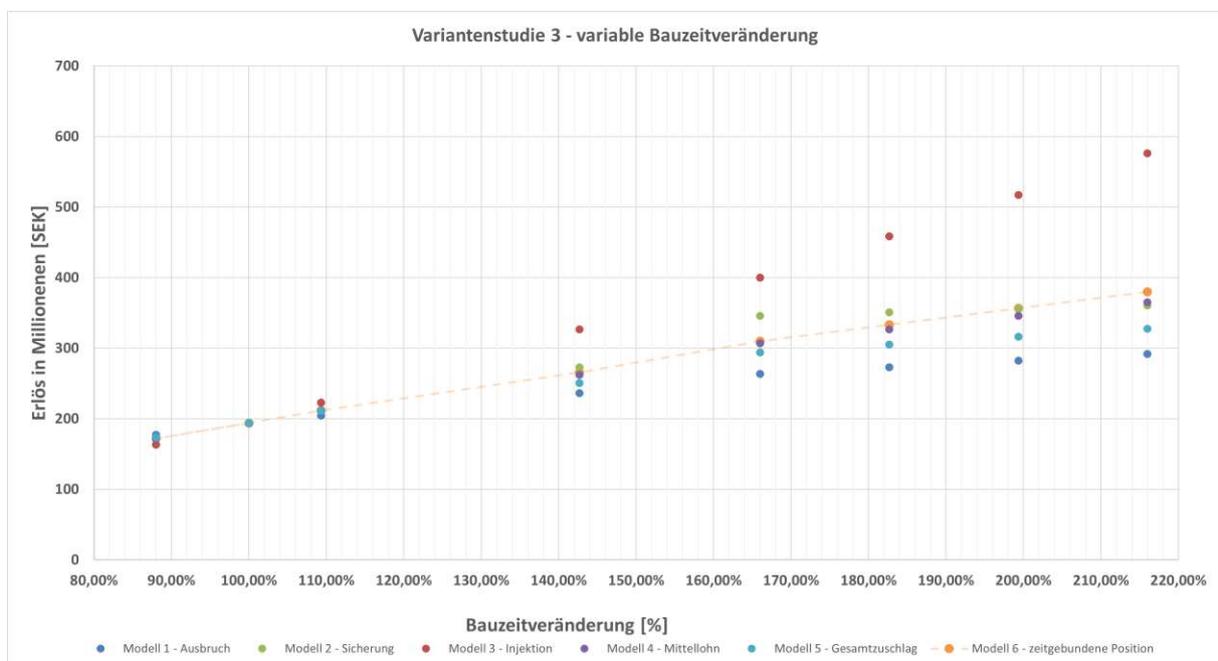


Abb. 5.17: Variantenstudie 3 – variable Bauzeitveränderung

Grundsätzlich bestätigen sich die bereits in den vorhergehenden Variantenstudien 1 und 2 getätigten Aussagen zu den Umlagemodellen. Diese lassen sich anhand der Abb. 5.17 bestätigen und manifestieren. Das Modellverhalten pro Variante für Modell 6 kann durch eine Linie (orange schraffiert) die in die Punkte, die stellvertretend für den Erlös des Modells 6 stehen, dargestellt werden. Es zeigt sich ein nicht lineares Verhalten über sämtliche Varianten. Das ist der Tatsache geschuldet, dass sich die ZGA aus einem variablen und fixen Anteil zusammensetzen. Der variable Bestandteile überwiegt den fixen zeitabhängigen Elementen. Dahingehend weist die Trendlinie in Richtung der maximalen Bauzeitverlängerung ein degressives anstatt einem proportionalen Verhalten auf. Weiteres kann festgehalten werden, dass die Leistungsteile im nahezu gleichen Verhältnis pro Variante zunehmen. Lediglich der Leistungsteil Injektion wird erheblich erhöht, da dieser den größten Unsicherheitsfaktor sämtlicher Leistungsteile darstellt. Das Modell 3 weist dadurch wesentliche Abweichungen pro Variante auf. Auch das Modell 2 zeigt ein ähnliches

Verhalten auf. Dies resultiert aus einer Anpassung des Vordersatzes von -20% bis +200%. Die monetären Schwankungen fallen dahingehend geringer aus. Im Vergleich zu den Modell 2 und 3 stellt das mengenabhängige Modell 1 die geringsten Schwankungen, im Fall einer Mengenerhöhung der Leistungsteile, dar. Dies ergibt sich daraus, dass die Tunnellänge eines Tunnelbauprojekts in den meisten Fällen nicht variiert. Wesentliche Divergenzen können zwischen den Modellen 4 und 5 bei zunehmender Bauzeitverlängerung ab Variante 5 nachgewiesen werden. Dies ist insofern nachvollziehbar, als der Leistungsteil Injektion bei gleichbleibender Sicherung stetig zu nimmt. Ändert sich ein Leistungsteil im Vergleich zu den übrigen, wird die Schere zwischen den beiden Modellen größer. Darüber hinaus ist erkennbar, dass die störungsanfälligen Modelle sich ab Variante 3 ausschließlich unterhalb des Modells 6 platzieren. Bezogen auf sämtliche Modelle pro Variante beschreibt dieses Modell die tatsächlich anfallenden ZGA, da neben der Anpassung der Vordersätze pro Leistungsteil zusätzlich die Bauzeit berücksichtigt wird. Dies zeigt sich auch anhand der orange schraffierten Linie, die ein nahezu proportionales Verhalten pro Bauzeitveränderung beschreibt. Daraus erschließt sich, dass Modell 6 das geeignete Umlagemodell zur Umlage der ZGA darstellt, falls der Bauvertrag Positionen für zeitgebundene BGK vorsieht. Ist dies nicht der Fall, so erweist sich laut Variantenstudie 3 das UmlageModell 4 als das adäquate Modell..

Erlöse in [SEK] - Aufschlüsselung								
	Variante 0	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 7
Modell 1 - Ausbruch	193.743.178	177.093.667	204.680.936	236.165.696	263.510.091	272.876.462	282.242.833	291.609.204
Modell 2 - Sicherung	193.743.178	163.375.538	222.971.774	272.898.940	345.970.432	350.915.660	355.860.888	360.806.116
Modell 3 - Injektion	193.743.178	163.375.538	222.971.774	326.732.850	399.804.341	458.583.478	517.362.616	576.141.753
Modell 4 - Mittellohn	193.743.178	171.794.617	211.745.596	262.052.486	307.058.532	326.415.651	345.772.770	365.129.889
Modell 5 - Gesamtzuschlag	193.743.178	173.858.951	211.063.583	250.739.005	294.040.018	305.171.011	316.302.003	327.432.996
Modell 6 - zeitgebundene Position	193.743.178	171.907.008	211.596.481	265.590.648	310.223.906	333.455.251	356.686.597	379.917.943
Bauzeit	100,00%	88,00%	109,33%	142,7%	166,00%	182,67%	199,33%	216,00%

Tab. 5.19: Variantenstudie 3 – Erlös pro Umlagemodell und Variante

5.6 Zusammenfassung

Das Ziel der Variantenstudie ist es, jenes Modell zu ermitteln, das das geringste Vergütungsrisiko in der Ausführung darstellt. Anhand der Variantenstudie 1 wurde das Modell 6 ausgemacht, dass den Ressourceneinsatz pro Variante am besten widerspiegelt, dies unter der Prämisse, dass die kalkulierten den tatsächlichen ZGA entsprechen. Über die Variantenstudien 2 und 3 konnte dieser Sachverhalt bestätigt werden. Unabhängig davon, ob eine festgelegte oder eine variable Bauzeit pro Variante vorliegt, kann mit diesem Modell aufgrund des regelmäßigen Verhaltens in den divergenten Variantenstudien die faireste Vergütung erfolgen.

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass die Wahl des Umlagemodells quasi immer einer Fehlvergütung in der Ausführung führt. Wird in der Angebotskalkulation nicht ein massives Risiko eingegangen (Modell 2 oder 3), stellt sich für das ausführende Unternehmen, bezogen auf das Modell 6, ein permanenter Entfall des Erlöses für die ZGA ein. Die Modelle 1, 4 und 5 liegen fortlaufend unterhalb diesem Modell. Gibt es also keine eigenen Positionen im Leistungsverzeichnis, gilt es Risiken und Chancen abzuwägen. Das geringste Risiko weist das Modell 4 auf, bei dem die ZGA in den Mittellohn umgelegt wurden. Dem Unternehmen entgeht zwar ein Entgelt im Vergleich zum Modell 6, das Modell 4 stellt aber jedenfalls die risikoärmste Umlage der ZGA dar.

Kapitel 6

Fazit

Das abschließende Kapitel der gegenständlichen Diplomarbeit stellt das Fazit dar. Das Wissen, das durch die Auseinandersetzung der Umlage von zeitgebundenen BGK im Zuge der Ausarbeitung der vorliegenden Arbeit erarbeitet wurde, wird genutzt, um die zu Beginn definierten Forschungsfragen zu beantworten. Darüber hinaus kann eine zweckgerichtete Kernaussage zur Umlage von zeitgebundenen BGK getroffen werden. Abschließend werden weitere Forschungsfelder aufgegriffen und ein Ausblick gegeben.

6.1 Beantwortung der Forschungsfragen

Im Nachfolgenden werden die im Kapitel 1 definierten Forschungsfragen anhand der gesammelten Erkenntnisse der vorliegenden Arbeit beantwortet. Der Autor möchte ausdrücklich darauf hinweisen, dass das schwedische Projekt stellvertretend für sämtliche Bauverträge, die keine eigenen Positionen für die zeitgebundenen BGK vorsehen, steht. Auf Basis dieses Projekts können allgemein gültige Aussagen zur Umlage getroffen werden. Das ausgeführte Tunnelbauprojekt in Schweden dient lediglich als Grundlage, um anhand jedes anderen Projektes die Probleme, die mit der Umlage der zeitgebundenen BGK einhergehen, aufzuzeigen.

Forschungsfrage 1

Welche Möglichkeiten bieten LVs Baustellengemeinkosten im Angebot zu berücksichtigen? Kann dabei zwischen zeitgebundenen und nicht zeitgebundenen BGK unterschieden werden?

Bauverträge in Form von Leistungsverträgen oder auch Aufwandsverträgen schaffen die Grundlage zur Vergütung eines Bauvorhabens zwischen AG und AN. Als bewährte Vertragsform eignet sich der Einheitspreisvertrag zur monetären Erstattung eines erstellten Werkes. Die entsprechende Grundlage dafür bildet das Leistungsverzeichnis. Der Aufbau des Leistungsverzeichnisses wird von den Standardverträgen, den Normenwerken sowie den Standardleistungsbeschreibungen bestimmt. Ein vertragliches Charakteristikum, das länderspezifisch unterschiedlich gehandhabt wird, ist der Umgang mit zeitgebundenen BGK im LV. Deren Berücksichtigung im Bauvertrag hängt im Wesentlichen von der Gestalt der LV-Struktur ab, die vom Ausschreibenden vorgegeben wird.

Charakteristisch für zeitgebundene BGK ist, dass diese primär von der Bauzeit bestimmt werden. Bauzeitveränderungen wirken sich somit direkt auf die monetäre Höhe dieser Kosten aus. Wenn eigene Positionen im LV vorgesehen werden, sorgt dies für eine integre und ungetrübte Vergütung. Ein ausschlaggebender Grund dafür, separate Positionen in einem LV vorzusehen, ist eine verursachungsgerechte Zuordnung auf nicht mengenabhängige LV-Position. Dessen ungeachtet ist die Umlage der zeitgebundenen BGK aus internationaler Sicht dennoch durchaus üblich, wie anhand des schwedischen Projekts beispielsweise dargelegt wurde. Dieser Umstand sorgt dafür, dass zeitgebundene BGK über Umlagen auf mengenabhängige Positionen getätigt

werden. Sieht der Ausschreibende im LV keine eigene Position für zeitgebundene BGK vor, ist eine positionsweise Trennung dieser Kosten von den Einzelkosten somit aus kalkulatorischer Sicht nicht möglich. Das Problem, welches mit dieser Art von Umlage einhergeht, ist, dass eine Leistungsposition ein Konglomerat an Kosten für Material, Lohn, Geräte und Sonstiges darstellt. Die zeitgebundenen BGK ändern sich der Höhe nach nur im Fall einer Mengenerhöhung oder -minderung des Vordersatzes, der üblicherweise in z. B. m, m², m³, to oder Stk etc. angegeben ist. Der Faktor Bauzeit, der die Kosten maßgeblich beeinflusst, wird dadurch nicht miteinbezogen. Falls der Bauvertrag nichts Gegenteiliges vorsieht, ist die Umlage der zeitgebundenen BGK im Gesamtzuschlag oder Mittellohn einzukalkulieren. Im Wesentlichen hängt dies von der Kalkulation eines Unternehmens selbst ab, da das Unternehmen in der Ausführung die wirtschaftlichen Risiken selbst zu tragen hat und das primäre Ziel verfolgt wird, einen auskömmlichen Preis zu erwirtschaften. Daher obliegt es dem Unternehmen, in einer Angebotskalkulation die zeitgebundenen BGK nach eigenem Ermessen einzukalkulieren.

Forschungsfrage 2

Welche Möglichkeiten der Umlage der zeitgebundenen Baustellengemeinkosten gibt es in einer Angebotskalkulation? Wie verhalten sich die Umlagemodelle monetär?

Die Umlage von zeitgebundenen BGK hängt zentral von der Struktur des Leistungsverzeichnisses ab. In diesem Sinne wird in eigene Positionen für zeitgebundene BGK und die Umlage auf mengenabhängige LV-Positionen differenziert. Diese zwei Möglichkeiten der Umlage werden anhand von Abb. 6.1 vereinfacht dargestellt. Sieht das LV des Ausschreibenden separate Positionen für zeitgebundene BGK vor, so gilt es, die Kosten verursachungsgerecht in die dafür vorgesehenen LV-Positionen einzukalkulieren. Andernfalls ist eine Umlage notwendig.

Dies kann global in den übergeordneten Umlagevarianten, LV-Positionen bzw. Leistungsteilen, im Mittellohn und im Gesamtzuschlag erfolgen. Unter Leistungsteilen versteht der Autor die Haupttätigkeiten Ausbruch, Sicherung und Injektion, die zur einer Beeinflussung der Bauzeit führen können. Diese beschreiben die Arbeitsschritte übergeordnet für den zyklischen Vortrieb. Ihr Alleinstellungsmerkmal ist, dass eine Verschiebung eines Leistungsteils zur gesamtheitlichen Verschiebung der Bauzeit führen kann und die Folge eine Bauzeitveränderung ist. Für die Umlage der zeitgebundenen BGK auf die jeweiligen Leistungsteile ist eine eingehende Betrachtung auf der Ebene der LV-Positionen notwendig, um den Umlageträger auszumachen. Im Fall des Ausbruchs handelt es sich dabei um die Ausbruchposition in [m³], bei der Sicherung z.B. um Spritzbeton in [m²] oder Ankerstab in [m] und bei der Injektion z.B. um Injektionsmaterial in [kg] oder um Pumpenstunden [h]. Für die Berücksichtigung der Kosten auf einzelne Umlageträger ist die Ermittlung eines Verrechnungssatzes (Geldeinheit/EH) notwendig.

Neben den Leistungsteilen steht als zweite Umlagevariante der Mittellohn zur Verfügung. Der zyklische Vortrieb zeichnet sich durch einen intensiven Einsatz von produktivem Personal unter Tage aus. Da die Lohnstunden im direkten Zusammenhang mit der Leistungserstellung stehen, ist es nachvollziehbar, dass die produktiven Stunden im Tunnelbau als Umlageträger eine weitere Möglichkeit zur Umlage der zeitgebundenen BGK darstellen. Dementsprechend werden LV-Positionen, die sich unter anderem aus den Einzelkosten Lohn und Sonstiges zusammensetzen, mit den Kosten beaufschlagt. Im Gegensatz dazu werden die zeitgebundenen BGK prozentual auf sämtliche Einzelkosten (Lohn, Energie, Material und Sonstiges) mit dem Gesamtzuschlag nach der dritten Umlagevariante umgelegt. So können etwa in Österreich laut *ÖNORM B 2061* die zeitgebundenen BGK im K2-Blatt (Gesamtzuschlag) und im K3-Blatt (Mittellohn) berücksichtigt werden. In Anlehnung an die *ÖNORM B 2203-1* bzw. *LB VI* wird für die eigene Position der zeitgebundenen BGK die Grundposition *ZGKB Vortriebsbeginn – Vortriebs.- od. Betonierende* herangezogen. Die Vergütung erfolgt nach einer Pauschale in der Höhe der zeitgebundenen BGK.

Eine monatliche Verrechnung findet nach [VE] statt. Hierfür werden die Kosten im Verhältnis zu der gesamten Dauer der Vortriebsarbeiten (Ausbruch, Sicherung und Injektion) gesetzt.

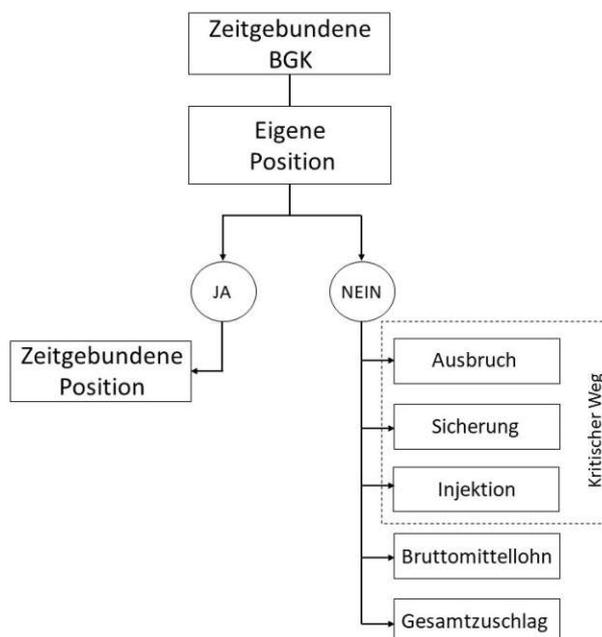


Abb. 6.1: Entscheidungsbaum

Als Vertragsbestandteil eines Bauvertrags im Tunnelbau gilt in Österreich die *ÖNORM B 2203-1*. Eine vertragliche Besonderheit, die die Werkvertragsnorm *ÖNORM B 2203-1* auszeichnet ist, dass die Bauzeit nicht nur in einer eigenen Position für die zeitgebundenen BGK, sondern in einem Bauzeitmodell einkalkuliert wird. Das Charakteristikum dieses Modells ist, dass die nicht vorhersehbaren Untergrundverhältnisse durch eine rechnerische Anpassung der Bauzeit berücksichtigt werden. Die vertraglich festgelegte Bauzeit kann somit im laufenden Baubetrieb auf Grundlage der tatsächlichen Bedingungen angepasst werden. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass sich die Vortriebsklassenverteilung in der Ausführung besser oder schlechter darstellen kann als ursprünglich angenommen. Die *ÖNORM B 2203-1* liefert somit Lösungen, diese Abweichungen im Bauvertrag einzukalkulieren. Dies ist im Tunnelbau aus internationaler Sicht fast einzigartig.

In der gegenständlichen Arbeit werden die zeitgebundenen BGK um die Kosten für Personal und Energie erweitert, wie im Kapitel 3.5 näher erläutert wurde. Diese werden als ZGA zusammengefasst. Die Umlage der ZGA bewirkt einen Zuwachs des jeweiligen Umlageträgers, dargestellt in Abb. 6.2. Die abgebildeten Umlagemodelle entsprechen den oben dargestellten Umlagevarianten. Im Gegensatz zu den Modellen 1 bis 3, bei denen die zeitabhängigen Bestandteile jeweils auf einen Leistungsteil umgelegt werden, sehen die Modelle 4 und 5 die Umlage der Kosten auf alle Leistungsteile außer auf Sonstiges vor. Sonstiges entspricht den Tätigkeiten im Tunnelbau, die nicht am kritischen Weg liegen. Zur Deckung der Kosten dienen im Fall des Modells 4 sämtliche Lohnkosten in den LV-Positionen. Eine Eigenschaft des Modells ist, dass die restlichen Einzelkosten Energie, Materialkosten und sonstige Kosten keinen Einfluss auf die Deckung der ZGA haben. Hingegen werden diese beim Modell Gesamtzuschlag zur Kostendeckung herangezogen. Das Modell 6 berücksichtigt demgegenüber die Kosten in einer zeitgebundenen Position.

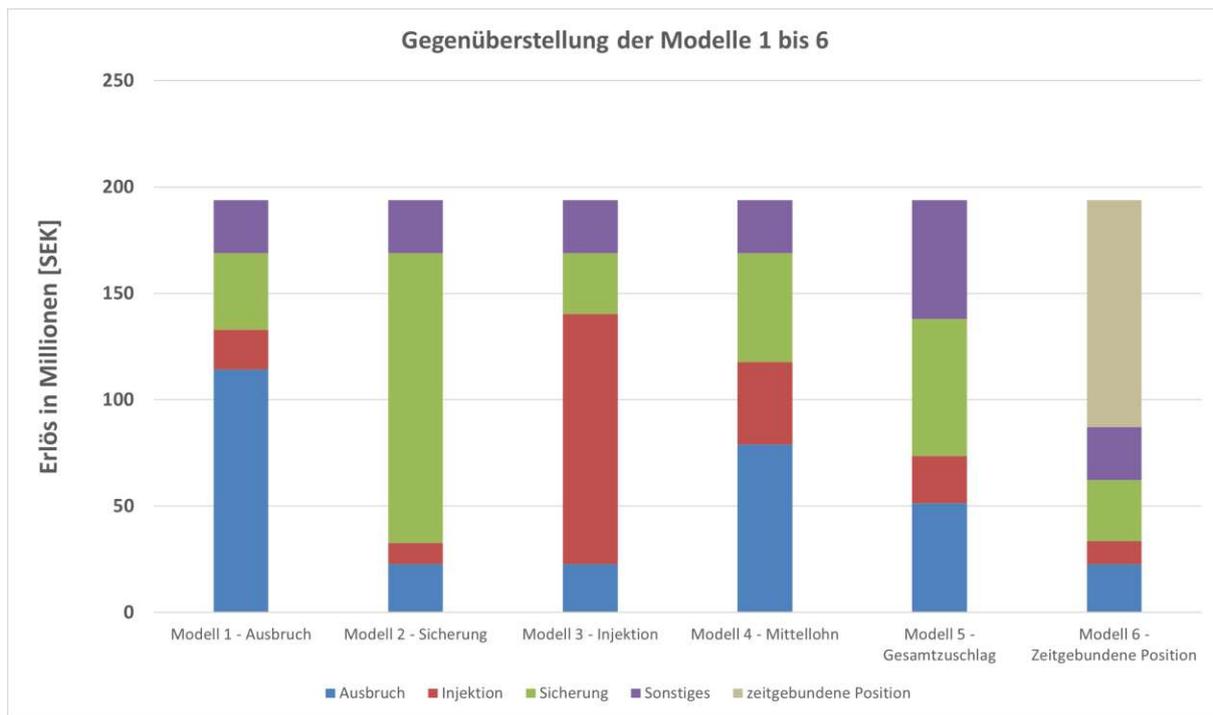


Abb. 6.2: Gegenüberstellung der Modelle im Bau-SOLL

Forschungsfrage 3

Welche Umlagemodelle weisen die größten Vergütungsrisiken in der Ausführung, im Hinblick auf Mengenmehrung bzw. Mengenminderung des Vordersatzes im LV, auf? Kann hier eine Systematik identifiziert werden?

Die folgenden Aussagen werden auf Grundlage der Ausarbeitung der Variantenstudie 1 im Kapitel 5 anhand Abb. 6.3 getätigt. Die Variantenstudie 1 zeigt das Vergütungsrisiko in der Ausführung eines Tunnelbauprojekts am Beispiel des schwedischen Projekts auf. Anpassungen des Vordersatzes spiegeln in diesem Zusammenhang die Mengenmehrung bzw. Mengenminderung, die auf Grund von Abweichungen des Bauablaufs (geologischer, technischer oder baubetrieblicher Natur) auftreten können, wider. In diesem Sinne werden die Vordersätze der Leistungsteile (Ausbruch, Sicherung und Injektion) nach typischen tunnelbauspezifischen Szenarien pro Variante verändert. Das notwendige Spektrum, das die obere und untere Grenze der Variation von LV-Mengen beschreibt, wird im Kapitel 5.3 näher erläutert. Eine Veränderung des Vordersatzes sorgt nicht nur ausschließlich für eine Erhöhung oder Reduktion der LV-Menge, sie hat vielmehr auch Auswirkungen auf die Bauzeit, da die Leistungsteile am kritischen Weg liegen. In Hinblick auf Modell 6 wird der exemplarische Bauvertrag um ein vereinfachtes Bauzeitmodell erweitert, dadurch können die Bauzeitveränderungen 1:1 berücksichtigt werden.

Wie in Abb. 6.3 zu erkennen ist, wirkt sich die Anpassung der Vordersätze pro Leistungsteil und Variante maßgeblich auf die divergenten Umlagemodelle aus. Liegt keine Änderung des Vordersatzes vor, beschrieben durch das Bau-SOLL, so konzentrieren sich die Modelle in einem Punkt, welcher stellvertretend für die vertraglich festgelegte Angebotssumme ist. Das Modell 1 weist die geringsten monetären Schwankungen auf. Dies erklärt sich dadurch, dass die Tunnellänge eines geplanten Tunnelbauprojekts kaum Änderungen unterliegt und somit die Ausbruchkubatur nahezu konstant bleibt. Dahingehend erklärt sich das überschaubare Risiko der Mengenmehrung des Leistungsteils Ausbruch in der Bauausführung. Im Vergleich dazu zeigt

das Modell 2 monetäre Divergenzen auf, da sich die einzubauende Stützmittelmenge an der Mindestsicherung orientiert und je nach Projekt eine Zunahme dieser Menge vorliegen kann. Die Umlage auf einen Umlageträger, der im Zusammenhang mit dem Leistungsteil Sicherung steht, kann somit als wenig risikobehaftet im Bezug auf die Anpassung des Vordersatzes bezeichnet werden. Im Gegensatz zum Modell 2 impliziert eine Umlage der ZGA auf einen Umlageträger des Leistungsteils Injektion eine gewisse Volatilität, da diese Tätigkeit den größten Unsicherheitsfaktor im Tunnelbau aufgrund der bestimmenden Abhängigkeiten von geologischen und hydrologischen Untergrundverhältnissen darstellt. Das größte Risiko einer Mengenerhöhung und -minderung des Vordersatzes besteht somit bei den Leistungsteilen Sicherung und Injektion. Eine Berücksichtigung der zeitabhängigen Kostenbestandteile kann als risikoreich beschrieben werden. Eine weitere Möglichkeit der Umlage der ZGA stellt das Modell 4 dar. Die Anpassung des Vordersatzes pro Leistungsteil sorgt dafür, dass die Einzelkosten Lohn zu- oder abnehmen. Eine Variation der übrigen Einzelkosten Material und Sonstiges trägt nicht zur Deckung der Kosten bei. Ändern sich die Leistungsteile nicht im gleichen Verhältnis, so werden die ZGA nicht vollständig vergütet. Die Deckung der zeitabhängigen Kosten wird somit nur über die Lohnkosten erreicht. Der Vorteil dieses Modells liegt in der übersichtlichen Gestaltung der Umlage. Weiters ist aus dem Diagramm ersichtlich, dass das Modell 4 eine regelmäßige Erlösfunktion pro Variante aufweist. Dieses Verhalten ist am Modell 5 nicht festzustellen. Pro Variante liegen relativ große Schwankungen vor, da die ZGA auf sämtliche Einzelkosten umgelegt werden. Das ist der Tatsache geschuldet, dass die ZGA auf sämtliche Einzelkosten umgelegt werden. Anpassungen der Leistungsteile wirken sich somit viel gravierender auf den Erlös der Kosten aus. Das Risiko einer Unterdeckung in der Ausführung ist somit wesentlich größer. Ändert sich z.B. bei gleichbleibendem Arbeitseinsatz aus unterschiedlichen Gründen der Preis des Materials, führt dies zu einer Unterdeckung der ZGA, obwohl die vollständigen Lohnkosten abgegolten werden.

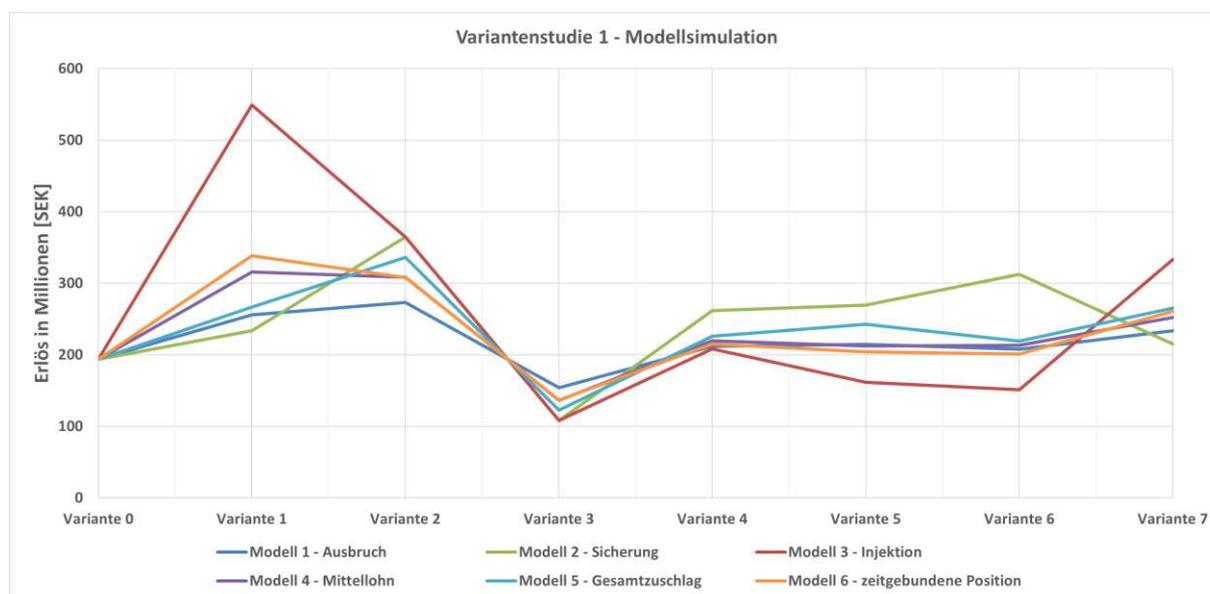


Abb. 6.3: Variantenstudie 1 - Modellsimulation

Einen wesentlichen Faktor, den die soeben dargestellten Umlagemodelle nicht berücksichtigen, ist die Bauzeit. Da die Leistungsteile Ausbruch, Sicherung und Injektion am kritischen Weg liegen und diese maßgeblich die Bauzeit bestimmen, stellt das Modell 6 die geeignetste Umlagevariante dar, um die ZGA im Leistungsverzeichnis umzulegen. Aufgrund der wechselhaften Untergrundverhältnisse, die im Tunnelbau häufig auftreten, ist die Berücksichtigung der Bauzeit

unabdingbar. Das Modell 6 berücksichtigt dies nicht nur durch eine eigene Position im LV, sondern auch durch ein Bauzeitmodell. Tritt eine Bauzeitveränderung auf, so wird diese anhand des Modells abgegolten. Unter dieser Prämisse beschreibt das Modell 6 die erwartungsgemäß kalkulierten Kosten für Bauregie, Geräte, Lohn und Energie. Darüber hinaus lässt sich festhalten, dass das Modell pro Variante die geringsten Schwankungen aufweist, da neben der Anpassung der Leistungsteile die Bauzeit einkalkuliert wird.

Abschließend sind in Tab. 6.1 die Umlagemodelle überblicksmäßig gegenübergestellt. Daraus ist ersichtlich, dass das größte Risiko der Mengenschwankung bei der Umlage auf die Leistungsteile Sicherung und Injektion vorliegt. Es wird zwar der größte Erlös lukriert, das Vergütungsrisiko in der Ausführung ist jedoch immens. Das Risiko der Mengenerhöhung oder -minderung spiegelt sich auch in den Umlagemodellen 4 und 5 wider. Tritt eine Anpassung der Vordersätze sämtlicher Leistungsteile im Zuge einer Abweichung des Bauablaufs ein, ist das Vergütungsrisiko gering. Ist dies nicht der Fall, ein Leistungsteil ändert sich im Verhältnis zu den übrigen massiv, so steigt das Risiko einer zu geringen Vergütung. Das Modell, welches die ZGA in einer eigenen Position berücksichtigt, stellt das adäquateste Umlagemodell dar wie bereits oben ausführlich erläutert.

Tab. 6.1: Gegenüberstellung der Umlagemodelle

Umlagemodelle	Mögliche Schwankung des Vordersatzes
Modell 1 – Ausbruch	gering
Modell 2 – Sicherung	gering
Modell 3 – Injektion	hoch
Modell 4 – Mittellohn	spezifisch je nach LV
Modell 5 – Gesamtzuschlag	spezifisch je nach LV
Modell 6 – zeitgebundene Position	adäquat

Forschungsfrage 4

Welche Schlüsse können aus der Variantenstudie 3 gezogen werden? Welches Modell berücksichtigt die zeitgebundenen Baustellengemeinkosten am adäquatesten? Wieso stellt sich dieses Modell am geeignetsten für die Umlage der zeitgebundenen Baustellengemeinkosten dar? Wo liegt das kleinste und wo das größte Risiko?

Die Beantwortung der abschließenden Forschungsfrage erfolgt auf Basis der Variantenstudie 3 im Kapitel 5. Anhand dieser können die monetären Auswirkungen pro Umlagemodell und Variante mittels einer variablen Bauzeitenveränderung festgemacht werden.

Die Variantenstudie 3 zeigt auf, dass ein wesentlicher Parameter, der über Gewinn oder Verlust eines Baustellenergebnisses in der Ausführung entscheidet, die Bauzeit ist. Findet eine Anpassung der Vordersätze der Leistungsteile statt, so ändert sich dementsprechend die Gesamtbauzeit. Dahingehend stellt die Berücksichtigung der ZGA in einer eigenen Position die risikoärmste Umlagevariante dar. Darüber hinaus impliziert das Modell 6 ein Bauzeitmodell. Mit diesem können nicht vorhersehbare Untergrundverhältnisse im Bauvertrag vertraglich festgehalten werden. Das Modell 6 spiegelt somit einen realistischen Erlös im Fall einer Abweichung des Bauablaufs wider, dies unter der Prämisse, dass der kalkulierte dem tatsächlichen Ressourceneinsatz entspricht. Sämtliche andere Umlagemodelle berücksichtigen diesen Sachverhalt nicht. Dahingehend sind

demnach unternehmerische Handlungen zu setzen. Anhand Abb. 6.4 wird aufgezeigt, dass bei einer relativen Zunahme der Bauzeit die Modelle 1, 4 und 5 unterhalb des Modells 6 liegen. Eine Umlage nach diesen Umlagemodellen sorgt dafür, dass stets eine Differenz des Erlöses bezogen auf Modell 6 vorliegt. Nur ein spekulativer Umlageträger in Form der Modelle 2 oder 3 sorgt für den maximalen Erlös. Dieser Umstand verdeutlicht, welche monetären Folgen eine Umlage auf mengenabhängige Umlageträger für ausführende Unternehmen hat. Wird ein spekulativer Ansatz zur Umlage der Kosten gewählt, muss die Änderung des Vordersatzes in der Ausführung bekannt sein. Das damit verbundene Vergütungsrisiko kann im Zuge der Erstellung der Angebotskalkulation nicht abgeschätzt werden. Aus diesem Grund stellen volatile Umlageträger für ausführende Unternehmen mehr Risiken als Chancen dar.

Sieht ein Leistungsverzeichnis keine eigene Position für zeitgebundene BGK vor, ist das Modell 4 am zielführendsten. Obwohl eine monetäre Divergenz pro Variante vorliegt, zeigt die Berücksichtigung der Kosten auf den Lohnkosten die geringsten Schwankungen auf. Das Modell 5 stellt daher ein ungeeignetes Modell dar, da es aufgrund der Umlage auf sämtliche Einzelkosten größeren Schwankungen unterliegt. Ändert sich ein Leistungsteil im Verhältnis zu den restlichen Leistungsteilen, entgehen dem ausführenden Unternehmen im Vergleich zum Modell 4 weitere Erlöse zur Deckung der ZGA. Schlussendlich kann das Vergütungsrisiko in der Ausführung eines Tunnelbauprojektes nur minimiert, jedoch nie vollständig ausgeschlossen werden, dies unabhängig von der Wahl des Umlageträgers.

Dahingehend stellt Modell 6 die sicherste Variante dar, um die tatsächlichen zeitgebundenen BGK in der Ausführung zu vergüten. Die Erlösfunktion des Modells in Abb. 6.4 zeigt auf, dass diese sukzessive mit zunehmenden Bauzeit steigt. Ein proportionales Verhalten kann anhand der Funktion nicht festgestellt werden. Dies erklärt sich dadurch, dass sich der Erlös aus einem gewichteten Anteil aus zeitabhängigen Kosten zusammensetzt, im Fall des gegenständlichen Projektes zu 55%. Die restlichen 45% setzen sich aus konstanten Anteilen zusammen. Es liegt daher ein degressives und kein proportionales Verhalten der Erlösfunktion vor.

Abschließend lässt sich die Aussage treffen, dass das geringste Vergütungsrisiko bei einer relativen Bauzeitveränderung in Bezug auf die SOLL-Bauzeit von $\pm 5\%$ vorliegt. Bei einer Unterschreitung der Bauzeit kann festgehalten werden, dass die Wahl des Umlagemodells unerheblich ist. Bei einer Überschreitung wird das Umlagemodell schlagend für das ausführende Unternehmen. Die Auffächerung der Erlösfunktionen in Bezug zum Modell 6 nimmt pro Variante schlagartig zu.

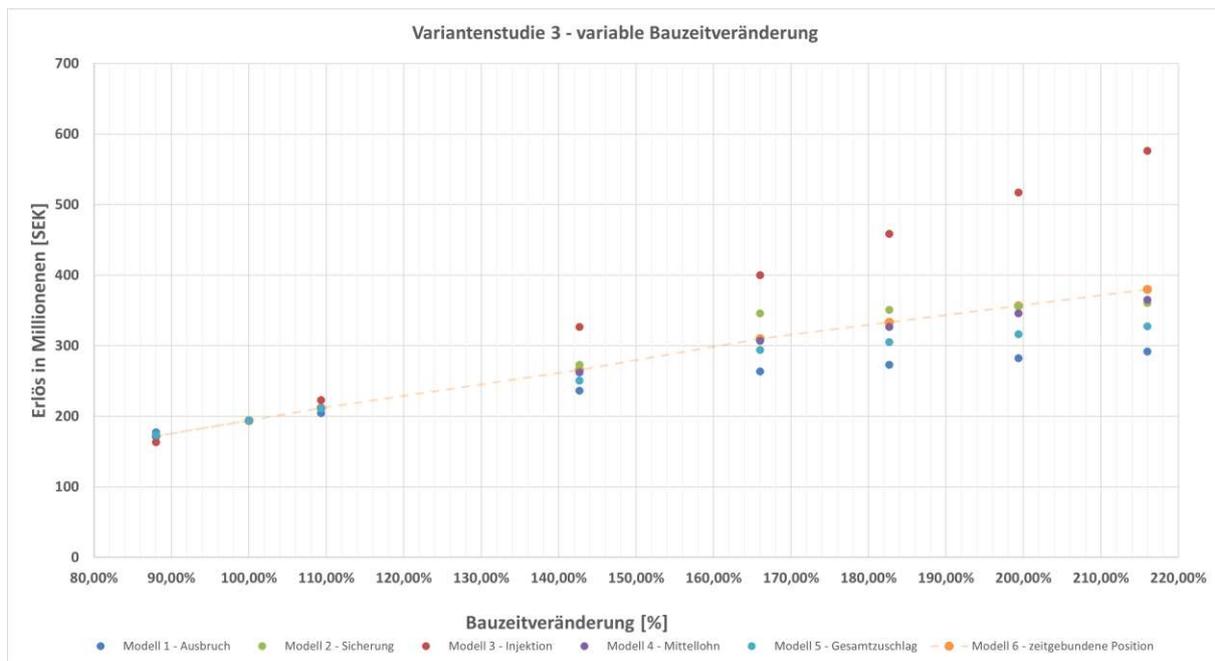


Abb. 6.4: Variantenstudie 3 – variable Bauzeitveränderung

6.2 Kernaussage

Weist ein Bauvertrag eigene Positionen für zeitgebundene BGK und dementsprechend auch ein Bauzeitmodell auf, welches die tatsächliche Bauzeit unaufgefordert berücksichtigt, so stellt dies die sicherste Möglichkeit zur Vergütung einer spezifischen Position im Tunnelbau dar. Mit dieser können die tatsächlichen Kosten erlöst werden, da diese den tatsächlich kalkulierten zeitgebundenen BGK in der Angebotskalkulation entsprechen.

Sieht ein Bauvertrag keine eigene Position für zeitgebundene BGK vor, so ist dies Chance und Risiko zugleich. Je geringer die Bauzeitveränderung ist, desto geringer ist das monetäre Risiko für ausführende Unternehmen. Tritt eine Bauzeitverlängerung im Zuge der Ausführung auf, so ergibt sich der größte Erlös, wenn die ZGA in jene Leistungsteile einkalkuliert werden, die der größten Mehrung des Vordersatzes unterliegen. Der geringste Erlös wird lukriert, wenn die LV-Mengen eines Leistungsteils geringen Mengenschwankungen unterliegen. Beide Umstände stellt quasi eine Spekulation dar. Die Umlage auf wechselhafte Leistungsteile ist nur in zwei Fällen möglich. Erstens das ausführende Unternehmen hat Kenntnisse über Volatilität des Umlageträgers. Zweitens werden im Zuge der Angebotserstellung Mutmaßungen angestellt. In beiden Fällen müssen die Risiken abgewogen und genau bedacht werden.

Anhand der herausgearbeiteten Erkenntnisse aus Kapitel 5 kann festgestellt werden, dass bei sämtlichen Umlagemodellen (außer Modell 3) die Erlöse unterhalb der tatsächlichen Kosten der ZGA liegen. Wenn der Bauvertrag keine separaten Positionen vorsieht, so stellt das geeignetste Umlagemodell das Modell des Mittellohns dar. Im Vergleich zu den übrigen Modellen zeigt dieses Modell für eine festgelegte und zunehmende Bauzeit die geringsten Schwankungen auf.

Auf Basis der Erkenntnisse vorliegender Diplomarbeit können zwei grundsätzliche Empfehlungen ausgesprochen werden. Liegt beim Ausschreibungs-LV eine Position für zeitgebundene BGK vor, so sind alle entsprechenden Tätigkeiten in diese zu kalkulieren. Für den Fall, dass Ausschreibungen keine eigenen Positionen für zeitgebundene BGK vorsehen, kann eine solche Position fiktiv im

Leistungsverzeichnis hinzugefügt werden. Dadurch können die tatsächlichen Kosten ermittelt und im Hinblick auf Bauzeitveränderungen beurteilt werden. Anschließend sind vom Unternehmer jene Umlageträger ausfindig zu machen, welche die größte Vergütungssicherheit mit sich bringen. Dabei sind jedenfalls verschiedene Szenarien an Bauablaufänderungen zu berücksichtigen.

6.3 Weiterführende Forschung und Ausblick

Im letzten Abschnitt erfolgt ein Ausblick auf zukünftige Forschungsfelder mit Bezug auf die Umlage von zeitgebundenen BGK im Tunnelbau. Umlagemodelle bilden ein probates Mittel, um zeitgebundene ZGA im Bauvertrag bzw. im Leistungsverzeichnis zu berücksichtigen. Dahingehend besteht Potential, weitere Modelle zur Berücksichtigung der zeitgebundenen BGK auf leistungsabhängige Positionen zu entwickeln. Folgende Forschungsfelder tun sich auf Grundlage der gesammelten Erkenntnisse der gegenständlichen Arbeit auf:

- Die Umlagemodelle sind auf Basis der zur Verfügung gestellten Datenstruktur ausgearbeitet worden. Es kann daher eine weiterführende Analyse im nationalen- und internationalen Kontext durch die Anwendung der Umlagemodelle auf divergierende Tunnelbauprojekte erfolgen. Daraus können weitere Schlüsse zur Umlage der ZGA getroffen und die monetären Auswirkungen aufgezeigt und manifestiert werden.
- Ein weiteres Forschungsfeld, das sich im Zuge der Ausarbeitung des Grundlagenkapitels aufgetan hat, ist die Klassifizierung der zeitgebundenen BGK in fixe und variable Kostenbestandteile. Als fixer Anteil der zeitgebundenen Kosten werden jene Ressourcen (Personal und Geräte) verstanden, die über den kompletten Ausführungszeitraum ständig auf der Baustelle zur Verfügung stehen müssen.
Es handelt sich um jene Kosten, die im laufenden Baubetrieb nicht quantitativ adaptiert werden. So befindet sich etwa auf der Baustelle immer ein Projektleiter, unabhängig davon, ob sich der Leistungsumfang in der Ausführungsphase erhöht oder reduziert. Im Gegensatz dazu versteht man unter dem variablen Anteil der zeitgebundenen Kosten jene Ressourcen, die nicht ständig auf der Baustelle zur Verfügung stehen müssen. Der Ressourceneinsatz hängt von der Bauphase des jeweiligen Bauvorhabens ab. Dispositives Personal (z.B. Polier für Ausbruchsarbeiten) wird etwa nur für die Phase der Vortriebsarbeiten und nicht für den Innenausbau herangezogen, da die Bauleistung nur in den jeweiligen Bauphasen erbracht wird.

Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass es dem Bauherrn zum Teil selbst obliegt, Positionen für zeitgebundene BGK im Bauvertrag vorzusehen. Dies sorgt nicht nur für eine verursachungsgerechte Zuordnung der Kosten, sondern zeigt auch den hohen Stellenwert, den diese Kostenbestandteile mit sich bringen. Dem Auftraggeber wird daher empfohlen, separate Positionen im Bauvertrag vorzusehen, denn eine Berücksichtigung der zeitgebundenen BGK auf leistungsabhängige Positionen sorgt nicht nur für fehlende Transparenz, sondern auch für Unmut auf Seiten des ausführenden Unternehmens in der Kalkulation eines Tunnelbauprojektes.



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

Literatur

- [1] AB 04: 2004. *General Conditions of Contract – FOR BUILDING AND CIVIL ENGINEERING WORKS AND BUILDING SERVICES*. Byggsandets Kontraktskommitté (Construction Contracts Committee) (BKK). Stockholm.
- [2] AMA 17: 2019. *AMA Anläggning 17 – General Material and work Specification for civil engineering works*. Svenskbyggtjänst. Stockholm.
- [3] B_I Medien. *Warum wird in der Baubranche so wenig Geld verdient?* 2011. URL: <https://bi-medien.de/fachzeitschriften/baumagazin/betriebsfuehrung/warum-wird-in-der-baubranche-so-wenig-geld-verdient-b10037> (Zugriff am 08.03.2011).
- [4] M. Bammer. *Technische Begriffe für Juristen: K-Blätter*. 2013. URL: http://www.ra-w.at/RA1/RA2-Pub/Publikationen/Ba-ZRB_-2013-XXI.pdf (Zugriff am 12.03.2013).
- [5] Bauforum 24. *Neuer Sandvik DT923i Tunnel-Bohrwagen*. 2021. URL: <https://www.bauforum24.biz/news/sandvik/neuer-sandvik-dt923i-tunnel-bohrwagen-r8547/> (Zugriff am 06.07.2021).
- [6] Bundesanstalt für Straßenwesen. *Leitfaden für die Behandlung von zeitgebundenen Kosten im Tunnelbau*. 2017. URL: https://www.bast.de/DE/Publikationen/Regelwerke/Ingenieurbau/Sonstiges/b4-Leitfaden-ZGK-Tunnelbau.pdf?__blob=publication%20File&v=2 (Zugriff am 13.03.2013).
- [7] G. Dress und W. Paul. *Kalkulation von Baupreisen*. 7.Auflage. Berlin: Bauwerk Verlag GmbH, 2002. ISBN: 3-89932-007-7.
- [8] M. Duschel. „Modell für eine prozessorientierte Baukalkulation“. Dissertation. Technische Universität Wien, 2020.
- [9] J. Erichsen. *Ursachen und Maßnahmen zur Vermeidung einer Kostenremanenz*. 2013. URL: <https://www.iww.de/bbp/unternehmensberatung/rechnungswesen-ursachen-und-massnahmen-zur-vermeidung-einer-kostenremanenz-f69412> (Zugriff am 06.09.2013).
- [10] O. Gasser und C. Haidenthaller. „Schwedisches Tunnelbauprojekt, Umfahrung Stockholm“. In: *Geomechanik und Tunnelbau* 114 (697–707) (2021), S. 2–112.
- [11] S. Georg. *Kostenmanagement*. 2020. URL: <https://drstefangeorg.de/%20hochschulver%20anstaltungen/kostenmanagement/> (Zugriff am).
- [12] Germany Trade&Invest. *Vertragsrecht*. 2022. URL: <https://www.gtai.de/de/trade/schweden/recht/vertragsrecht-89656>.
- [13] G. Girmscheid. *Bauprozesse und Bauverfahren des Tunnelbaus*. 3.Auflage. Weinheim: Ernst & Sohn, 2013. ISBN: 978-3-433-03047-9.
- [14] G. Girmscheid und C. Motzko. *Kalkulation, Preisbildung und Controlling in der Bauwirtschaft*. 2.Auflage. Berlin: Springer Verlag, 2013. ISBN: 978-3-642-36637-6.
- [15] GKI. *Information zu den Sprengarbeiten in Prutz*. 2015. URL: <https://www.gemeinschafts%20kraftwerk-inn.com/anrainerinformation-prutz/> (Zugriff am 26.03.2015).

- [16] G. Goger. *Studienblätter zur Vorlesung Bauverfahren im Tunnel- und Hohlraumbau*. Wien: Technische Universität Wien, Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement, Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik, 2017. 308 S.
- [17] G. Goger und B. Chylik. *Dynamische Tunnelbauverträge nach ÖNORM B 2203-1 bzw. B 2203-2*. Forschungsber. Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik, 2014. 16 S.
- [18] Korfmann. *Cukaru Peki*. 2022. URL: <https://korfmann.com/cukaru-peki/>.
- [19] A. Kropik. *Baukalkulation, Kostenrechnung und ÖNORM B 2061*. 1.Auflage. Perchtholdsdorf: Univ.-Prof. DI Dr.Andreas Kropik, 2020. ISBN: 978-3-950-42981-7.
- [20] A. Kropik. *Bauvertragliche und bauwirtschaftliche Aspekte des Nachtragsmanagements*. 2011. URL: <https://www.yumpu.com/de/document/view/7861251/bauvertragliche-und-bauwirtschaftliche-aspekte-des-> (Zugriff am 13.01.2013).
- [21] A. Kropik. *Bauvertragliche und bauwirtschaftliche Aspekte des Nachtragsmanagements*. Wien: Bauwirtschaftliche Beratung GmbH, 2016. 87 S.
- [22] A. Kropik. *Studienblatt zur Vorlesung, Kalkulation und Kostenrechnung im Baubetrieb*. Wien: Technische Universität Wien, Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement, Forschungsbereich Bauwirtschaft und Baumangement, 2019. 304 S.
- [23] A. Kropik und T. Oswald. „Die Baustellengemeinkosten und die Darstellung der Umlage nach der neuen ÖNorm B 2061“. In: *Baublatt* (Sep. 2020), S. 92. (Zugriff am 01.06.2006).
- [24] LB VI: 2021-05-01. *Standardisierte Leistungsbeschreibung Verkehr und Infrastruktur*. Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr (FSV). Wien.
- [25] E. Leimböck und U. Klaus. *Baukalkulation und Projektcontrolling*. 1.Auflage. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2015. ISBN: 978-3-658-04872-3.
- [26] 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.
- [27] U. Marcus und I. Anders. „Självkostnadsprincipen enligt AB 04 och ABT 06“. In: *Svensk juristtidning* 542 – 550 (2018), S. 542.
- [28] K. Möller. *Kostenmanagement*. 2019. URL: <https://www.controlling-wiki.com/de/index.php/Kostenmanagement> (Zugriff am 27.01.2019).
- [29] ÖBB. *Brenner Basistunnel*. 2022. URL: <https://infrastruktur.oebb.at/de/projekte-fuer-oesterreich/bahnstrecken/brennerstrecke-kufstein-brenner-basistunnel> (Zugriff am 13.07.2022).
- [30] ÖBB. *Semmering Basistunnel*. 2022. URL: <https://suedstrecke.oebb.at/en/media/semmering-basistunnel> (Zugriff am 09.09.2022).
- [31] W. Oberndorfer und R. Haring. *Preisbildung & Preisumrechnung von Bauleistungen*. 2.Auflage. Wien: Manz, 2014. ISBN: 978-3-214-12143-3.
- [32] ÖGG: 2013-01-01. *Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit kontinuierlichem Vortrieb*. Österreichische Gesellschaft für Geomechanik. Salzburg.
- [33] ÖNORM B 2050: 2006-01-11. *ÖNORM B 2050: Vergabe von Aufträgen über Leistungen – Verfahrensnorm*. Austrian Standards Institute. Wien.
- [34] ÖNORM B 2061: 1999-09-01. *ÖNORM B 2061: Preisermittlung für Bauleistungen – Verfahrensnorm*. Austrian Standards Institute. Wien.

- [35] ÖNORM B 2061: 2020-05-01. *ÖNORM B 2061: Preisermittlung für Bauleistungen – Verfahrensnorm*. Austrian Standards Institute. Wien.
- [36] ÖNORM B 2110: 2013-03-15. *ÖNORM B 2110: Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen – Werkvertragsnorm*. Austrian Standards Institute. Wien.
- [37] ÖNORM B 2118: 2021-12-01. *ÖNORM B 2118: Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen und Anwendung des Partnerschaftsmodells, insbesondere bei Großprojekten – Werkvertragsnorm*. Austrian Standards Institute. Wien.
- [38] ÖNORM B 2203-1: 2001-12-01: 2001-12-01. *ÖNORM B 2203-1: Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm – Teil 1: Zyklischer Vortrieb*. Austrian Standards Institute. Wien.
- [39] ÖNORM B 2203-1: 2022-01-15. *ÖNORM B 2203-1: Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm – Teil 1: Zyklischer Vortrieb*. Austrian Standards Institute. Wien.
- [40] ÖNORM B 2203-2: 2005-01-15. *ÖNORM B 2203-2: Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm – Teil 2: Kontinuierlicher Vortrieb*. Austrian Standards Institute. Wien.
- [41] Planradar GmbH. *Alles, was Sie schon immer über Tunnel wissen wollten*. 2020. URL: <https://www.planradar.com/at/tunnel/#:~:text=Was%20kostet%20Tunnelbau%20pro%20Kilometer,Euro%20pro%20Kilometer%20zu%20Buche>. (Zugriff am 17.02.2020).
- [42] Statista GmbH. *Prognose zur Entwicklung der Weltbevölkerung von 2010 bis 2100 (in Milliarden)**. 2021. URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1717/umfrage/prognose-zur-entwicklung-der-weltbevoelkerung/> (Zugriff am 29.12.2021).
- [43] Tappauf.consultants. *A09 Pyhrn Autobahn, Plabutschunnel*. URL: <https://www.tbttappauf.at/cms/portfolio/a09-pyhrn-autobahn-plabutsch-tunnel/> (Zugriff am 14.10.2022).
- [44] S. T. A. Trafikverket. *Autobahnabschnitt in Schweden*. 2014. URL: https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/12318/RelatedFiles/100689%5C_join%5C_us%5C_in%5C_building%5C_the%5C_stockholm%5C_bypass.pdf (Zugriff am 18.02.2014).
- [45] Tunnel-Online. *Einfluss der reaktiven Komponenten auf die Spritzbetonperformance*. 2021. URL: https://www.tunnel-online.info/de/artikel/tunnel%5C_Einfluss%5C_der%5C_reaktiven%5C_Komponenten%5C_auf%5C_die%5C_Spritzbetonperformance%5C_2344970.html (Zugriff am 16.09.2021).
- [46] R. Weber. *ÖN B 2061 - Baupreisbildung - Kalkulation*. 2021. URL: <https://www.eccgmbh.at/%C3%B6n-b-2061-baupreisbildung-kalkulation/> (Zugriff am 01.01.2021).
- [47] H. Wolkerstorfer und C. Lang. *Praktische Baukalkulation, Erstellung der Kalkulationsformblätter gemäß ÖNORM B 2061*. 4.Auflage. Wien: Linde, 2014. ISBN: 978-3-7073-1971-2.
- [48] K. Zahiragic. *ÖNORM B 2061 – Neuerungen für Bau-Kalkulationen*. 2020. URL: <https://www.weka.at/news/Bau-Immobilien/OeNORM-B-2061-Neuerungen-fuer-Bau-Kalkulationen> (Zugriff am 12.10.2020).



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

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1:	Darstellung eines Kalottenvortriebs (Quelle: Girmscheid [13, S. 59])	20
Abb. 2.2:	Darstellung Sprengvortrieb (Quelle: Girmscheid [13, S. 71])	21
Abb. 2.3:	Bohrwagen – Sandvik DT923i (Quelle: Bauforum 24 [5])	22
Abb. 2.4:	Sprengung (Quelle: ÖBB [30])	23
Abb. 2.5:	Schematische Darstellung des Paralleleinbruchs: Großbohrlocheinbruch (Quelle: Girmscheid [13, S. 105])	26
Abb. 2.6:	Kombinierte Belüftung: Hauptbelüftung (schwarz) und Sekundärbelüftung (gelb) (Quelle: Korfmann [18])	27
Abb. 2.7:	Gerätedisposition für einen Schutternvorgang (Quelle: ÖBB [29])	28
Abb. 2.8:	Nassspritzverfahren mittels Spritzroboter an der Ortsbrust (Quelle: Tunnel-Online [45])	30
Abb. 2.9:	Einbringen von Mehrfachanker im Bereich der Tunnellaibung (Quelle: GKI [15])	32
Abb. 2.10:	Tunnelbogen (Quelle: Tappauf.consultants [43])	33
Abb. 2.11:	Injektionsschirm Quer- und Längsschnitt (Quelle: Girmscheid [13, S. 276]) .	34
Abb. 2.12:	Bohrkopf des Bohrgestänges einer HDI-Säule (Quelle: Girmscheid [13, S. 260])	34
Abb. 2.13:	Ein-, Zwei- und Dreiphasen Verfahren (Quelle: Girmscheid [13, S. 261]) . . .	35
Abb. 3.1:	Darstellung der Kalkulationsphasen (Quelle: modifiziert nach Dress und Paul [7, S. 20])	39
Abb. 3.2:	Ablaufschema der Kostenrechnung (Quelle: Kropik [22, S. 66])	45
Abb. 3.3:	Gegenüberstellung von fixen und variablen Kosten zu nicht ausgabenwirksamen und ausgabenwirksamen Kosten (Quelle: Kropik [22, S. 42])	46
Abb. 3.4:	Proportionaler Kostenverlauf (Quelle: modifiziert nach Kropik [22, S. 20]) . .	48
Abb. 3.5:	Degressiver Kostenverlauf (Quelle: modifiziert nach Kropik [22, S. 21]) . . .	48
Abb. 3.6:	Progressiver Kostenverlauf (Quelle: modifiziert nach Kropik [22, S. 21]) . . .	49
Abb. 3.7:	Absolutfixer Kostenverlauf (Quelle: modifiziert nach Kropik [22, S. 22]) . . .	50
Abb. 3.8:	Sprunghafter Kostenverlauf (Quelle: modifiziert nach Kropik [22, S. 22]) . .	50
Abb. 3.9:	Gesamtkostenverlauf (Quelle: Kropik [22, S. 28])	52
Abb. 3.10:	Stückkostenverlauf (Quelle: Kropik [22, S. 29])	52
Abb. 3.11:	Kostenremanenz (Quelle: modifiziert nach Kropik [22, S. 29])	53
Abb. 3.12:	Schematische Darstellung der Kostenkalkulation (Quelle: Wolkerstorfer und Lang [47, S. 10])	56
Abb. 3.13:	Darstellung der Kosten- und Preisermittlung nach <i>ÖNORM B 2061</i> (Quelle: modifiziert nach Duschel [8, S. 10])	60
Abb. 3.14:	Darstellung der Umlage von einmaligen Kosten (Quelle: modifiziert nach Oberndorfer und Haring [31, S. 22])	68
Abb. 3.15:	Umlage von zeitgebundenen Kosten (Quelle: Oberndorfer und Haring [31, S. 22])	68
Abb. 4.1:	Streckenführung Tunnelbauprojekt (Quelle: Trafikverket [44, S. 3])	72
Abb. 4.2:	Übersichtsplan des Straßentunnels (Quelle: Trafikverket [44, S. 4])	72
Abb. 4.3:	Bauzeitenplan	74

Abb. 4.4:	Schwedischer Bauvertrag	79
Abb. 4.5:	Schwedischer Bauvertrag – Umlage von zeitabhängigen Kosten	79
Abb. 4.6:	Umgang mit Baustellengemeinkosten in Österreich und in Schweden	82
Abb. 4.7:	Preisstruktur – schwedisches Projekt	83
Abb. 4.8:	Mögliche Umlagemodelle	84
Abb. 4.9:	Umlage der ZGA auf Umlageträger – Ausbruchposition	85
Abb. 4.10:	Umlage der ZGA auf Umlageträger – Spritzbeton	86
Abb. 4.11:	Umlage der ZGA auf Umlageträger – Pumpenstunden	87
Abb. 4.12:	Umlage der ZGA auf Umlageträger – Produktive Stunden	88
Abb. 4.13:	Umlage der ZGA auf Umlageträger – Einzelkosten	89
Abb. 4.14:	Umlage der ZGA auf Umlageträger – Bauzeit	90
Abb. 4.15:	Gegenüberstellung der Modelle im Bau-SOLL	91
Abb. 5.1:	Erlösfunktion aus Bau-SOLL und Bau-SOLLTE für Modell 1 – Ausbruch	97
Abb. 5.2:	Erlösfunktion aus Bau-SOLL und Bau-SOLLTE für Modell 2 – Sicherung	98
Abb. 5.3:	Erlösfunktion aus Bau-SOLL und Bau-SOLLTE für Modell 3 – Injektion	98
Abb. 5.4:	Erlösfunktion aus Bau-SOLL und Bau-SOLLTE für Modell 4 – Mittellohn	99
Abb. 5.5:	Erlösfunktion aus Bau-SOLL und Bau-SOLLTE für Modell 5 – Gesamtzuschlag	99
Abb. 5.6:	Erlösfunktion aus Bau-SOLL und Bau-SOLLTE für Modell 6 – Zeitgebundene Position	100
Abb. 5.7:	Gegenüberstellung der Umlagemodelle 1 bis 6 – Erlösfunktion Bau-SOLL und BAU-SOLLTE	101
Abb. 5.8:	Bau-SOLL und Bau-SOLLTE	102
Abb. 5.9:	Bauzeitmodell – ÖNORM B 2203-1 (Quelle: modifiziert nach Goger und Chylik [17, S. 15])	103
Abb. 5.10:	Bauzeitmodell – Variantenstudien	104
Abb. 5.11:	Beispielhaftes Bauzeitmodell (Quelle: modifiziert nach Bundesanstalt für Straßenwesen [6, S. 9])	104
Abb. 5.12:	Variantenstudie 1 - Modellsimulation	107
Abb. 5.13:	Variantenstudie 2 – 15,00 Monate, festgelegte Bauzeit	111
Abb. 5.14:	Variantenstudie 2 – 16,50 Monate, festgelegte Bauzeit	112
Abb. 5.15:	Variantenstudie 2 – 20,00 Monate, festgelegte Bauzeit	114
Abb. 5.16:	Variantenstudie 2 – 30,00 Monate, festgelegte Bauzeit	116
Abb. 5.17:	Variantenstudie 3 – variable Bauzeitveränderung	119
Abb. 6.1:	Entscheidungsbaum	123
Abb. 6.2:	Gegenüberstellung der Modelle im Bau-SOLL	124
Abb. 6.3:	Variantenstudie 1 - Modellsimulation	125
Abb. 6.4:	Variantenstudie 3 – variable Bauzeitveränderung	128

Tabellenverzeichnis

Tab. 4.1:	Bauphasen	74
Tab. 4.2:	Leistungsgruppen nach <i>AMA 17</i> (Quelle: <i>AMA 17</i> : 2019 [2, 9 ff.])	77
Tab. 4.3:	Materialtypen nach <i>AMA 17</i> (Quelle: <i>AMA 17</i> : 2019 [2, S. 80])	78
Tab. 4.4:	Gegenüberstellung der Vertragsmodelle – Österreich und Schweden	81
Tab. 5.1:	Variantenstudie 1 – Spektrum	106
Tab. 5.2:	Variantenstudie 1 – prozentuale Verteilung pro Leistungsteil und Variante	106
Tab. 5.3:	Variantenstudie 1 – vereinfachtes Bauzeitmodell	106
Tab. 5.4:	Variantenstudie 1 – Erlös pro Umlagemodell und Variante	108
Tab. 5.5:	Variantenstudie 2 – 15,00 Monate, prozentuale Verteilung pro Leistung pro Variante	110
Tab. 5.6:	Variantenstudie 2 – 15,00 Monate, Bauzeitmodell	110
Tab. 5.7:	Variantenstudie 2 – 15,00 Monate, Erlös pro Umlagemodell und Variante	111
Tab. 5.8:	Variantenstudie 2 – 16,50 Monate, prozentuale Verteilung pro Leistung pro Variante	111
Tab. 5.9:	Variantenstudie 2 – 16,50 Monate, Bauzeitmodell	112
Tab. 5.10:	Variantenstudie 2 – 16,50 Monate, Erlös pro Umlagemodell und Variante	113
Tab. 5.11:	Variantenstudie 2 – 20,00 Monate, prozentuale Verteilung pro Leistung pro Variante	113
Tab. 5.12:	Variantenstudie 2 – 20,00 Monate, Bauzeitmodell	113
Tab. 5.13:	Variantenstudie 2 – 20,00 Monate, Erlös pro Umlagemodell und Variante	114
Tab. 5.14:	Variantenstudie 2 – 30,00 Monate, prozentuale Verteilung pro Leistung pro Variante	115
Tab. 5.15:	Variantenstudie 2 – 30,00 Monate, Bauzeitmodell	115
Tab. 5.16:	Variantenstudie 2 – 30,00 Monate, Erlös pro Umlagemodell und Variante	116
Tab. 5.17:	Variantenstudie 3 – prozentuale Verteilung pro Leistung und Variante	118
Tab. 5.18:	Variantenstudie 3 – Bauzeitmodell	118
Tab. 5.19:	Variantenstudie 3 – Erlös pro Umlagemodell und Variante	120
Tab. 6.1:	Gegenüberstellung der Umlagemodelle	126