



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN**

**VIENNA
UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY**

DIPLOMARBEIT

Master´s Thesis

„Einsatzpotentiale zyklischer und kontinuierlicher Vortriebe“

„The utilisability of cycling and continuous driving“

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-Ingenieurs
unter der Leitung von

o. Univ. Prof. DI Dr. techn. Hans Georg JODL

und als verantwortlich mitwirkenden Assistenten

Univ. Ass. DI Daniel Resch

am

Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Sebastian Dietrich

9925879

Grabenweg 2

A – 3250 Wieselburg – Land

Wieselburg, im Oktober 2008

.....
Sebastian Dietrich

Danksagung

Von der Idee bis zum Durchschlag ist ein Buchtitel, der mir im Laufe meiner Arbeit untergekommen ist. Mit diesem Gedanken ist auch die Erstellung einer wissenschaftlichen Arbeit beschreibbar. Es vergehen einige Tage, Wochen, mitunter auch Monate bis aus der Zielsetzung ein Werk entsteht.

Man gewinnt während der Erstellung viele Informationen und es eröffnen sich zahlreiche Einblicke in das Thema. Gerade bei dem gewählten Thema dieser Arbeit war die Unterstützung durch Fachleute enorm wichtig. Deshalb ist es an der Zeit, Dank zu sagen für die Unterstützung, die ich während der Entwicklung und Ausarbeitung dieser Diplomarbeit erhalten habe.

Mein Dank gilt Herrn o. Univ. Prof. DI Dr. techn. Hans Georg Jodl für die Möglichkeit das Thema dieser Diplomarbeit bearbeiten zu können. Bei Herrn Univ. Ass. DI Daniel Resch möchte ich mich für die Zeit, das Engagement und die zahlreichen Diskussionen, die wesentlich zum Gelingen dieser Diplomarbeit beigetragen haben, recht herzlich bedanken. Des Weiteren möchte ich Herrn DI Martin Diewald für die Anregungen und die Hilfestellungen, die mich schon während meiner Studienzeit auf dieses Thema hingeführt haben, danken. Herrn DI Gerhard Kopecky gilt meine besondere Dankbarkeit für die zahlreichen Informationen und lehrreichen Gespräche, ohne die meine Diplomarbeit in dieser Form nicht möglich gewesen wäre.

Die Fertigstellung dieser Arbeit wäre aber in dieser Form ohne die große Unterstützung und den Rückhalt durch meine Familie weitaus schwieriger gewesen. Deshalb möchte ich mich ganz herzlich bei meiner ganzen Familie für den Beistand und die Hilfe, die vor allem in der finalen Phase meiner Arbeit von großer Bedeutung für mich war, bedanken. Für das Korrekturlesen gilt meinem Vater, meiner Schwester Katharina und besonders meiner Schwester Barbara großer Dank.

Neben der Unterstützung durch meine Familie gilt mein besonderer Dank meiner Julie für den Rückhalt, den sie mir im Speziellen in der letzten Phase gegeben hat. Ich möchte ihr für die aufmunternden Worte, die Geduld und die Liebe danken, die sie mir zuteil werden ließ. Ich danke dir, liebste Julie, für deinen Beistand und bin glücklich mit dir den Weg des Lebens gemeinsam gehen zu dürfen.

Kurzfassung

Titel: Einsatzpotentiale zyklischer und kontinuierlicher Vortriebe

Autor: Sebastian Dietrich

Kapitel 1: Zielsetzung und Einleitung

In diesem Kapitel wird zu Beginn das Ziel dieser Arbeit definiert. Anschließend werden die ausgewählten Projekte, deren Daten die Grundlage für die Auswertung bilden, und deren Randbedingungen aufgelistet. Die historische Entwicklung des zyklischen und des kontinuierlichen Vortriebes werden als Abschluss dieses Kapitels beschrieben.

Kapitel 2: Grundlagen

In diesem Kapitel erfolgt zunächst eine kurze Einführung in den zyklischen und den kontinuierlichen Vortrieb. Danach wird eine Übersicht über die verschiedenen Arten der Schutterung gegeben. Im Weiteren werden Randbedingungen (Geologie; Verwendung, Tunnelsystem und Querschnittausbildung; Tunnelauskleidung) und deren Aspekte erläutert. Daran anschließend erfolgt die Betrachtung der Thematik der Einarbeitung bei Tunnelbauprojekten sowohl für den zyklischen als auch für den kontinuierlichen Vortrieb. Die verwendeten Formeln und Definitionen werden zum Abschluss dieses Kapitels erklärt.

Kapitel 3: Fragebogen

Die Daten der ausgewählten Projekte werden mittels Fragebogen erfasst. In diesem Kapitel wird der Aufbau der Fragebögen (für den zyklischen und den kontinuierlichen Vortrieb) beschrieben.

Kapitel 4: Projektbeschreibungen

Um einen Überblick über die ausgewählten Projekte zu erlangen, werden diese näher dargestellt. Die geographische Situation, Gründe für den Bau wie auch Eckdaten der Projekte sind für jedes ausgewählte Projekt angeführt.

Kapitel 5: Auswertung

Aus den Daten der Fragebögen werden zunächst für die vorhandenen (d.h. ursprünglichen) Projekte Kostenschätzungen erstellt. Im Anschluss erfolgen auf den Grundlagen der ursprünglichen Daten Untersuchungen für fiktiv gewählte Tunnellängen (Untersuchung der Tunnellängen mit Kilometer „Null“, „Drei“, „Sechs“ und „Elf“).

Kapitel 6: Kostenanalyse

Für jedes Projekt erfolgt getrennt nach den Vortriebsarten (zyklisch und kontinuierlich) eine Auswertung der einzelnen Kostengruppen. Anschließend werden die Kostengruppen der zyklischen und der kontinuierlichen Vortriebe miteinander verglichen.

Kapitel 7: Gegenüberstellung

In diesem Kapitel werden der zyklische und der kontinuierliche Vortrieb einander gegenübergestellt. Dazu werden für jede Vortriebsart zunächst eine Kostenuntergrenze und eine Kostenobergrenze über die Tunnellänge mittels Trendlinien berechnet. Aus der Überlagerung dieser Trendlinien beider Vortriebsarten ergibt sich ein Schnittbereich der wirtschaftlichen Einsatzgrenzen der Vortriebsarten.

Kapitel 8: Schlussfolgerungen

Die Zusammenfassung und daraus resultierende Schlussfolgerungen bilden den Abschluss dieser Arbeit.

Abstract

Title: The utilisability of cycling and continuous driving

Author: Sebastian Dietrich

1st chapter: aim and introduction

In the first chapter the aims of the thesis are defined. Afterwards the selected projects which build the basis of the interpretation and their circumstances are outlined. Finally a historical description of cycling and continuous driving is given at the end of this chapter.

2nd chapter: basis

The background of cycling and continuous driving is given at the beginning of this chapter. Then the circumstances of tunnelling (such as geology, application, systems of tunnels and cross section, linings of tunnels) and their aspects are explained. The topic of a learning process is discussed in theory for cycling and continuous driving. Finally the formulas and definitions of statistics which are required for the analysis are carried out.

3rd chapter: project questionnaire

The used data of the selected projects are captured by questionnaires. In this chapter the design of the questionnaires of cycling and continuous driving is explicated.

4th chapter: project description

An overview of the selected projects is given. Furthermore the geographic situation, motives for construction as well as design parameters of the single projects are presented.

5th chapter: analysis

At first cost estimates are developed with the help of the data of the questionnaires from the original projects. Hence studies which are based on the original data of the projects are made for virtual selected length of tunnels (the length of tunnels is analysed for „zero“, „three“, „six“ and „eleven“ kilometres).

6th chapter: cost analysis

For every single project an interpretation is done for every cost type broken down into cycling and continuous driving for each analysed length. Then these cost types of both kinds of driving are compared with each other.

7th chapter: comparison

In this chapter results of the cycling driving are compared with the outcome of the continuous driving. Therefore a calculation of a lower and an upper limit of the cost types is done by using trend lines. The boundaries, which were searched for, are given by the covering of these trend lines and lead to two points of intersections. Thus these points represent the economic limitations of use for the kind of driving. Hence these boundaries answer the asked question and achieve the aim, which is searched for.

8th chapter: conclusion

The results and the resultant conclusions form the completion of this thesis.

Inhaltsverzeichnis

<u>DANKSAGUNG.....</u>	<u>I</u>
<u>KURZFASSUNG</u>	<u>II</u>
<u>ABSTRACT</u>	<u>IV</u>
<u>INHALTSVERZEICHNIS</u>	<u>VI</u>
<u>1 ZIELSETZUNG UND EINLEITUNG</u>	<u>1</u>
1.1 ZIELSETZUNG	1
1.2 ÜBERSICHT ÜBER TUNNELBAUWERKE	2
1.3 EINLEITUNG – HISTORISCHE ENTWICKLUNG	3
<u>2 GRUNDLAGEN</u>	<u>6</u>
2.1 DEFINITIONEN	6
2.2 VORTRIEBSART	8
2.2.1 ZYKLISCHER VORTRIEB	8
2.2.1.1 Lösearten	9
2.2.1.2 Sicherungs- und Stützmaßnahmen.....	10
2.2.2 KONTINUIERLICHER VORTRIEB	11
2.2.2.1 Tunnelbohrmaschinen im Festgestein	11
2.3 SCHUTTERUNG	15
2.3.1 LADEGERÄTE	15
2.3.2 TRANSPORTGERÄTE	17
2.4 GEOLOGIE.....	18
2.4.1 ALLGEMEINES	18
2.4.2 GEOMECHANISCHE PLANUNG UND VORTRIEBSKLASSIFIZIERUNG	18
2.4.2.1 Zyklischer Vortrieb	18
2.4.2.2 Kontinuierlicher Vortrieb.....	23
2.5 VERWENDUNG, TUNNELSYSTEM UND QUERSCHNITTAUSBILDUNG	25
2.5.1 VERWENDUNG	25
2.5.2 TUNNELSYSTEM.....	25
2.5.2.1 Tunnelsystem für den Eisenbahnverkehr.....	25

2.5.2.2	Tunnelsystem für den Straßenverkehr	29
2.5.3	QUERSCHNITTAUSBILDUNG	30
2.5.3.1	Querschnittausbildung für den Eisenbahnverkehr	30
2.5.3.2	Querschnittausbildung für den Straßenverkehr	34
2.6	TUNNELAUSKLEIDUNG	37
2.6.1	ZWEISCHALIGE SYSTEME	40
2.6.1.1	Spritzbetonauskleidung.....	40
2.6.1.2	Tübbingauskleidung	41
2.6.2	EINSCHALIGE SYSTEME.....	42
2.6.2.1	Spritzbetonauskleidung.....	42
2.6.2.2	Tübbingauskleidung	42
2.7	ANLAUFZEIT UND EINARBEITUNG	43
2.7.1.1	Allgemeines.....	43
2.7.1.2	Zyklischer Vortrieb	43
2.7.1.3	Kontinuierlicher Vortrieb.....	45
2.8	STATISTISCHE GRUNDLAGEN	48
2.8.1	MITTELWERTE	48
2.8.1.1	Arithmetisches Mittel	48
2.8.1.2	Geometrisches Mittel	49
2.8.1.3	Modalwert.....	49
2.8.1.4	Zentralwert	49
2.8.2	STREUUNGSMAßE	50
2.8.2.1	Spannweite (Range)	50
2.8.2.2	Mittlere lineare Abweichung	50
2.8.2.3	Standardabweichung	50
2.8.3	REGRESSIONSRECHNUNG	51
2.8.3.1	Lineare Regression	51
2.8.3.2	Nichtlineare Regression.....	51
2.8.3.3	Korrelationskoeffizient.....	52
3	<u>FRAGEBOGEN</u>	<u>53</u>
3.1	ALLGEMEINE PROJEKTDATEN	53
3.2	GEOLOGIE	53
3.3	VORTRIEB	53
3.4	PERSONAL	55
3.5	LEISTUNGSANALYSE.....	55
3.6	KOSTEN	55

3.6.1	ALLGEMEINES	55
3.6.2	PERSONAL	55
3.6.3	GERÄTE	55
3.6.4	STÜTZMITTEL	55
3.6.5	STOFFKOSTEN AUSBRUCH	56
3.6.6	ZUSATZANGRIFF	56
3.6.7	VOR- UND NACHARBEITEN	56
3.6.8	VORARBEITEN INNENSCHALENHERSTELLUNG	56
4	<u>PROJEKTBE SCHREIBUNGEN</u>	57
4.1	PFÄNDERTUNNEL (WESTRÖHRE)	57
4.2	TUNNELKETTE PERSCHLING	60
4.3	WIENERWALDTUNNEL	62
5	<u>AUSWERTUNG</u>	65
5.1	DATENANALYSE DER FRAGEBÖGEN	65
5.1.1	PFÄNDERTUNNEL	67
5.1.1.1	Zyklischer Vortrieb – Pfänder	68
5.1.1.2	Kontinuierlicher Vortrieb – Pfänder	69
5.1.1.3	Gegenüberstellung zyklischer und kontinuierlicher Vortrieb – Pfänder	70
5.1.2	TUNNELKETTE PERSCHLING	71
5.1.2.1	Zyklischer Vortrieb – Perschling	71
5.1.2.2	Kontinuierlicher Vortrieb – Perschling	72
5.1.2.3	Gegenüberstellung zyklischer und kontinuierlicher Vortrieb – Perschling	74
5.1.3	WIENERWALDTUNNEL	75
5.1.3.1	Zyklischer Vortrieb – Wienerwald	76
5.1.3.2	Kontinuierlicher Vortrieb – Wienerwald	77
5.1.3.3	Gegenüberstellung zyklischer und kontinuierlicher Vortrieb – Wienerwald	81
5.1.4	ZUSAMMENFASSUNG	82
5.1.4.1	Unterschiede bei den ursprünglichen Projekten	82
5.1.4.2	Übersicht über die betrachteten Kosten der ursprünglichen Projekte	84
5.1.4.3	Übersicht über die betrachteten Kosten bezogen auf die Querschnittfläche	85
5.2	FIKTIVE TUNNELLÄNGEN	87
5.2.1	TUNNELLÄNGE „NULL“	88
5.2.1.1	Pfändertunnel – Kilometer „Null“	88
5.2.1.2	Tunnelkette Perschling – Kilometer „Null“	89

5.2.1.3	Wienerwaldtunnel – Kilometer „Null”	90
5.2.1.4	Zusammenfassung Kilometer „Null” – Herstellung der Vortriebsbereitschaft	92
5.2.2	TUNNELLÄNGE „DREI”	92
5.2.2.1	Pfändertunnel – Kilometer „Drei”	92
5.2.2.2	Tunnelkette Perschling – Kilometer „Drei”	96
5.2.2.3	Wienerwaldtunnel – Kilometer „Drei”	100
5.2.3	KILOMETER „SECHS”	104
5.2.3.1	Wienerwald - Kilometer „Sechs”	104
5.2.4	KILOMETER „ELF”	108
5.2.4.1	Pfänder - Kilometer „Elf”	108
5.2.4.2	Perschling - Kilometer „Elf”	111
6	<u>KOSTENANALYSE.....</u>	115
6.1	TUNNEL PFÄNDER	115
6.1.1	ZYKLISCHER VORTRIEB – PFÄNDER	115
6.1.1.1	Lohnkosten.....	116
6.1.1.2	Gerätekosten.....	116
6.1.1.3	Stützmittel	117
6.1.1.4	Ausbruch	117
6.1.1.5	Zusatzangriff	118
6.1.1.6	Betrachtete Kosten.....	118
6.1.2	KONTINUIERLICHER VORTRIEB – PFÄNDER	118
6.1.2.1	Lohnkosten.....	119
6.1.2.2	Gerätekosten.....	120
6.1.2.3	Stützmittel	120
6.1.2.4	Ausbruch	121
6.1.2.5	Vor- und Nacharbeiten	121
6.1.2.6	Betrachtete Kosten.....	121
6.1.3	GEGENÜBERSTELLUNG ZYKLISCHER UND KONTINUIERLICHER VORTRIEB – PFÄNDER....	122
6.2	TUNNELKETTE PERSCHLING.....	123
6.2.1	ZYKLISCHER VORTRIEB – PERSCHLING.....	123
6.2.1.1	Lohnkosten.....	125
6.2.1.2	Gerätekosten.....	125
6.2.1.3	Stützmittel	126
6.2.1.4	Ausbruch	126
6.2.1.5	Zusatzangriff	126
6.2.1.6	Betrachtete Kosten.....	126

6.2.2	KONTINUIERLICHER VORTRIEB – PERSCHLING	127
6.2.2.1	Lohnkosten.....	128
6.2.2.2	Gerätekosten.....	128
6.2.2.3	Stützmittel	129
6.2.2.4	Ausbruch	130
6.2.2.5	Vor- und Nacharbeiten	130
6.2.2.6	Betrachtete Kosten.....	130
6.2.3	GEGENÜBERSTELLUNG ZYKLISCHER UND KONTINUIERLICHER VORTRIEB – PERSCHLING	131
6.3	WIENERWALD	132
6.3.1	ZYKLISCHER VORTRIEB - WIENERWALD	132
6.3.1.1	Lohnkosten.....	134
6.3.1.2	Gerätekosten.....	134
6.3.1.3	Stützmittel	135
6.3.1.4	Ausbruch	135
6.3.1.5	Zusatzangriff	136
6.3.1.6	Betrachtete Kosten.....	136
6.3.2	KONTINUIERLICHER VORTRIEB – WIENERWALD	136
6.3.2.1	Lohnkosten.....	138
6.3.2.2	Gerätekosten.....	138
6.3.2.3	Stützmittel	139
6.3.2.4	Ausbruch	139
6.3.2.5	Vor- und Nacharbeiten	140
6.3.2.6	Betrachtete Kosten.....	140
6.3.3	GEGENÜBERSTELLUNG ZYKLISCHER UND KONTINUIERLICHER VORTRIEB – WIENERWALD	141
7	<u>GEGENÜBERSTELLUNG</u>	143
7.1	VERGLEICH DER KOSTENGRUPPEN DER PROJEKTE	143
7.1.1	ZYKLISCHER VORTRIEB	143
7.1.2	KONTINUIERLICHER VORTRIEB	146
7.2	VERGLEICH DER KOSTENGRUPPEN DER BEIDEN VORTRIEBSARTEN	149
7.3	ERMITTLUNG DER WIRTSCHAFTLICHEN EINSATZGRENZEN	151
8	<u>ZUSAMMENFASSUNG.....</u>	153
8.1	ALLGEMEINES	153
8.2	SCHLUSSFOLGERUNG.....	153

<u>QUELLENVERZEICHNIS</u>	<u>154</u>
<u>ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....</u>	<u>158</u>
<u>TABELLENVERZEICHNIS</u>	<u>162</u>
<u>ANHANG.....</u>	<u>166</u>

1 Zielsetzung und Einleitung

1.1 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist der Vergleich von zyklischem mit kontinuierlichem Vortrieb im Festgestein hinsichtlich einer wirtschaftlichen Einsatzgrenze bezüglich der Tunnellänge. Die Betrachtung erfolgt unter dem Gesichtspunkt des Wettbewerbes zwischen zyklischem und kontinuierlichem Vortrieb.

Die vermehrte Anwendung des kontinuierlichen Vortriebes in den letzten Jahren stellt die Frage nach den Faktoren dieser Entwicklung. Deshalb werden in dieser Arbeit die maßgebenden Kostenanteile eines Tunnelbauwerkes anhand von Fragebögen je nach Art des Vortriebes untersucht.

Tunnelbauprojekte unterliegen Randbedingungen der Geologie, des Querschnittes und der Tunnellänge. Um eine Vergleichbarkeit der Projekte zu gewährleisten, werden diese Randbedingungen folgendermaßen eingeschränkt:

- Geologie: Festgestein, in dem die Machbarkeit sowohl für den zyklischen als auch für den kontinuierlichen Vortrieb gegeben ist.
- Querschnitt: Verkehrstunnelbauwerke des Straßen- und Eisenbahnwesens.
- Tunnellänge: Variation für die Untersuchung wirtschaftlicher Einsatzgrenzen des zyklischen und des kontinuierlichen Vortriebes.

Folgende Tunnelbauprojekte werden für den Vergleich gewählt (siehe Tabelle 1):

- Wienerwaldtunnel
- Tunnelkette Perschling (Reiserbergtunnel, Stierschweiffeldtunnel, Raingrubentunnel)
- Pfändertunnel

Die drei ausgewählten Projekte wurden jeweils für den zyklischen und den kontinuierlichen Vortrieb ausgeschrieben und befinden sich aktuell noch in Bau. Die Daten der Fragebögen stammen aus den Kalkulationen eines österreichischen Baukonzernes.

1.2 Übersicht über Tunnelbauwerke

Pfändertunnel	Tunnelkette Perschling			Wienerwaldtunnel		Name des Projektes
	Raingrubentunnel	Stierschweiffeldtunnel	Reiserbergtunnel	Westvortrieb	Bundesland	
2. Röhre (Weströhre)						
Vorarlberg	Niederösterreich	Niederösterreich	Niederösterreich	Wien / Niederösterreich		
geplant: 10 / 2008 08 / 2009	geplant: 10 / 2008 Sommer 2009	12 / 2005 04 / 2007	08 / 2007 02 / 2008	09 / 2005 08 / 2007		Vortriebszeitraum von - bis
TBM - S	TBM - S	TBM - S	TBM - S	TBM - S		Vortriebsart
Molassezone	Molassezone	Molassezone	Molassezone	Flysch und Molasse		Geologie
Straßentunnel: A14 Rheintalautobahn	Eisenbahntunnel: Westbahn Neubaustrecke	Eisenbahntunnel: Westbahn Neubaustrecke	Eisenbahntunnel: Westbahn Neubaustrecke	Eisenbahntunnel: Westbahn Neubaustrecke Wien - St.Pölten		Verwendung
Zwei zweispurige Röhren	Eine zweigleisige Röhre	Eine zweigleisige Röhre	Eine zweigleisige Röhre	Zwei eingleisige Röhren		Tunnelsystem (Gesamtbauwerk)
Kreisprofil	Kreisprofil	Kreisprofil	Kreisprofil	Kreisprofil		Querschnittsform
112 m ²	133 m ²	133 m ²	133 m ²	89 m ²		Querschnittsfläche
zweischalig	zweischalig	zweischalig	zweischalig	zweischalig		Tunnelauskleidung
6,6	2,1	2,9	1,3	13,4		Tunnellänge [km]
ASFINAG Baumanagement GmbH	ÖBB Infrastruktur Bau AG (ehem.HL-AG)	ÖBB Infrastruktur Bau AG (ehem.HL-AG)	ÖBB Infrastruktur Bau AG (ehem.HL-AG)	ÖBB Infrastruktur Bau AG (ehem.HL-AG)		Auftraggeber
ARGE Tunnel Pfänder: Beton- und Monierbau Alpine Bau GmbH	STRABAG AG	STRABAG AG	STRABAG AG	ARGE Wienerwaldtunnel: Biffinger Berger Bauges.m.b.H Biffinger Berger AG NL Tunnelbau Ed. Züblin AG Tunnelbau Hochtief Construction AG Jäger Bau GmbH Porr Technobau und Umwelt AG Porr Tunnelbau GmbH Swietelsky Tunnelbau GmbH und Co KG		Auftragnehmer
www.asfinag.at	www.tk-perschling.at	www.tk-perschling.at	www.tk-perschling.at	www.oebb.at		Quellen

Tabelle 1: Übersicht über die ausgewählten Tunnelbauwerke

1.3 Einleitung – Historische Entwicklung

Die historischen Wurzeln des Tunnel- und Stollenbaus liegen in der Antike¹. Schon um 2800 v. Chr. wurden Stollen, so genannte „Quanate“, hergestellt. Diese Bauwerke mit einer Querschnittfläche von rund 0,5 m², die händisch gegraben wurden und keinerlei Sicherung hatten, dienten der Wasserversorgung. Die Herstellung von Tunneln erfolgte bis zur Erfindung des Schwarzpulvers (13. Jh.) ausschließlich von Hand mit Brecheisen und Spitzhacke.

Die industrielle Revolution im 19. Jahrhundert mit steigenden Produktionszahlen und dem damit zunehmenden Handel verlangte einen Ausbau des Transport- und Verkehrswesens. Mit der Erfindung der Dampfmaschine und mit dem Bau der ersten Eisenbahnstrecken stieg auch der Bedarf an Tunnelbauwerken.

Aus den grundlegenden Techniken des Bergbaues entwickelten sich verschiedene zyklische Tunnelbauweisen, welche sich im Wesentlichen durch die unterschiedliche Abfolge der Teilausbrüche unterscheiden:

– Belgische Bauweise – Unterfangungsbauweise

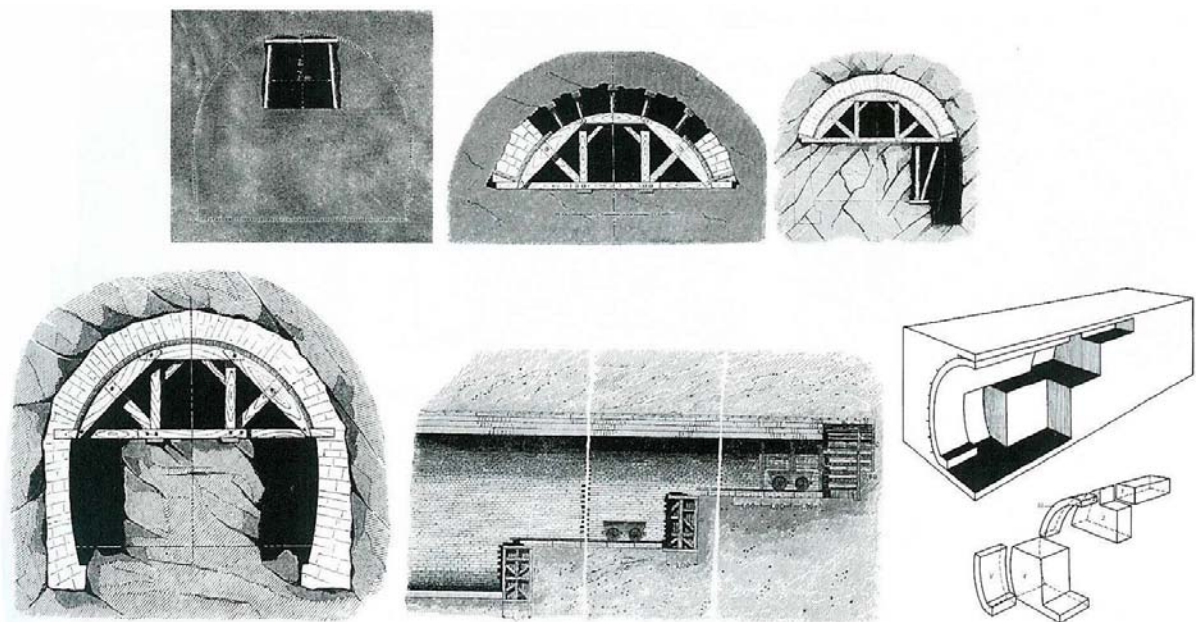


Abbildung 1: Belgische Bauweise²

¹ Vgl. Jodl 2005, S. 21.

² Vgl. ebenda, S. 23.

– Deutsche Bauweise – Kernbauweise

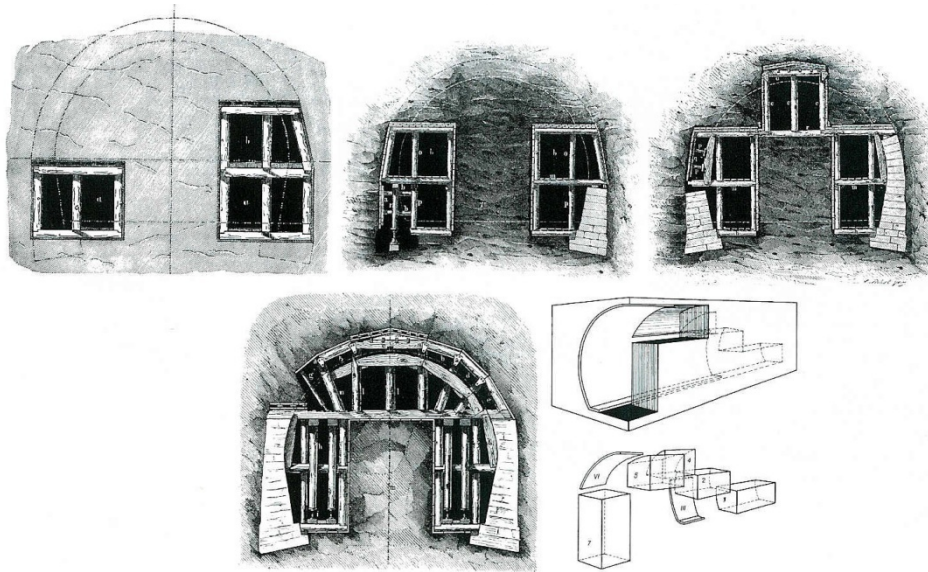


Abbildung 2: Deutsche Bauweise³

– (Alte) Österreichische Bauweise – Aufbruchbauweise

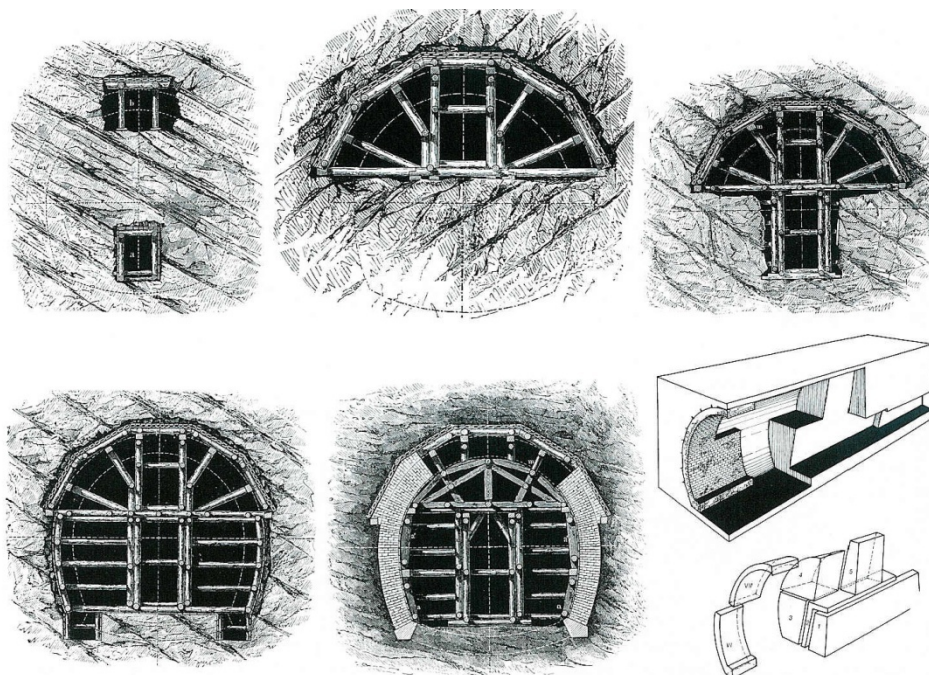


Abbildung 3: (Alte) Österreichische Bauweise⁴

³ Vgl. Jodl 2005, S. 24.

⁴ Vgl. ebenda.

– Englische Bauweise – Längsträgerbauweise

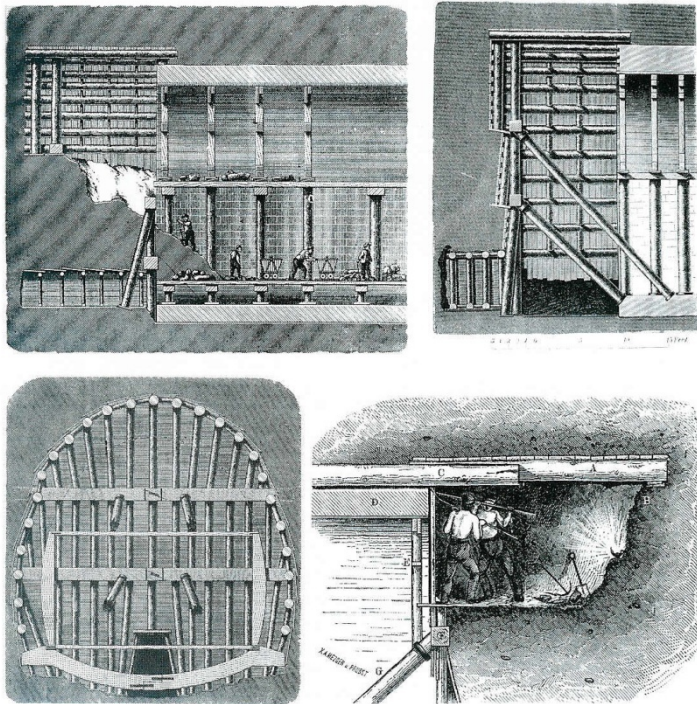


Abbildung 4: Englische Bauweise⁵

Die Entwicklung des kontinuierlichen Vortriebes begann mit der Konstruktion einer mechanischen Vortriebsmaschine im Jahre 1846 von Henri-Joseph Maus für den Mont – Cenis – Tunnel⁶. Diese Bohrmaschine bestand aus Schlagbohrmaschinen, die auf einem Stahlrahmen montiert waren. Es erfolgte mit dieser Bohrmaschine kein vollflächiger Abbau. Die Ortsbrust wurde in Gesteinsblöcke mit einer Größe von ca. 2,0 m x 0,5 m unterteilt, welche anschließend mit Sprengmitteln oder mit Keilen gelöst wurden.

Die erste Vortriebsmaschine, die alle Merkmale einer modernen Tunnelbohrmaschine besaß, wurde von Charles Wilson im Jahre 1851 entwickelt und 1856 patentiert.

Zum Abbau der gesamten Ortsbrust wurden Diskenrollenmeißel genutzt, die auf einem rotierenden Bohrkopf eingesetzt wurden. Die Anpresskraft wurde über eine Verspannung mit dem Gebirge erreicht. Obwohl für den Hoosac – Tunnel in Boston mehrere Tests durchgeführt wurden, wurde der Vortrieb nach 3 m aufgrund von Problemen mit den Diskenrollen eingestellt.

⁵ Vgl. Jodl 2005, S. 25.

⁶ Vgl. ebenda, S. 27.

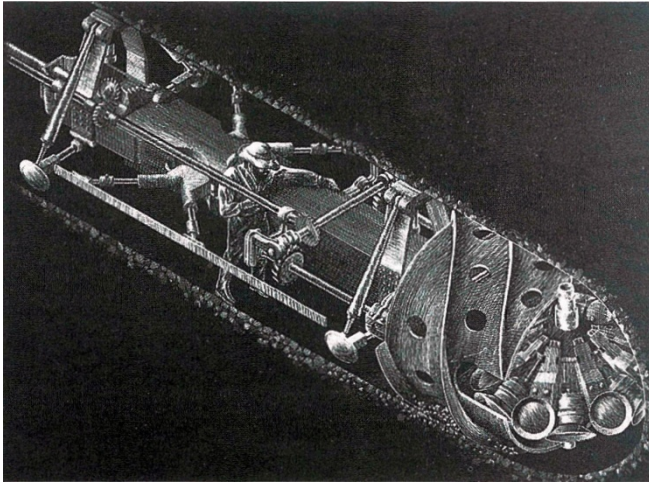


Abbildung 5: Tunnelbohrmaschine von Charles Wilson⁷

2 Grundlagen

2.1 Definitionen

Definitionen verwendeter Begriffe:

- Stollen: „Lang gestreckter, flach geneigter unterirdischer Hohlraum mit Ausbruchsquerschnitt bis 20 m².“⁸
- Tunnel: „Lang gestreckter, unterirdischer Hohlraum mit Ausbruchsquerschnitt über 20 m², vornehmlich für den Straßen und Eisenbahnverkehr.“⁹
- Festgestein; Fels: „Mineralgemenge, dessen Eigenschaften hauptsächlich durch seine physikalisch-chemische Bindung bestimmt sind.“¹⁰
- Zyklischer Vortrieb: „Vortriebsart, bei der die einzelnen Arbeitsvorgänge des Lösens, Ladens und des Stützmitteleinbaues im Wesentlichen zeitlich nacheinander und mit Hilfe von Einzelgeräten ausgeführt werden.“¹¹
- Kontinuierlicher Vortrieb: „Vortrieb mit Hilfe einer Tunnelvortriebsmaschine (Tunnelbohrmaschine, Schild usw.), bei der die einzelnen Arbeitsvorgänge des Lösens, Ladens und des Stützmitteleinbaues im Wesentlichen gleichzeitig ausgeführt werden.“¹²
- Tunnelvortriebsmaschine: „Maschine, mit der ein semi-kontinuierlicher Vortrieb im Allgemeinen durch hubweises Vorschieben erfolgt und bei der das anstehende Material mit ei-

⁷ Vgl. Maidl 2001, S. 2.

⁸ ÖNORM B 2203-1 2001, S. 7.

⁹ Ebenda.

¹⁰ Ebenda, S. 6.

¹¹ Ebenda, S. 8.

¹² Ebenda.

- nem Bohrkopf oder Schneidrad im Vollschnitt gelöst bzw. teilflächig durch geeignete Lösevorrichtungen abgebaut und zur Schutterung übergeben wird.“¹³
- Tunnelbohrmaschine: „TVM zum mechanischen Abbau von vorwiegend Festgestein im Vollquerschnitt mit oder ohne Schutz eines Schildes.“¹⁴
 - Kalkulation: „Teilgebiet der Kostenrechnung zur Ermittlung der Selbstkosten einer Leistungs- oder Produkteinheit oder eines Gesamtauftrages.“¹⁵
 - Vortriebsklassen: „Einteilung der Vortriebsarbeiten nach den bautechnischen Maßnahmen, welche der Verrechnung des Ausbruches und der Ermittlung der Vortriebsdauer dienen.“¹⁶
 - Öffnungslänge: „Maximale Länge des Ausbruches der Sohle vor Einbringen des Ausbaues.“¹⁷
 - Eingleisiger Tunnel: „Im Querschnitt des Fahrtunnels ist ein Gleis vorhanden.“¹⁸
 - Zweigleisiger Tunnel: „Im Querschnitt des Fahrtunnels sind zwei Gleise vorhanden.“¹⁹
 - Mehrgleisiger Tunnel: „Im Querschnitt des Fahrtunnels sind mehr als zwei Gleise vorhanden.“²⁰
 - Fahrtunnel: „Ist das Bauwerk, in dem der Eisenbahnbetrieb abgewickelt wird.“²¹
 - Dienststollen: „Paralleler Wartungsstollen neben dem Fahrtunnel, der auch als Rettungsstollen verwendet werden kann.“²²
 - Rettungsnischen: „Gewährleisten den Sicherheitsraum für Arbeitnehmer, die im Tunnel tätig sind, während der Vorbeifahrt von Schienenfahrzeugen.“²³ Rettungsnischen sind ab einer Tunnellänge von 100 m im Abstand von höchstens 50 m anzuordnen. Bei zweigleisigen Tunneln sind Rettungsnischen gegenüberliegend anzuordnen.²⁴
 - Rettungsstollen: „Sind horizontale oder leicht geneigte Bauwerke, die je nach Länge begehbar oder mit Straßen- oder Schienenfahrzeugen befahrbar sind. Rettungsstollen für Fußgänger können im Sinne einer Verkürzung ihrer Länge auch so stark geneigt sein, dass Treppen eingebaut werden. Rettungsstollen können auch parallel zum Fahrtunnel

¹³ ÖNORM B 2203-2 2005, S. 8.

¹⁴ Ebenda.

¹⁵ F.A. Brockhaus 2005, Band 2 S. 307.

¹⁶ ÖNORM B 2203-1 2001, S. 8.

¹⁷ Ebenda, S. 6.

¹⁸ HL-AG 2002, S. 6.

¹⁹ Ebenda.

²⁰ Ebenda.

²¹ Ebenda.

²² Ebenda.

²³ Ebenda, S. 7.

²⁴ Vgl. Daller 2004, S. D.4

verlaufen und verschiedene Notausgänge aus dem Fahrtunnel an einen gemeinsamen Ausgang ins Freie anbinden.“²⁵

- Kastennischen: „Kastennischen bestehen aus Betonrahmen, die am Randweg innerhalb des Tunnelquerschnittes aufgestellt sind und an der Tunnellaibung befestigt werden. (...) Unter Berücksichtigung der Standfläche betragen die lichten Abmessungen der Kastennischen 2 m x 0,80 m / 0,80 m / 2,10 m bis 2,20 m.“²⁶
- Abschlag: „In einem Zyklus geschaffener Teil des Hohlraumes.“²⁷
- Abdichtung (Folienabdichtung): „Flächenabdeckende Maßnahme, in der Regel mit wasserdichten Kunststofffolien.“²⁸
- MAK-Werte (Maximale Arbeitsplatz Konzentration): „MAK-Werte werden für gesunde Personen im erwerbsfähigen Alter festgelegt. Bei Einhaltung der MAK-Werte wird im Allgemeinen die Gesundheit von ArbeitnehmerInnen nicht beeinträchtigt und werden diese nicht unangemessen belästigt.“²⁹

2.2 Vortriebsart

2.2.1 Zyklischer Vortrieb

Beim zyklischen Vortrieb³⁰ wird definitionsgemäß das Lösen durch Sprengen, durch einen Bagger oder durch eine Teilschnittmaschine durchgeführt. Dabei wird im Wesentlichen nach den Gesichtspunkten der neuen österreichischen Tunnelbaumethode (NÖT/NATM) gearbeitet. Die Verbundwirkung von Gebirge und Bauwerk wird durch eine Versiegelung der Laibung des ausgebrochenen Hohlraumes mit Spritzbeton hergestellt. Der Ausbruch kann dabei im Vollausbruch oder in Teilausbrüchen durchgeführt werden. Reicht der Ausbauwiderstand des Spritzbetons alleine nicht aus, so kann dieser nach Erfordernis mit Baustahlgittern, Tunnelbögen und Ankern verstärkt werden.

²⁵ HL-AG 2002, S. 8.

²⁶ HL-AG 2002, S. 25.

²⁷ ÖNORM B 2201-1 2001, S. 5.

²⁸ Richtlinie Innenschalenbeton 2003, S. 2.

²⁹ Grenzwertverordnung 2007, § 2 (2).

³⁰ Jodl 2005, S. 33.

2.2.1.1 Lösearten

2.2.1.1.1 Sprengvortrieb

Die Lösemethode des Sprengens wird vor allem von mittlerer bis hoher Gebirgsfestigkeit angewendet. Der Zyklus des Lösens im Sprengvortrieb besteht im Wesentlichen aus folgenden Arbeitsvorgängen:

- Bohren: Herstellung der Bohrlöcher für den Sprengstoff.
- Laden: Laden der hergestellten Bohrlöcher mit Sprengstoff.
- Sprengen: Zündung des Sprengstoffes zur Herstellung eines Abschlages.

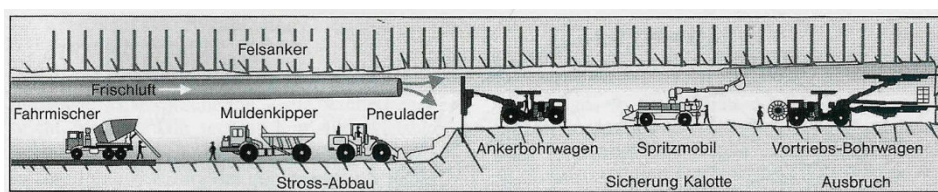


Abbildung 6: Übersichtsbild Sprengvortrieb³¹

2.2.1.1.2 Baggervortrieb

Im Lockergestein oder Gebirge mit geringer Festigkeit erfolgt der Lösevorgang oftmals mit einem Tunnelbagger.

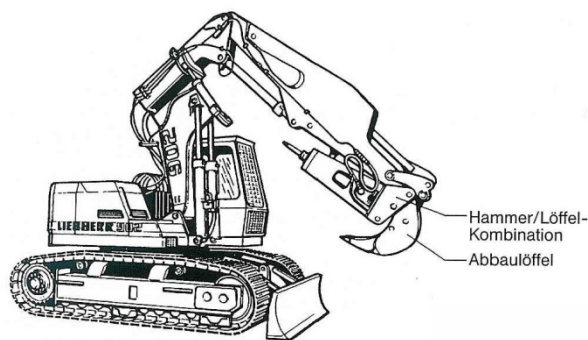


Abbildung 7: Tunnelbagger³²

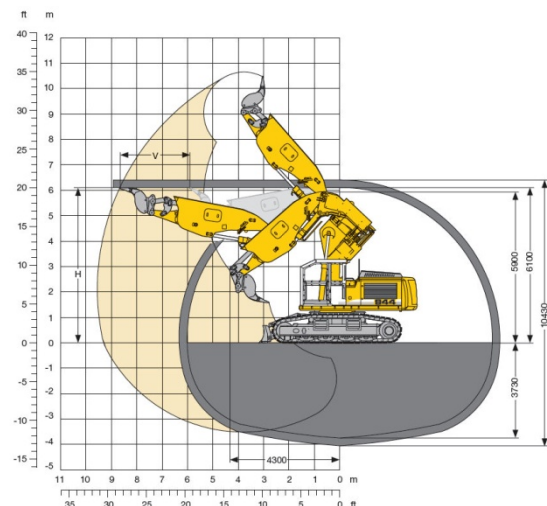


Abbildung 8: Arbeitsbereich Tunnelbagger³³

³¹ Vgl. Jodl 2005, S. 35.

³² Vgl. ebenda, S. 38.

³³ Vgl. Liebherr-International Deutschland GmbH 2008.

An Tunnelbagger werden für einen effizienteren Arbeitseinsatz folgende Anforderungen gestellt³⁴:

- Seitliche Kippmöglichkeit der Arbeitsausrüstung um $2 \times 45^\circ$
- Große Reichweite
- Anordnung der Hydraulikeinrichtung im Löffelstiel, um Beschädigungen zu verhindern
- Volle Schwenkbarkeit des Oberwagens in einem Tunnelprofil von 5,20 m Firsthöhe ab der Fahrsohle und 5,50 m Breite (entspricht etwa einem gesicherten eingleisigen U-Bahn-Querschnitt)
- Verbesserung der Sicht aus der Fahrerkabine bei Rückwärtsfahrt
- Anordnung eines Planierschildes am Unterwagen, um Material zusammenschieben zu können
- Möglichkeit der Ausstattung mit einem Hydraulikhammer

Bei wechselnder Festigkeit des Gebirges kann auch ein Mischvortrieb erfolgen. Hierbei wird eine Kombination aus Spreng- und Baggervortrieb angewendet.

2.2.1.1.3 Teilschnittmaschinenvortrieb

Der Vortrieb mit einer Teilschnittmaschine beginnt mit dem Fräsen eines Einbruches. Danach wird die Ortsbrust lagenweise in Form von Spurstreifen abgebaut. Die Teilschnittmaschine (TSM) wird dabei nicht bewegt. Die Schutterung erfolgt entweder direkt auf das Schuttergerät oder durch ein zusätzliches Ladegerät.

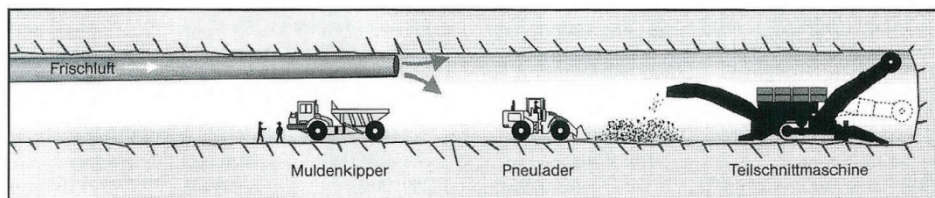


Abbildung 9: Übersichtsbild Teilschnittmaschinenvortrieb³⁵

2.2.1.2 Sicherungs- und Stützmaßnahmen

Die Sicherung des Hohlraumes³⁶ gegen das Versagen der Stabilität und zum Schutz der Vortriebsmannschaft erfolgt mittels Spritzbeton, Baustahlgitter, Ausbaubögen, Anker, Spieße, Dielen und Sondermaßnahmen (Rohrschirm, Düsenstrahlverfahren und Gefrierverfahren).

³⁴ Vgl. Maidl 2004, S. 93.

³⁵ Vgl. Jodl 2005, S. 38.

³⁶ Vgl. ebenda, S. 40.

2.2.2 Kontinuierlicher Vortrieb

Beim kontinuierlichen Vortrieb wird mit Hilfe einer Tunnelvortriebsmaschine das vorhandene Gebirge vollflächig abgebaut. Die einzelnen Arbeitsvorgänge des Lösens, des Ladens und des Stützmitteleinbaues werden hauptsächlich gleichzeitig ausgeführt. Eine rasche und flexible Anpassung an die örtlichen Gebirgsverhältnisse und das Zusammenwirken zwischen Gebirge und Bauwerk ist bei einer Tunnelvortriebsmaschine im Unterschied zum zyklischen Vortrieb nicht mehr möglich.

2.2.2.1 Tunnelbohrmaschinen im Festgestein

Tunnelbohrmaschinen im Festgestein unterscheiden sich hinsichtlich eines Vollschnittabbaus und eines teilflächigen Abbaus (siehe Abbildung 10). Es werden im Weiteren nur Tunnelbohrmaschinen mit Vollschnittabbau betrachtet.

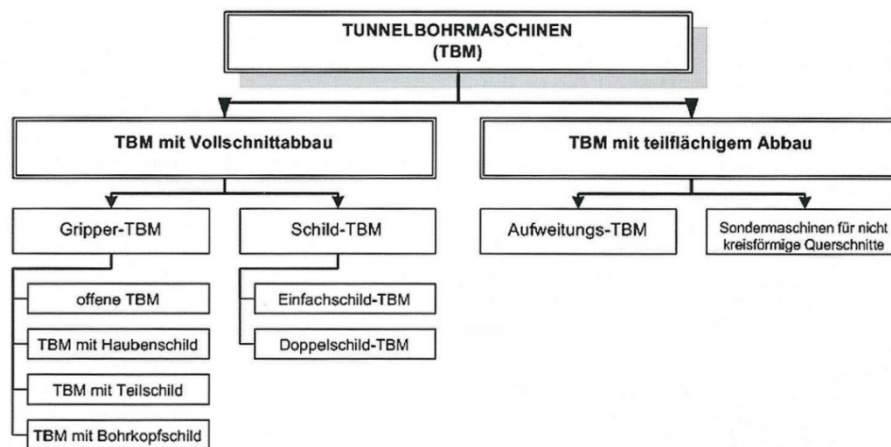


Abbildung 10: Einteilung Tunnelbohrmaschinen³⁷

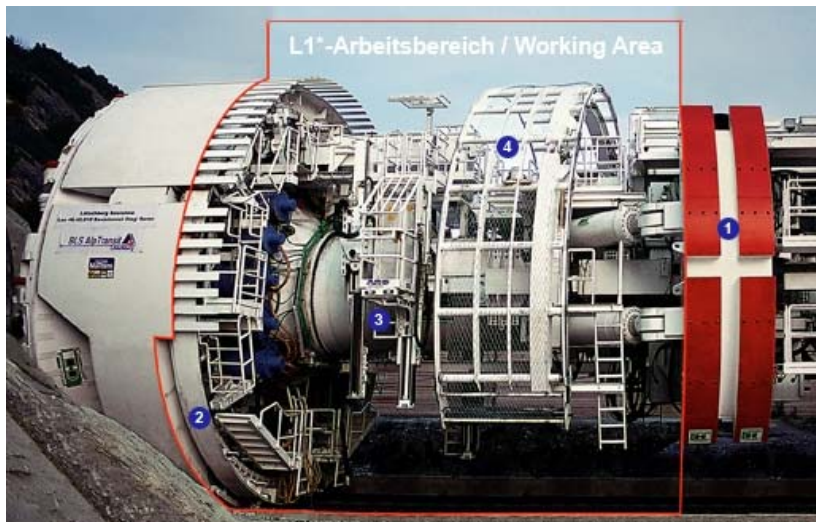
2.2.2.1.1 Gripper – TBM (Offene Tunnelbohrmaschine, TBM – O)

Als Gripper werden die Verspannplatten bezeichnet, die während des Bohrhubs gegen die Hohlraumlaibung gepresst werden. Nach dem fertigen Hub werden die Gripper gelöst, um dann in der neuen Bohrposition wiederum verspannt zu werden.

Die temporäre Sicherung erfolgt je nach Erfordernissen mit Spritzbeton, Baustahlgitter, Ausbaubögen oder Anker. In Abbildung 11 ist der Arbeitsbereich L1, in dem Baustahlgitter, Ausbaubögen und Anker eingebracht werden, dargestellt.

Anker und Spritzbeton werden im Arbeitsbereich des Nachläufers (siehe Abbildung 12) eingebaut.

³⁷ Vgl. Jodl 2005, S. 58.



- 1 Gripper
- 2 Ringreaktor für Stützmitteleinbau
- 3 Ankerbohrgerät
- 4 Netzversetzeinrichtung

Abbildung 11: Ansicht einer Gripper – TBM³⁸

In den meisten Fällen wird in diesem Bereich in der Sohle ein Sohlübbing als temporäre und auch permanente Sicherung verwendet. Dieser Sohlübbing kann einerseits für die Schienenmontage für die Nachläuferkonstruktion oder für eine schienengebundene Schutterung verwendet werden, andererseits aber auch für Entwässerungsleitungen.

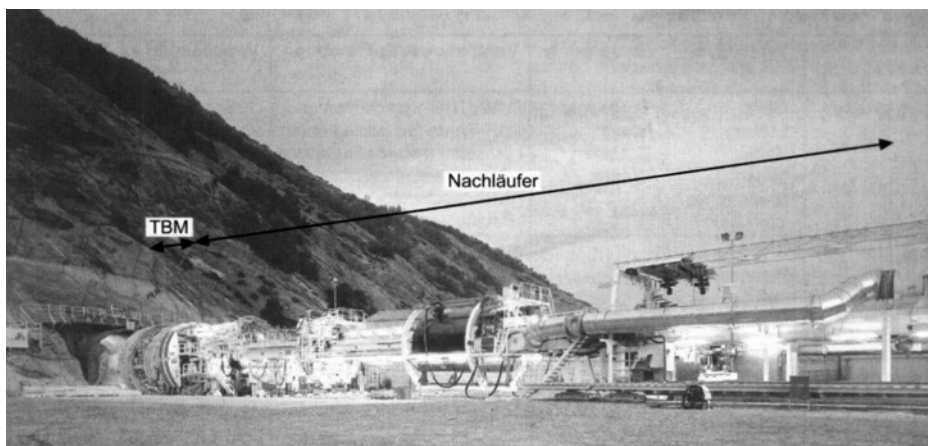


Abbildung 12: Nachläufer einer Gripper-TBM³⁹

Offene Tunnelbohrmaschine

Offene Tunnelbohrmaschinen werden heute nur mehr im Stollenbau mit kleinen Ausbruchsquerschnitten verwendet, da kein Schild zum Schutz der Vortriebsmannschaft vorhanden ist.

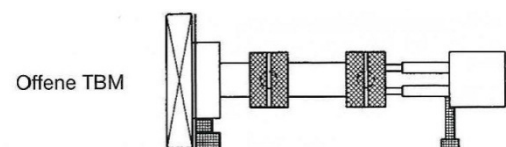


Abbildung 13: Offene TBM⁴⁰

³⁸ Vgl. Herrenknecht AG 2008.

³⁹ Vgl. Girmscheid 2005, S. 170.

⁴⁰ Vgl. Jodl 2005, S. 59.

Tunnelbohrmaschinen mit First- bzw. Haubenschild

Der Aufbau dieses Maschinentyps entspricht dem von offenen Tunnelbohrmaschinen. Jedoch ist zum Schutz der Mannschaft ein Schild im Firstbereich vorhanden.

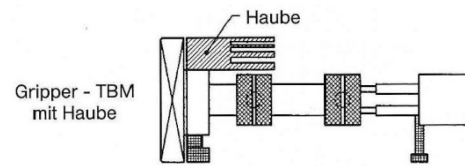


Abbildung 14: TBM mit Haube⁴¹

Tunnelbohrmaschine mit Teilschild

Bei diesem Typ sind Teilschilde gegen den Hohlraum ausfahrbar und dienen neben der Stabilisierung beim Versetzvorgang auch dem Schutz der Vortriebsmannschaft.

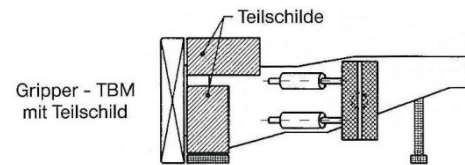


Abbildung 15: TBM mit Teilschild⁴²

Tunnelbohrmaschine mit Bohrkopfschild

Die Funktionen des Bohrkopfschildes sind die Stabilisierung beim Versetzvorgang und der Schutz der Vortriebsmannschaft.

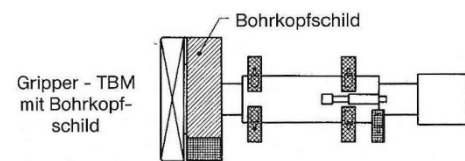


Abbildung 16: TBM mit Bohrkopfschild⁴³

2.2.2.1.2 Tunnelbohrmaschinen mit Schild

Das vorhandene Schild gibt der Vortriebsmannschaft und der Maschinenteknik Schutz vor dem anstehenden Gebirge. Die kontinuierliche Sicherung mit Tübbingen erfolgt am Ende des Schildes im Bereich des Schildschwanzes. Dieser Schildschwanz aus Stahl reicht über den letztgebauten Ring hinaus und sichert bis zur vollständigen Verfüllung des Ringspaltes das anstehende Gebirge gegen eine geringe Auflockerung des Festgesteinsverbandes. Die Vorschubkräfte werden bei Schild – Tunnelbohrmaschinen nicht über eine radiale Verspannung mit dem Gebirge übertragen, sondern über eine axiale Abtragung auf die Tübbingringe.

⁴¹ Vgl. Jodl 2005, S. 59.

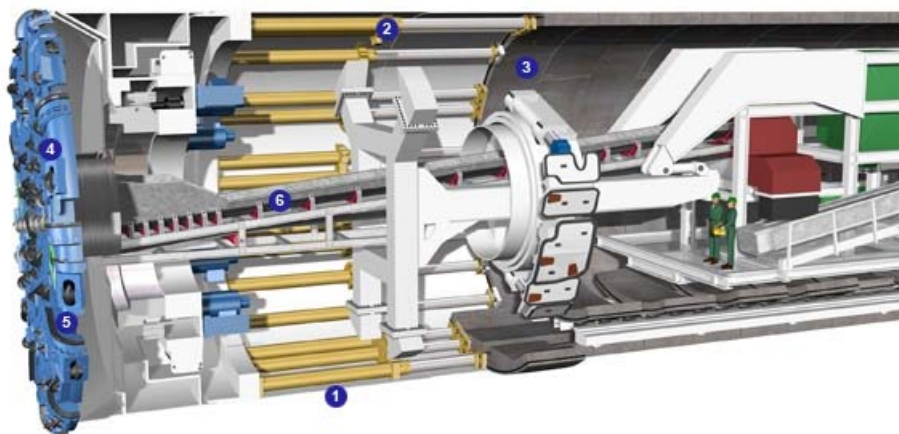
⁴² Vgl. ebenda.

⁴³ Vgl. ebenda.

Tunnelbohrmaschine mit Einzelschild (TBM – S)

Bei diesem Maschinentyp ist ein durchgehender Schildmantel vom Bohrkopf bis zum Ende der TBM vorhanden. Das vom Schneidrad abgebaute Material wird von den Räumern aufgenommen und über das Fördersystem über Tage gebracht.

Die Hohlräumeicherung erfolgt mittels Tübbingringen, die mit einem Erektor im Schutz des Schildmantels im Bereich des Schildschwanzes gebaut werden. Die Tübbingringe dienen der Übertragung der notwendigen Kräfte mittels der Vorschubpressen.

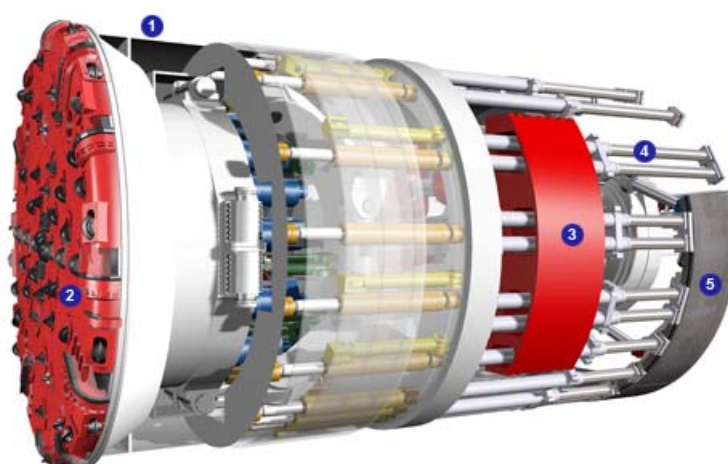


- 1 Schild
- 2 Vortriebspresen
- 3 Tübbingring
- 4 Schneidrad
- 5 Räumer
- 6 Fördersystem

Abbildung 17: Schnitt durch eine TBM – S⁴⁴

Tunnelbohrmaschine mit Doppelschild (TBM – DS)

Dieser Maschinentyp setzt sich aus einem Front- oder Vorder- sowie einem Gripper- oder Hauptschild zusammen.



- 1 vorpressbares Frontschild
- 2 Bohrkopf
- 3 Gripperschuhe
- 4 Hilfsvortriebspresen
- 5 Tübbingsegmente

Abbildung 18: Schnitt durch eine TBM – DS⁴⁵

⁴⁴ Vgl. Herrenknecht 2008.

⁴⁵ Vgl. ebenda.

Ist eine ausreichende Verspannung im Gebirge möglich, so kann das vorpressbare Frontschild ohne Beeinflussung des Gripperschildes vorgeschoben werden und der Einbau der Tübbingsegmente zu einem Ring kann unbeeinflusst erfolgen. Kann eine ausreichende Verspannung im Gebirge nicht erreicht werden, so ist es möglich, dass sich das Gripperschild mit Hilfsvortriebspresen auf den bereits vorhandenen Tübbingausbau abstützt. Der Vortrieb erfolgt in diesem Fall wie bei einer TBM – S.

2.3 Schutterung

Als Schutterung wird der Abtransport des ausgebrochenen Materials bezeichnet⁴⁶. Die Schutterung besteht aus den Teilvorgängen Laden, Fördern und Transportieren.

Auf die Wahl der Schutterung haben folgende Punkte Einfluss⁴⁷:

- Zur Verfügung stehender Lichtraum im Längs- und Querschnitt unter Beachtung der Einschränkung durch Ver- und Entsorgungsinstallationen
- Transportentfernung
- Steigungsverhältnisse
- Ausbruchskubaturen pro Ausbruchsquerschnitt
- Kennwerte des ausgebrochenen Materials (Korngröße, Kornform und Kornverteilung)

2.3.1 Ladegeräte

Die Einteilung der Ladegeräte kann durch vier Merkmale erfolgen⁴⁸:

- Ladeeinrichtung (Löffel, Schaufel, Kratzarm, Schrapper und Hummerschere)
- Fahrwerk (Gleis, Ketten und Reifen)
- Antrieb (Diesel, Elektro, Druckluft und Hydraulik)
- Übergabesystem (Front-, Seiten-, Überkopfkipper, Förderband und Kettenkratzer)

Die Einteilung der Ladegeräte nach der Art der Ladeeinrichtung⁴⁹:

- Bagger:
 - Konventioneller Hydraulikbagger: Dieser Typ kommt bei großen Querschnitten oder in der Strosse zur Anwendung.
 - Tunnelbagger: Dieser Typ ist meistens im Vortrieb eingesetzt und kann für die Schutterung verwendet werden.
- Spezialbagger im Tunnelbau:

⁴⁶ Vgl. Maidl 2004, S. 233.

⁴⁷ Vgl. ebenda.

⁴⁸ Vgl. ebenda, S. 234.

⁴⁹ Vgl. ebenda.

- Hochlöffel-Ladebagger: Dieser Bagger besitzt in den meisten Fällen keinen eigenen Fahrtrieb. Vorteile sind eine gedrungene Bauweise, eine hohe Standfestigkeit, geringere Anschaffungskosten und eine große Leistungsfähigkeit bei entsprechendem Hochlöffel.
 - Tunnelladebagger: Dieser Bagger wird auch als Bandlader bezeichnet und fördert das Material über ein Gurt- oder Kettenförderband in den rückwärtigen Bereich. Das Material wird meistens über einen Baggerarm in die Ladeschure gebracht.
- Lader:
- Radlader: Die Vorteile des Radladers liegen in der guten Beweglichkeit durch das Reifenfahrwerk und eine große Wendigkeit, falls der Radlader mit einem Knickgelenk ausgestattet ist. Als Sonderform des Radladers kommt der Fahr- lader, der für enge Querschnitte adaptiert wurde, durch seine niedrige Bau- form häufig in engen Stollen als Lade- und Transportgerät zum Einsatz.
 - Raupenlader: Diese Lader kommen vorwiegend bei beengten Platzverhältnis- sen zur Anwendung, da sich der Raupenlader aufgrund des Fahrwerkes auf der Stelle drehen kann. Dieses Wendemanöver führt jedoch zu einer erhebli- chen Beanspruchung des Raupenfahrwerkes.
 - Lader mit Schaufelonderformen: Ist der Platz für ein herkömmliches Wende- manöver nicht ausreichend, so kommen oftmals spezielle Ladegeräte zur An- wendung:
 - Überkopflader: Das in der Schaufel befindliche Material wird über Kopf in das dahinter stehende Transportgerät oder auf eine Beladeinrich- tung entleert.
 - Seitenkipplader: Der Seitenkipplader kippt das Material seitlich aus der Ladeschaufel in das Transportgerät.
 - Schwenkschaufellader: Die Ladeschaufel ist bis zu 120° schwenkbar und kann dadurch beim Entladen über das Transportgerät gedreht werden.
- Spezialladegeräte: Diese Gerätetypen stammen aus dem Bergbau und werden heute im Stollenbau mit Ausnahme des Häggloader (Firma Hägglund), der hauptsächlich in kleinen Querschnitten eingesetzt wird, kaum noch verwendet. Der Häggloader schiebt mit den Kratzarmen, die vor dem Schild angeordnet sind, das Material auf den sich in der Mitte be- findlichen Kettenförderer.

2.3.2 Transportgeräte

Die Einteilung der Transportgeräte kann nach folgenden Kriterien erfolgen⁵⁰:

- Fahrwerk (Räderfahrwerk, Gleisbetrieb und Förderbänder)
- Antrieb (Diesel, Elektro und Hydraulik)
- Entleerungsform (Seiten- und Hinterkipper, Rotations- und Bodenentleerung)

Die Einteilung der Transportgeräte nach der Art des Fahrwerkes⁵¹:

- Bandförderung: Diese Art der Schutterung wird vor allem beim kontinuierlichen Vortrieb eingesetzt. Das abgebaute Material wird aus dem Bohrkopf über ein Förderband auf der Tunnelbohrmaschine in den Nachlaufbereich transportiert. Dort schließt ein weiteres Förderband nach einer Übergabestelle an und transportiert das Material über Tage. Im zyklischen Vortrieb ist die Verwendung der Bandförderung hauptsächlich als Übergabesystem üblich. Sie dient in diesem Fall der Verbindung von Ladegerät und Transportfahrzeug.

- Pneubetrieb:

Vorteile der gleislosen Schutterung:

- Hohe Beweglichkeit der Fördergeräte
- Leichtere Wiederverwendung bei anderen Bauvorhaben
- Sehr hohe Förderkapazität bei großen Querschnitten
- Bewältigung größerer Neigungen

- Gleisbetrieb:

Vorteile des gleisgebundenen Betriebes:

- Geringere Bewetterungskosten
- Geringere Wartungs- und Energiekosten des Betriebes
- Geringere Personalkosten bei langen Förderstrecken
- Größere Kapazitäten bei kleineren Durchmessern

Der gleisgebundene Betrieb gewinnt bei abnehmendem Querschnitt und zunehmender Förderstrecke im Vergleich zum Pneubetrieb an Bedeutung.

⁵⁰ Vgl. Maidl 2004, S. 241.

⁵¹ Vgl. ebenda.

2.4 Geologie

2.4.1 Allgemeines

Im Vergleich zu anderen Bauprojekten können im Tunnel- und Stollenbau die Materialeigenschaften des anstehenden Baumaterials (sprich des Gebirges) nicht frei gewählt werden. Die vorhandenen Eigenschaften bestmöglich genutzt werden.

2.4.2 Geomechanische Planung und Vortriebsklassifizierung

Die geomechanische Planung klassifiziert den Tunnel bzw. den Stollen in verschiedene gleichartige Bereiche.

Die Bestimmung der felsmechanischen Parameter ist bei jedem Tunnelbauprojekt für die statischen Berechnungen von großer Bedeutung und stellt auch heute noch eines der großen Probleme des Tunnelbaues dar. Trotz geologischer Erkundungen kann das Gebirge nach dem bekannten Spruch: „Vor der Hacke ist es duster!“, stets Unerwartetes mit sich bringen. Deshalb ist die sorgfältige geomechanische Planung speziell beim kontinuierlichen Vortrieb wichtig für die erfolgreiche Durchführung eines Tunnelbauprojektes. Der kontinuierliche Vortrieb kann durch nicht erkannte oder unzureichend untersuchte geotechnische Aspekte massiv beeinflusst werden. Dies kann von Vortriebsunterbrechungen bis hin zur Einstellung des Vortriebes reichen.

2.4.2.1 Zyklischer Vortrieb

Die Grundlage für die geomechanische Planung bildet die Richtlinie für die geomechanische Planung von Untertagebauarbeiten mit zyklischem Vortrieb⁵². Die Vortriebsklassifizierung erfolgt nach der ÖNORM B 2203 – 1⁵³.

Die geologischen Randbedingungen spielen eine entscheidende Rolle in der Wahl der Art des Vortriebes.

2.4.2.1.1 Bestimmung der Gebirgsart

Im Rahmen der geomechanischen Planung wird die Vortriebsstrecke zunächst in Bereiche mit gleichartigen Eigenschaften eingeteilt. Die Beurteilung erfolgt mittels ausgewählten Parametern. Diese Parameter beschreiben das vorhandene Gebirge nach Gesteins-, Trennflächen- und Gebirgseigenschaften. Die Gewichtung und Bewertung kann für jedes Bauwerk und damit auch für das vorhandene Gebirge unterschiedlich sein.

Diese Arbeit beschränkt sich auf die Betrachtung von Festgestein.

⁵² Vgl. Österreichische Gesellschaft für Geomechanik 2001.

⁵³ Vgl. ÖNORM B 2203-1 2 2001.

Definition Festgestein: „Mineralgemenge, dessen Eigenschaften hauptsächlich durch seine physikalisch/chemische Bindung bestimmt sind.“⁵⁴

Nachfolgend sind einige relevante Parameter im Festgestein für die Bestimmung der Gebirgsart aufgelistet:

- Festigkeitskennwerte
- Trennflächeneigenschaften
- Gestein
- Korngefüge
- Gesteins- und Gebirgseigenschaft
- Trennflächentypen

Diese Parameter sind projektspezifisch anzupassen und ggf. zu erweitern.

2.4.2.1.2 Gebirgsverhaltenstyp

Die Bestimmung der Gebirgsverhaltenstypen (GVT) und die Verteilung über die Tunnellänge sind die Grundlagen für die Planung der Herstellung des Hohlraumes und dessen Sicherung. Der jeweilige Gebirgsverhaltenstyp beschreibt das Verhalten des voll ausgebrochenen Querschnittes ohne Stützmaßnahmen und ohne Unterteilung in Teilquerschnitte. Die Betrachtung erfolgt anhand eines unendlich langen, ungestützten Hohlraumes.

Es werden dabei folgende Parameter betrachtet:

- Gebirgsart
- Primärspannungszustand
- Form, Größe und Lage des Hohlraumes, Lösemethode
- Orientierung des Bauwerkes zum Trennflächengefüge
- Bergwasser, Strömungsdruck, hydrostatischer Druck

Können Parameter nicht mit eindeutiger Sicherheit bestimmt werden, so sind Parameterstudien durchzuführen, um den zu erwartenden Schwankungsbereich abzudecken.

Nach der Bestimmung der Gebirgsverhaltenstypen sind diese den elf vorhandenen Kategorien zuzuordnen, die in Tabelle 2 dargestellt sind.

In den ausgewählten Projekten ist die Machbarkeit in Bezug auf die Geologie sowohl für den zyklischen als auch den kontinuierlichen Vortrieb gegeben.

⁵⁴ Vgl. Österreichische Gesellschaft für Geomechanik 2001, S. 5.

Gebirgsverhaltenstypen	Beschreibung des Gebirgsverhaltens (ohne Stützmaßnahmen)
1 Standfestes Gebirge	Standfestes Gebirge mit dem Potenzial zum schwerkraftbedingten Herausfallen oder Herausgleiten von kleinvolumigen Kluftkörpern
2 Gefügebedingte Nachbrüche	Tieferreichende gefüge- und schwerkraftbedingte Nachbrüche, vereinzelt lokales Überschreiten der Scherfestigkeit an Trennflächen
3 Hohlraumnahe Überbeanspruchung	Spannungsbedingte Entfestigung bzw. Plastifizierung des Gebirges in Hohlraumumgebung in Kombination mit gefügebedingten Nachbrüchen
4 Tieferreichende Überbeanspruchung	Spannungsbedingte tieferreichende Entfestigung bzw. Plastifizierung im Gebirge mit großen Deformationen
5 Bergschlag	Plötzliche Ablösungen zufolge hoher Spannungen in Kombination mit sprödem Gebirge
6 Schichtknicken	Knicken von schlanken Platten, häufig in Kombination mit Scherversagen
7 Scherversagen bei geringem Spannungsniveau	Potenzial zu großvolumigen Nachbrüchen und progressivem Scherversagen infolge geringer Verspannung
8 Rolliges Gebirge	Ausfließen von meist kohäsionslosem, trockenem bis feuchtem Gebirge
9 Fließendes Gebirge	Ausfließen von Gebirge mit hohem Wassergehalt
10 Quellendes Gebirge	Zeitabhängige Volumszunahme des Gebirges durch physikalisch-chemische Reaktion von Gebirge und Wasser in Kombination mit Entspannung
11 Gebirge mit rasch wechselnden Verformungseigenschaften	Starke Variation von Spannungen und Deformationen bedingt durch Block-Matrix Struktur (z. B. heterogene Störungszonen, tektonische Melange)

Tabelle 2: Übersicht Gebirgsverhaltenstypen⁵⁵

2.4.2.1.3 Festlegung von Ausbruch und Stützung

Bei der Bestimmung der Gebirgsverhaltenstypen wird der komplette Ausbruch des Querschnittes ohne Ausbaumaßnahmen betrachtet. Die Festlegung der Baumaßnahmen und die Überprüfung des Systemverhaltens mit den gewählten Ausbruchs-, Stütz- und etwaigen gebirgsverbessernden Maßnahmen erfolgen in diesem Abschnitt.

Maßgebenden Einfluss auf das Systemverhalten haben folgende Einflussgrößen:

- Gebirgsverhaltenstyp

⁵⁵ Vgl. Österreichische Gesellschaft für Geomechanik 2001, S. 15.

- Form und Größe des Ausbruchsquerschnittes
- Dreidimensionale Abwicklung des Bauablaufes
- Zeitabhängige Eigenschaften des Baugrundes und der Stützmittel
- Stützmittel und deren Einbauort und Einbauzeitpunkt

Mit der Überprüfung des Systemverhaltens muss die Standsicherheit des Bauwerkes in allen Bauzuständen gewährleistet sein und die Auswirkungen auf die anstehende Umwelt (Setzungen, Erschütterungen, Eingriffe in die Natur, etc.) müssen in den zulässigen Grenzen sein. Auch die Verformung muss sich innerhalb tolerierter Grenzen befinden. Da nicht alle Parameter und deren gegenseitiger Einfluss aufeinander vorher exakt bestimmbar sind, sind Warngrenzen und Maßnahmen bei Überschreitungen der Grenzen für den Bauzustand zu definieren.

2.4.2.1.4 Tunnelbautechnischer Rahmenplan

Im tunnelbautechnischen Rahmenplan werden die Ergebnisse der geomechanischen Planung übersichtlich über die Tunnellänge zusammengefasst.

2.4.2.1.5 Ermittlung der Vortriebsklasse

Nach dem Abschluss aller erforderlichen geotechnischen und bautechnischen Festlegungen erfolgt die Einteilung in Vortriebsklassen.

Dabei sind folgende Punkte anzugeben:

- Technisch erforderliche Lösemethoden (z.B. Sprengen, mechanisches Lösen)
- Unterteilung in Teilquerschnitte
- Längsentwicklung des Vortriebsablaufes

Einteilung in Vortriebsklassen:

Die Einteilung der Vortriebsklassen erfolgt anhand von zwei Ordnungszahlen. Die erste Ordnungszahl wird über die Abschlagslänge bestimmt (siehe Abbildung 19). Dabei erfolgt eine Zuteilung der Abschlagslänge in den zugehörigen Bereich. Die Bestimmung wird für die Klotte und Strosse entweder getrennt oder miteinander durchgeführt. Die erste Ordnungszahl der Sohle wird anhand des Öffnungslängenbereiches bestimmt (siehe Abbildung 20).

Die zweite Ordnungszahl ergibt sich aus der Bewertung der erforderlichen Stützmittel. Über einen Bewertungsfaktor wird die Stützmittelzahl errechnet. Bei der Sohle ist die zweite Ordnungszahl von der Ausbauart abhängig.

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

Abbildung 19: Vortriebsklassenmatrix⁵⁶

ERSTE ORDNUNGSZAHL	ÖFFNUNGS LÄNGE BIS	ZWEITE ORDNUNGSZAHL			
		AUSBAUART			
		OFFENE SOHLE	SOHL- PLATTE	SOHL- GEWÖLBE MIT LÄNGSTEILUNG	SOHL- GEWÖLBE OHNE LÄNGSTEILUNG
		1	2	3	4
1	keine Vorgabe	1/1			
2	36,0 m		2/2		
3	24,0 m		3/2	3/3	
4	12,0 m				4/4
5	6,6 m				5/4
6	4,4 m				
7	2,2 m				

Abbildung 20: Vortriebsklassenmatrix der Sohle⁵⁷

⁵⁶ Vgl. ÖNORM B 2203-1 2001, S. 12.

⁵⁷ Vgl. ebenda.

Die Darstellung der Vortriebsklassen erfolgt in einer Matrix für den Vortrieb der Kalotte, der Strosse oder der Kalotte mit Strosse (siehe Abbildung 19) und für den Vortrieb der Sohle (siehe Abbildung 20).

Vortriebsklassen sind die Grundlage für die Kalkulation und Vergütung der Vortriebsarbeiten. Die Bestimmung von Vortriebsklassen ist stark abhängig von der Länge und Verteilung der Gebirgsverhaltenstypen.

2.4.2.1.6 Geomechanischer Bericht

Im geomechanischen Bericht werden die Ergebnisse der geomechanischen Planung nachvollziehbar zusammengefasst.

2.4.2.2 Kontinuierlicher Vortrieb

2.4.2.2.1 Allgemeines

Für den kontinuierlichen Vortrieb ist eine Richtlinie analog zur Richtlinie für die geomechanische Planung von Untertagebauarbeiten mit zyklischem Vortrieb⁵⁸ in Ausarbeitung. Bis zum Erscheinen dieser Richtlinie wird die Gebirgscharakterisierung analog zur Vorgangsweise beim zyklischen Vortrieb durchgeführt.

2.4.2.2.2 Gebirgsverhaltenstyp

Die Einsatzbereiche von Tunnelbohrmaschinen sind in Tabelle 3 dargestellt. Wie bereits im Punkt 2.4.2.1.2 erwähnt, ist der Einsatz von Tunnelbohrmaschinen in allen vorkommenden Gebirgsverhaltenstypen möglich.

⁵⁸ Vgl. Österreichische Gesellschaft für Geomechanik 2001.

Nr	Gebirgsverhaltens-typen	Beschreibung des Gebirgs-verhaltens	TBM-O	TBM-A	TBM-S	TBM-DS
1	Standfestes Gebirge	Standfestes Gebirge mit dem Potenzial zum schwerkraftbedingten Herausfallen oder Herausgleiten von kleinvolumigen Kluttkörpern	sehr gut geeignet	sehr gut geeignet	gut geeignet	gut geeignet
2	Gefügebedingte Nachbrüche	Tiefreichende gefüge- und schwerkraftbedingte Nachbrüche, vereinzelt lokales Überschreiten der Scherfestigkeit an Trennflächen	geeignet	geeignet	gut geeignet	gut geeignet
3	Neubrüche mit geringer Tiefe	Spannungsbedingte Entfestigung bzw. Plastifizierung des Gebirges in Hohraumumgebung in Kombination mit gefügebedingten Nachbrüchen	geeignet	geeignet	gut geeignet	gut geeignet
4	Tiefreichende Neubrüche	Spannungsbedingte tiefreichende Entfestigung bzw. Plastifizierung im Gebirge mit großen Deformationen	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet
5	Bergschlag	Plötzliche Ablösungen zufolge hoher Spannungen in Kombination mit sprödem Gebirge	geeignet	bedingt geeignet	geeignet	geeignet
6	Schichtknicken	Knicken von schlanken Platten, häufig in Kombination mit Scherversagen	bedingt geeignet	bedingt geeignet	geeignet	geeignet
7	Scherversagen bei geringem Spannungsniveau	Potenzial zu großvolumigen Nachbrüchen und progressivem Scherversagen infolge geringer Verspannung	bedingt geeignet	ungeeignet	bedingt geeignet	bedingt geeignet
8	Rolliges Gebirge	Ausfließen von meist kohäsionslosem, trockenem bis feuchtem Gebirge	ungeeignet	ungeeignet	bedingt geeignet	bedingt geeignet
9	Fließendes Gebirge	Ausfließen von Gebirge mit hohem Wassergehalt	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet
10	Quellendes Gebirge	Zeitabhängige Volumszunahme des Gebirges durch physikalisch-chemische Reaktion von Gebirge und Wasser in Kombination mit Entspannung	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet
11	Gebirge mit rasch wechselnden Verformungseigenschaften	Starke Variation von Spannungen und Deformationen bedingt durch Block-Matrix Struktur (z.B. heterogene Störungszonen, tektonische Melange)	ungeeignet	ungeeignet	bedingt geeignet	bedingt geeignet

Tabelle 3: Einsatzbereich von Tunnelbohrmaschinen⁵⁹

2.4.2.2.3 Einteilung in Vortriebsklassen

Die Einteilung erfolgt aufgrund der geomechanischen Planung in Vortriebsabschnitte. Diese Vortriebsabschnitte werden falls erforderlich noch in Vortriebsklassen unterteilt.

Einteilung in Vortriebsabschnitte

Erste Ordnungsgruppe

Die Einteilung in Vortriebsabschnitte (erste Ordnungsgruppe) erfolgt hauptsächlich nach dem Löseverhalten (Gesteinsart, Mineralbestand, Zerlegungsgrad u.a. oder Penetration, Verschleiß u.a.). Es können jedoch bei Unterschreitungen von Mindestlängen auch Einteilungen nach geologischen Gliederungen gemacht werden. Des Weiteren sind baubetriebliche Belange zu beachten.

⁵⁹ Vgl. Richtlinie für Verkehr und Straße 2003, S. 25.

Zweite Ordnungsgruppe für TBM – O

Die zweite Ordnungsgruppe wird wie beim zyklischen Vortrieb von den erforderlichen Stützmitteln bestimmt. Die Bewertung dieser Stützmittel ergibt die Stützmittelzahl. Die Darstellung der Einteilung erfolgt in einer Vortriebsklassenmatrix.

Zweite Ordnungsgruppe für TBM – S und TBM – DS

Nach den folgenden leistungsbestimmenden Leistungsmerkmalen wird eingeteilt:

- Verspannbarkeit
- Art der Abstützung
- Art des Ausbaues
- Ortsbruststützung

Die Vortriebsklassen werden in einer Matrix dargestellt. Ist eine Unterscheidung der zweiten Ordnungsgruppe nicht erforderlich, so kann diese Bestimmung entfallen und es wird nur die erste Ordnungsgruppe herangezogen.

2.5 Verwendung, Tunnelsystem und Querschnittausbildung

2.5.1 Verwendung

Je nach der Verwendung von Verkehrstunneln für den Straßen- oder Eisenbahnverkehr sind verschiedene Lichtraumprofile vorhanden. Es werden im Weiteren die unterschiedlichen Querschnitte für den Verkehr auf der Straße und Schiene und deren resultierende Tunnelsysteme und Geometrien untersucht.

2.5.2 Tunnelsystem

2.5.2.1 Tunnelsystem für den Eisenbahnverkehr

Jedes Projekt besitzt andere Umgebungsbedingungen und daher auch andere Planungsansätze. Eine Abstimmung zwischen Betriebssicherheit und der Sicherheit für Erhaltungsarbeiten führt zu Vor- und Nachteilen verschiedener Tunnelsysteme. Es wird zwischen ein-, zwei- und mehrgleisigen Tunnelröhren unterschieden.

2.5.2.1.1 Eingleisige Tunnel

Der Vorteil von eingleisigen Tunnelröhren liegt in einer höheren Betriebssicherheit. Der Nachteil ist die notwendige Gleisverziehung vor den Tunnelportalen, die einer großen Länge bedarf. Bei oftmaligem Wechsel von Freilandstrecke und Tunnelstrecken von kürzerem Ausmaß kommen zwei eingleisige Röhren aufgrund der notwendigen Verziegungsstrecke daher kaum zur Anwendung.

Sind zwei eingleisige Tunnelröhren durch Querschläge, die in einem Abstand von 500 m zueinander ausgeführt werden, miteinander verbunden, so können diese Verbindungen als Fluchtmöglichkeit im Unglücksfall dienen. Zusätzlich kann im Katastrophenfall die zweite Röhre als befahrbarer Rettungstollen verwendet werden.

Die folgenden Abbildungen zeigen das Tunnelsystem von zwei eingleisigen Röhren mit einer maximalen zulässigen Schienenüberhöhung von ± 67 mm für den zyklischen (Abbildung 21) und kontinuierlichen (Abbildung 22) Querschnitt. Die Gleisachse fällt bei beiden Varianten nicht mit der Tunnelachse zusammen. Diese Verschiebung der Achse ist bedingt durch den Einbau der Oberleitung mit Hängesäulen. Aufgrund der Querschnittformen (Hufeisenprofil bzw. Kreisprofil) ergeben sich unterschiedliche Abweichungen (zyklisch: 0,60 m; kontinuierlich: 0,80 m).

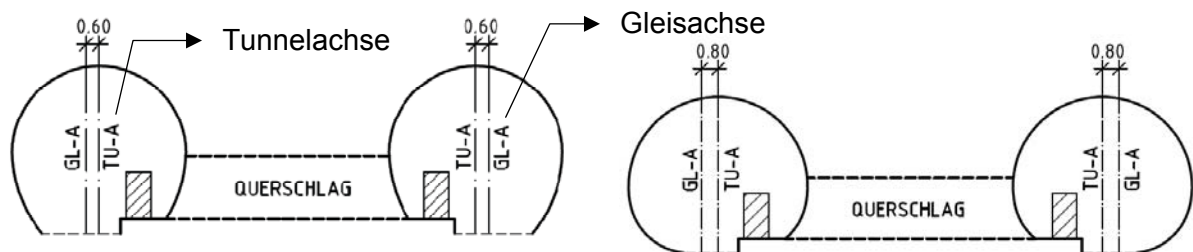


Abbildung 21: Tunnelsystem von zwei eingleisigen Tunnelröhren⁶⁰ (zyklisch)

Abbildung 22: Tunnelsystem von zwei eingleisigen Tunnelröhren⁶¹ (kontinuierlich)

2.5.2.1.2 Zwei- bzw. mehrgleisige Tunnel

Der Querschnitt einer zwei- bzw. mehrgleisigen Tunnelröhre ohne zusätzlichen Dienststollen ist kleiner als bei zwei eingleisigen Röhren. Die Ausführung des Dienststollens entfällt in den meisten Fällen und wird durch Notausgänge ersetzt

Bei zweigleisigen Tunnelröhren ist vor allem der Begegnungsfall von Zügen sehr ungünstig. Es kommt durch die vorangeschobenen Luftwalzen zu einer Druckwelle unmittelbar vor der direkten Begegnung. Zusätzlich gibt es eine Sogwirkung zwischen den Zügen bei der Vorbeifahrt. Außerdem besteht ein größeres Gefährdungspotential bei Unfällen. Es entfällt aber die Verziehungsstrecke der Gleise vor dem Portal, die bei zwei eingleisigen Tunnelröhren notwendig ist.

⁶⁰ Vgl. Richtlinien für das Entwerfen von Bahnanlagen – Hochleistungsstrecken Anlage 3, Plan Nr. 510

⁶¹ Vgl. ebenda, Plan Nr. 511

2.5.2.1.3 Möglichkeiten verschiedener Tunnelsysteme am Beispiel des Gotthardbasistunnels

Bei der Planung der neuen Gotthardbahn⁶² wurden vier Typen (siehe folgend die Varianten A bis D) untersucht. Verschiedenste Aspekte (Baumethode, Bauzeit, Baukosten, Sicherheit, Betrieb und Instandhaltung) sind bei der Wahl des Tunnelsystems einander gegenüberzustellen. Daraus ist das am besten geeignete Tunnelsystem zu wählen. Im Weiteren ist es nicht zwingend ein System über die gesamte Tunnellänge beizubehalten.

Im Falle der neuen Gotthardbahn führten schließlich vor allem Aspekte der Sicherheit, des Betriebes, der Erhaltung und auch Kostengründe zur Entscheidung für einen Tunnel mit zwei einspurigen Röhren ohne Dienststollen jedoch mit 2 Nothaltestellen. Dieser Variante ist auch bei weiteren Projekten, die sich gerade in Bau oder in Planung befinden (Wienerwaldtunnel, Brenner Basistunnel, Koralmtunnel), der Vorzug gegeben worden.

Die vier unterschiedlichen Varianten (A bis D) sind im Weiteren dargestellt und danach in der Tabelle 4 zusammengefasst.

Variante A: Doppelspur – Tunnel mit Dienst-Tunnel

In Abbildung 23 ist die Variante A dargestellt. Es kommt hier ein zweigleisiger Tunnel mit einem begleitenden Dienst – Tunnel zur Ausführung. Die erforderliche lichte Fläche für die beiden Querschnitte beträgt 140,6 m².

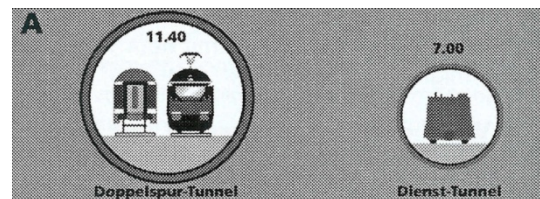


Abbildung 23: Variante A der neuen Gotthardbahn⁶³

Variante B: Zwei Einspurtunnel mit Dienststollen

Die Abbildung 24 zeigt die Variante B mit zwei Einspurtunneln mit einem begleitenden Dienst – Tunnel. Die erforderliche lichte Fläche für die Querschnitte beträgt 171,4 m².

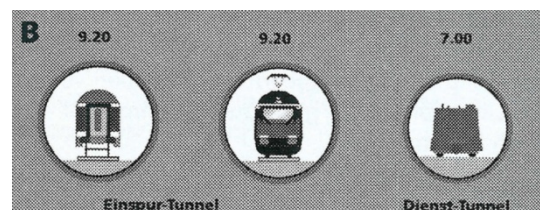


Abbildung 24: Variante B der neuen Gotthardbahn⁶⁴

⁶² Vgl. Zbinden 2007, S. 57.

⁶³ Vgl. ebenda.

⁶⁴ Vgl. ebenda.

Variante C: Drei Einspurtunnel

In Abbildung 25 ist die Variante C dargestellt. Drei Einspurtunnel ohne zusätzlichen Dienst – Tunnel sind bei dieser Version des Tunnelsystems untersucht worden. Die erforderliche lichte Fläche für die Querschnitte beträgt 199,4 m².

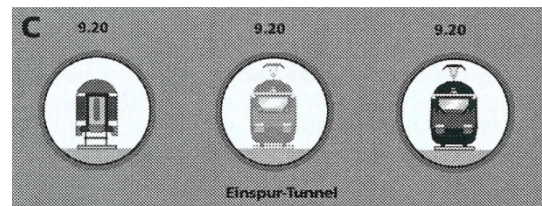


Abbildung 25: Variante C der neuen Gotthardbahn⁶⁵

Variante D: Zwei Einspurtunnel ohne Dienststollen

Abbildung 26 zeigt die Variante D mit zwei Einspurtunneln ohne Dienst – Tunnel mit 2 Nothaltestellen. Zwei eingleisige Tunnelröhren sind mit zwei Nothaltestellen untersucht worden. Diese Nothaltestellen sind als Multifunktionsstellen in Sedrun und Faido geplant und im aktuellen Baufortschritt auch schon zur Gänze ausgebrochen.

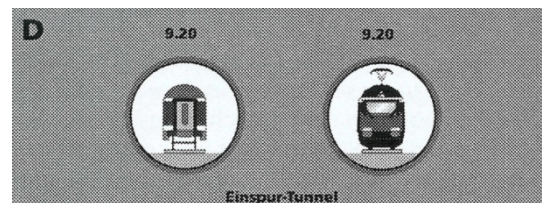


Abbildung 26: Variante D der neuen Gotthardbahn⁶⁶

Die erforderliche lichte Fläche für die Querschnitte beträgt 133,0 m².

Zusammenfassung der Varianten

Aufgrund der unterschiedlichen Varianten ergeben sich Vor- und Nachteile von ein- und zweigleisigen Tunnelröhren, wie diese in Kapitel 2.5.2.1 beschrieben worden sind. Die Gegenüberstellung und Bewertung führte zur Entscheidung, der Variante D, dem Tunnelsystem mit zwei einspurigen Röhren ohne begleitenden Dienst – Tunnel, den Vorzug zu geben. Die Vorteile von minimalem Ausbruchsquerschnitt, höherer Betriebssicherheit und Gebrauchstauglichkeit gaben den Ausschlag für die Entscheidung. Gleichzeitig waren die Zugangsstollen für Zusatzangriffe verwendbar (d.h. Vorteil im Bauablauf). Es ist jedoch anzumerken, dass die Kriterien und deren Gewichtung für jedes Projekt unterschiedlich sind.

In der Tabelle 4 sind die Querschnittflächen für die einzelnen Varianten gegenübergestellt. Die Variante D mit zwei eingleisigen Tunnelröhren weist dabei die geringste Querschnittfläche mit 133,0 m² auf.

⁶⁵ Vgl. Zbinden 2007, S. 58.

⁶⁶ Vgl. ebenda.

Variante A	Ø	Fläche	Variante C	Ø	Fläche
	[m]	[m ²]		[m]	[m ²]
Doppelspur-Tunnel	11,4	102,1	Einspur-Tunnel	9,2	66,5
Dienst-Tunnel	7,0	38,5	Einspur-Tunnel	9,2	66,5
	Σ	140,6	Einspur-Tunnel	9,2	66,5
				Σ	199,4

Variante B	Ø	Fläche	Variante D	Ø	Fläche
	[m]	[m ²]		[m]	[m ²]
Einspur-Tunnel	9,2	66,5	Einspur-Tunnel	9,2	66,5
Einspur-Tunnel	9,2	66,5	Einspur-Tunnel	9,2	66,5
Dienst-Tunnel	7,0	38,5			
	Σ	171,4		Σ	133,0

Tabelle 4: Vergleich der erforderlichen Querschnittflächen

2.5.2.1.4 Zusammenfassung

Das gewählte Tunnelsystem hat Einfluss auf die Geometrie des aufzufahrenden Querschnittes. Die zurzeit in Projektierung bzw. in Bau befindlichen Tunnelvorhaben werden bei langen Tunneln fast ausschließlich in der eingleisigen Variante ausgeführt. International liegt die Grenze für Doppelspurtunnel bei ca. 15 km⁶⁷. Die Richtlinie für das Entwerfen von Bahnanlagen – Hochleistungsstrecken⁶⁸ nimmt Bezug auf dieses Thema und sieht eine Systementscheidungsuntersuchung vor. Hierbei sind Kriterien der Planungs-, Bau- und Betriebsphase zu untersuchen.

2.5.2.2 Tunnelsystem für den Straßenverkehr

Für den Straßenverkehr gibt es die Möglichkeit von zwei Röhren mit Richtungsverkehr oder einer Röhre mit Gegenverkehr. In der Richtlinie für Verkehr und Straße 9.251⁶⁹ sind die Faktoren für die Wahl des Tunnelsystems angegeben:

- Verkehrsplanung (Gesamtausbau oder Ausbau in Stufen)
- Straßentyp
- Lüftungssystem
- Betriebs- und Sicherheitseinrichtungen

Vor allem der Sicherheitsaspekt führt nach den Tunnelbränden im Mont Blanc Tunnel (1999), Tauerntunnel (1999) und St. Gotthardtunnel (2001) heute zur bevorzugten Anwendung von zwei Röhren mit Richtungsverkehr.

⁶⁷ Vgl. Bergmeister 2005, S. 546.

⁶⁸ Vgl. Richtlinien für das Entwerfen von Bahnanlagen – Hochleistungsstrecken Anlage 3 2002, S. 32.

⁶⁹ Vgl. Richtlinie für Verkehr und Straße 9.251 2003, S. 10.

2.5.3 Querschnittausbildung

Die unterschiedlichen Lichtraumprofile für den Straßen- und Eisenbahnverkehr in Kombination mit den Ausbruchsprofilen der zyklischen und kontinuierlichen Vortriebe ergeben verschiedene Querschnittausbildungen.

2.5.3.1 Querschnittausbildung für den Eisenbahnverkehr

2.5.3.1.1 Zwei eingleisige Tunnel

Der kontinuierliche Vortrieb ist gebunden an ein kreisrundes Bohrprofil. Im Gegensatz dazu ist der zyklische Vortrieb besser an das Lichtraumprofil angepasst. Am Beispiel des Lötschbergbasistunnels (Abbildung 27) in der Schweiz sieht man die unterschiedliche Querschnittsgestaltung bei zyklischem und kontinuierlichem Vortrieb. Im Querschnitt des Sprengvortriebs ist auch die Variante für erhöhte Beanspruchung mit der Ausführung eines tiefen Sohlgewölbes (siehe Normalprofil beim Sprengvortrieb auf der rechten Seite) dargestellt.

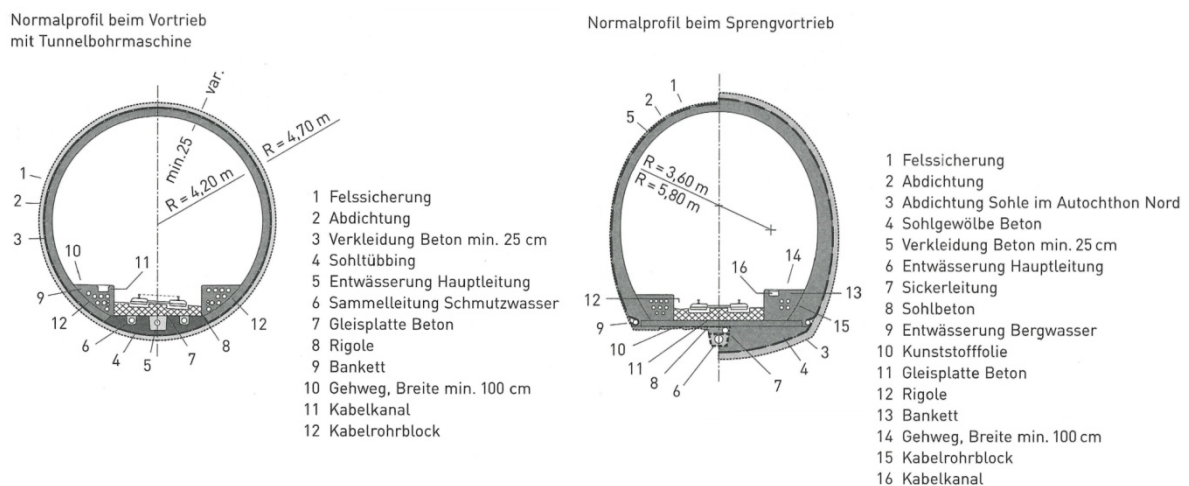


Abbildung 27: Querschnittvergleich TBM – Sprengvortrieb⁷⁰

Querschnitt des zyklischen Vortriebs

Der Querschnitt für den konventionellen Vortrieb ist in den Richtlinien für das Entwerfen von Bahnanlagen – Hochleistungsstrecken⁷¹ dargestellt.

⁷⁰ Vgl. BLS Alp Transit 2006, S. 37.

⁷¹ Richtlinien für das Entwerfen von Bahnanlagen – Hochleistungsstrecken Anlage 3 2002.

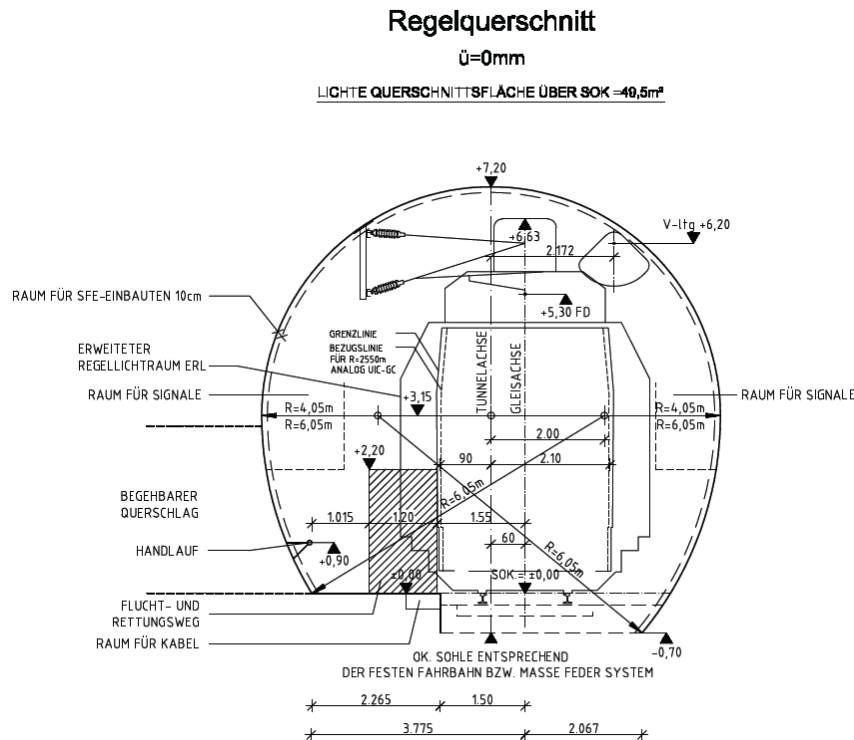


Abbildung 28: Regelquerschnitt zyklischer Vortrieb⁷²

Die Abbildung 28 zeigt den Querschnitt des zyklischen Vortriebes nach der Fertigstellung aller Arbeiten (Vortriebs-, Innenschalen- und Endausbauarbeiten). In dieser Abbildung sind folgende erforderliche Querschnittelemente und deren Platzbedarf berücksichtigt:

- Randweg: „Ist die befestigte ebene Fläche zwischen Tunnelwand und der nächstgelegenen Außenkante des Oberbaues.“⁷³ Ist auf der zur Nachbarröhre zugewandten Seite auszuführen.
- Flucht- und Rettungsweg: „Liegt innerhalb des Randweges und ist gleisseitig durch die Grenzlinie des stehenden Zuges und tunnelwandseitig durch den Handlauf begrenzt. Er dient zur Evakuierung der Reisenden im Zuge der Selbstrettung und den Einsatzorganisationen. Er führt als Fluchtweg zu einem sicheren Bereich.“⁷⁴
- Handlauf: Als zusätzliche Unterstützung bei Flucht- und Rettungswegen.
- Raum für Signale: „Der Raum für Signale ist oberhalb des Randweges und außerhalb des ERL (Anmerkung: Erweiterter Regellichtraum), unter Berücksichtigung des Raumes für die Oberleitung und Verstärkungsleitungen, vorgesehen.“⁷⁵

⁷² Richtlinien für das Entwerfen von Bahnanlagen – Hochleistungsstrecken Anlage 3, Plan Nr. 510.

⁷³ Ebenda, S. 7.

⁷⁴ Ebenda.

⁷⁵ Ebenda, S. 14.

- Raum für Kabel: „Im Randweg sind bei zwei eingleisigen Tunneln beidseitig und bei eingleisigen Tunneln einseitig Kabelzüge mit einem lichten Querschnitt 50 / 16 cm vorzusehen.“⁷⁶
- Erweiterter Regellichtraum: Zusätzlicher Raum für größere Transporte wie zum Beispiel Huckepackverkehr.
- Raum für SFE – Einbauten: Ein technischer Spielraum von 10 cm zwischen Tunnelinnenschale und Lichtraumprofil für Signal – Fernwirkung – Energie – Einbauten wie z.B. Erdung auf Putz oder Schlitzbandkabel.⁷⁷
- Oberleitung: Raum für den Durchgang der Stromabnehmer und die Unterbringung der Oberleitung.
- Der Oberbau ist als Feste Fahrbahn (FF) oder als Masse-Feder-System auszuführen. Ab einer Tunnellänge von 500 m ist eines der beiden Systeme auszubilden.⁷⁸

Querschnitt des kontinuierlichen Vortriebes

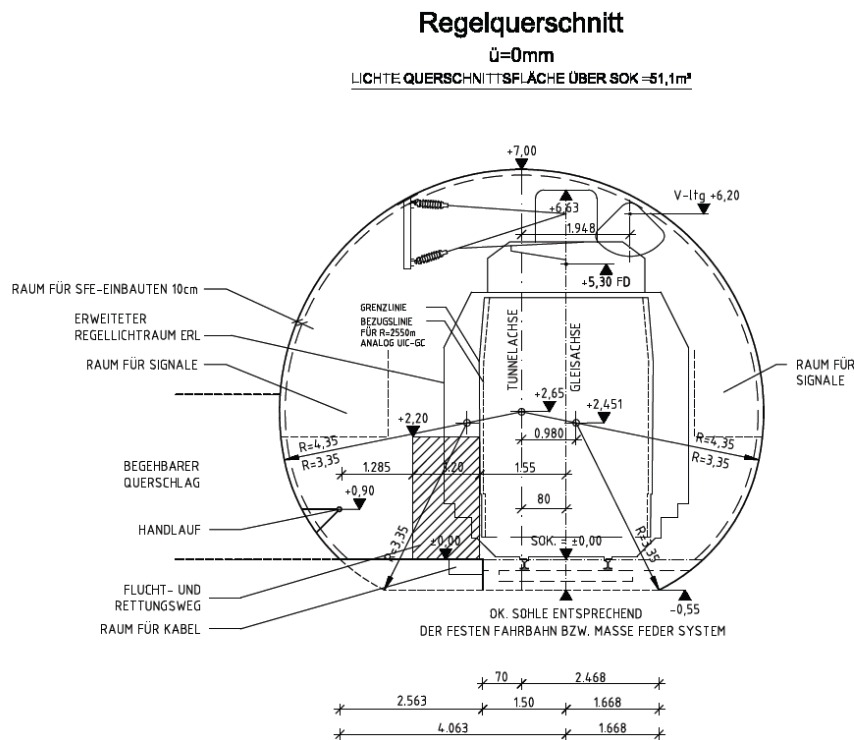


Abbildung 29: Regelquerschnitt kontinuierlicher Vortrieb⁷⁹

Im Vergleich zum zyklischen Vortrieb ist beim kontinuierlichen Vortrieb das kreisrunde Profil im Vortrieb maßgebend. Die lichte Querschnittsfläche über Schienenoberkante (SOK) im ausgebauten Zustand ist nur um 1,60 m² größer als beim zyklischen Vortrieb. Aufgrund des

⁷⁶ Richtlinien für das Entwerfen von Bahnanlagen – Hochleistungsstrecken Anlage 3, S. 14.

⁷⁷ Ebenda.

⁷⁸ Ebenda, S. 15.

⁷⁹ Ebenda, Plan Nr. 511.

Kreisquerschnittes beim kontinuierlichen Vortrieb ergibt sich jedoch ein Mehrausbruch unterhalb der Sohle. Die Größe des Mehrausbruches ist von der Art des Ausbaues abhängig (siehe Abbildung 27). Die Querschnittelemente sind analog den Elementen des Querschnittes des zyklischen Vortriebes.

2.5.3.1.2 Ein zweigleisiger Tunnel

Querschnitt des zyklischen Vortriebes

Für den zweigleisigen Tunnel ergibt sich ein etwas größeres Profil, das in Abbildung 30 dargestellt ist. Rettungsnischen werden außerhalb des Regelprofils hergestellt.

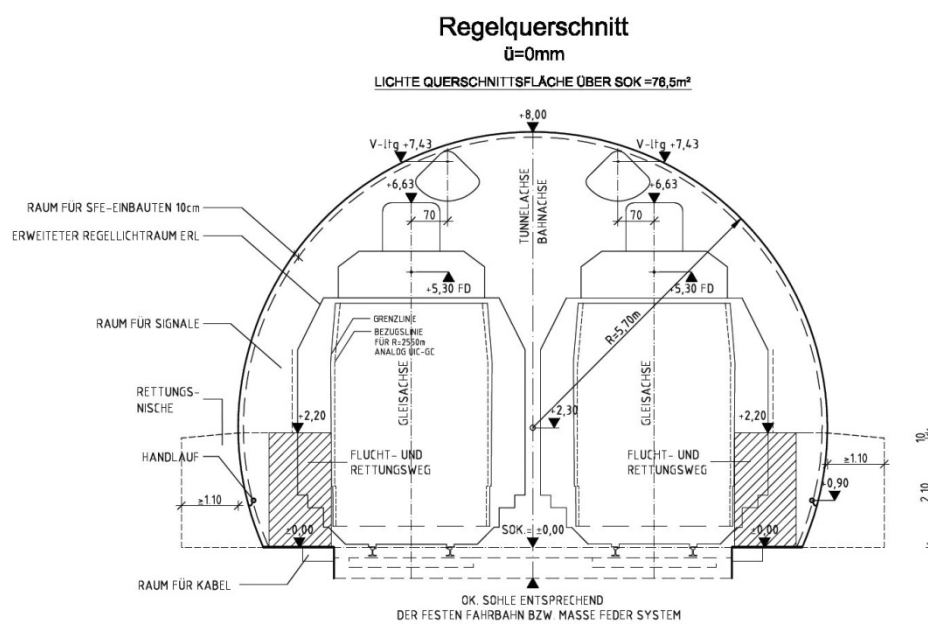


Abbildung 30: Regelquerschnitt Zweigleisiger Tunnel⁸⁰

Querschnitt des kontinuierlichen Vortriebes

Die Unterscheidung erfolgt hier einerseits für die TBM-O und andererseits für die Tunnelbohrmaschinen mit Schild. Bei der offenen Tunnelbohrmaschine kann die Herstellung der Rettungsnischen analog zum zyklischen Vortrieb erfolgen. Daher gilt für diesen Maschinentyp der Regelquerschnitt nach Abbildung 30. Bei der TBM-S und TBM-DS ergibt sich die Größe des zweigleisigen Profils aus der notwendigen Situierung der Rettungsnischen. Die Herstellung der Rettungsnischen bei einem Tübbingausbau ist weit aufwendiger und wird daher vermieden. Zur Minimierung des Tunneldurchmessers können so genannte Kastennischen⁸¹ verwendet werden.

⁸⁰ Richtlinien für das Entwerfen von Bahnanlagen – Hochleistungstrecken Anlage 3, Plan Nr. 500.

⁸¹ Ebenda, S. 25.

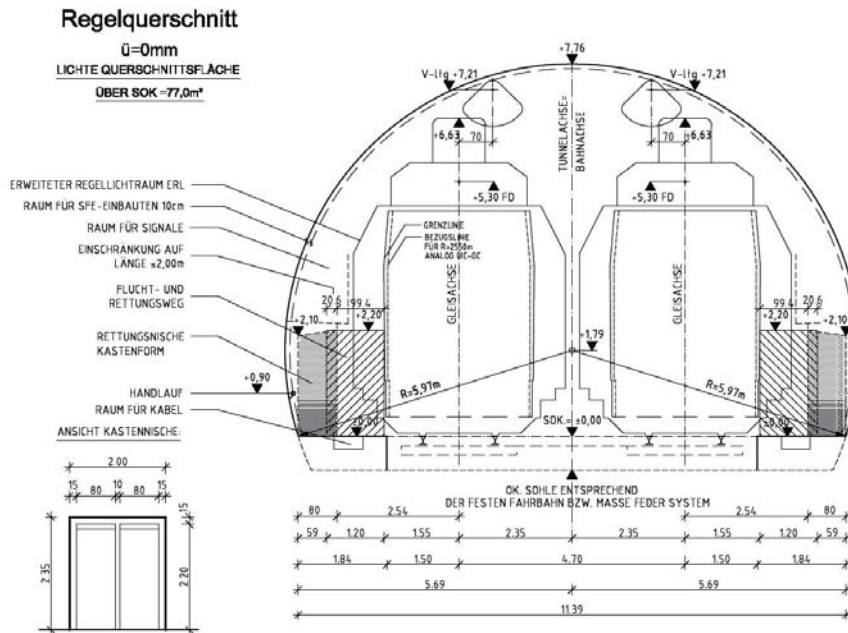


Abbildung 31: Regelquerschnitt zweigleisiger Tunnel mit Kastennischen⁸²

2.5.3.2 Querschnittausbildung für den Straßenverkehr

Einspurige Tunnel kommen im Straßenverkehr aufgrund unzureichender Leistungsfähigkeit, einer ungünstigen Querschnittform und höheren Kosten im Vergleich zum zweisepurigen Tunnel nicht zur Anwendung. Im hochrangigen Straßenverkehr werden Tunnelbauwerke aufgrund der notwendigen Leistungsfähigkeit zweisepurig im Richtungsverkehr geführt. Bei geringeren Verkehrsstärken werden Tunnel im untergeordneten Straßenverkehr als Gegenverkehrstunnel verwendet.

Querschnitt des zyklischen Vortriebes

Ein typischer Tunnelquerschnitt ohne Zwischendecke in Abbildung 32 dargestellt. Dieser Straßentunnel, der im Gegenverkehr geführt wird, ist mit einem mit einem tiefen Sohlgewölbe zur Abtragung von höherem Gebirgsdruck ausgeführt. Das Lichtraumprofil ist in dieser Graphik mit einer strichlierten Linie eingetragen. Der Querschnitt weist einen zweischaligen Ausbau auf. In der Sohle wird ein tiefes Sohlgewölbe aufgrund des Quellpotentials des anstehenden Gebirges ausgeführt. Auf die Außenschale aus Spritzbeton ist eine Regenschirmabdichtung mit seitlicher Ulmendrainage angebracht. Die Innenschale im Gewölbe ist aus Ortbeton.

⁸² Richtlinien für das Entwerfen von Bahnanlagen – Hochleistungsstrecken Anlage 3, Plan Nr. 501.

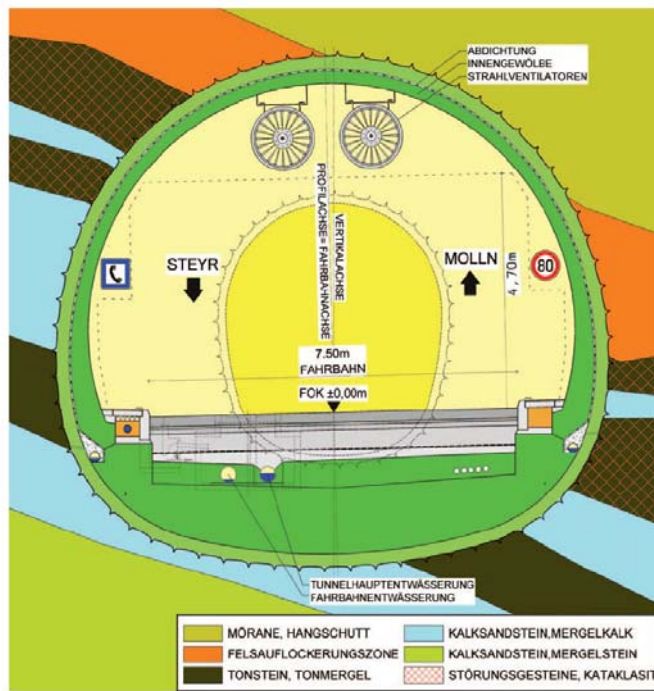


Abbildung 32: Querschnitt Tunnel Grünburg⁸³

Die Querschnittelemente und deren Dimensionierung sind in der RVS 09.01.22⁸⁴ angegeben. Der Querschnitt im Tunnel setzt sich aus folgenden Elementen zusammen (siehe Abbildung 33):

- Tunnelbasis
 - o Fahrbahn
 - Fahrstreifen
 - Fahrbahnebener Seitenstreifen
 - o Erhöhter Seitenstreifen
 - Gehstreifen
 - Sicherheitsstreifen

Eine alternative Einteilung ist nach der Fahrfläche und dem Seitenstreifen möglich:

- o Fahrfläche
 - Fahrstreifen
- o Seitenstreifen
 - Fahrbahnebener Seitenstreifen
 - Erhöhter Seitenstreifen
 - Sicherheitsstreifen
 - Gehstreifen

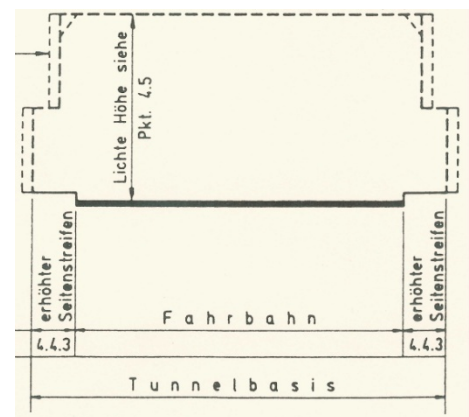


Abbildung 33: Regelquerschnitt Straßentunnel

⁸³ Vgl. Plöderl 2006, S. 37.

⁸⁴ Vgl. Richtlinie für Verkehr und Straße 09.01.22, Blatt 2.

Querschnitt des kontinuierlichen Vortriebes

Die RVS 9.251⁸⁵ zeigt folgende Kriterien beim Einsatz von Tunnelbohrmaschinen für die Wahl des Querschnittes auf:

- Geologie und Hydrologie
- Lüftungssystem
- Nutzung des Raumes unter der Fahrbahn

Unter Beachtung der Randbedingungen des Lüftungssystems und der Nutzung des Raumes unter der Fahrbahn ergeben sich zwei mögliche Querschnittformen für einen zweischaligen Ausbau.

Querschnitt ohne Zwischendecke

Die Abbildung 34 zeigt zwei Möglichkeiten für einen Querschnitt ohne Zwischendecke für Belüftung und Entlüftung mit der Regelquerneigung von 2,5 %. Folgende Elemente bilden die Tragwerksbegrenzung:

- Fahrraum: Die Größe des Fahrraumes: 7,50 m x 4,70 m (siehe Abbildung 34)
- Sicherheitsstreifen
- Gehstreifen
- Lüftungssystem⁸⁶: Die Belüftung erfolgt durch zwei Strahlenventilatoren mit einem Durchmesser von 1200 mm.
- Fluchtweg: Bei einröhrigen Tunneln mit Gegenverkehr können die Rettungs- und Fluchtwege unterhalb der Fahrbahn angeordnet werden.
- Verkehrszeichen⁸⁷: Im freien Raum können Verkehrszeichen mit einem Durchmesser von 670 mm angeordnet werden.
- Versorgungsleitungen⁸⁸: Alle Leitungen der Hoch- und Niederspannung sowie des Meldewesens können nicht unterhalb des erhöhten Seitenstreifens untergebracht werden. Deshalb sind diese Leitungen und zusätzliche Fremdleitungen unterhalb der Fahrbahn in einem Kollektor zusammenzufassen.
- Löschwasserleitung: Die Löschwasserleitung ist unterhalb des erhöhten Seitenstreifens angeordnet (siehe Abbildung 34).

⁸⁵ Richtlinie für Verkehr und Straße 9.251, S. 10.

⁸⁶ Vgl. ebenda, S. 11.

⁸⁷ Vgl. ebenda.

⁸⁸ Vgl. ebenda.

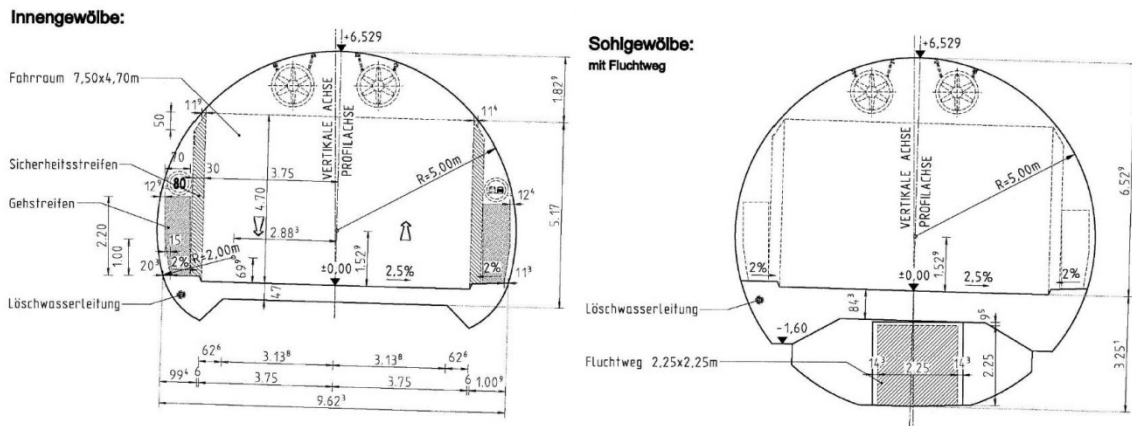


Abbildung 34: Regelquerschnitt ohne Zwischendecke⁸⁹

Querschnitt mit Zwischendecke

Die Abbildung 35 zeigt den Querschnitt mit Zwischendecke mit der Regelquerneigung von 2,5%. Zusätzlich zu den Elementen des Querschnittes ohne Zwischendecke ist ein Luftkanal vorhanden, der durch die Zwischendecke abgetrennt ist. Dieser Luftkanal ist mit einer Höhe von 1,90 m ausgeführt, um die Begehrbarkeit zu gewährleisten. Die Rettungs- und Fluchtweg können bei einröhrigen Tunneln mit Gegenverkehr unter einer notwendigen Vergrößerung des Bohrdurchmessers unterhalb der Fahrbahn angeordnet werden.

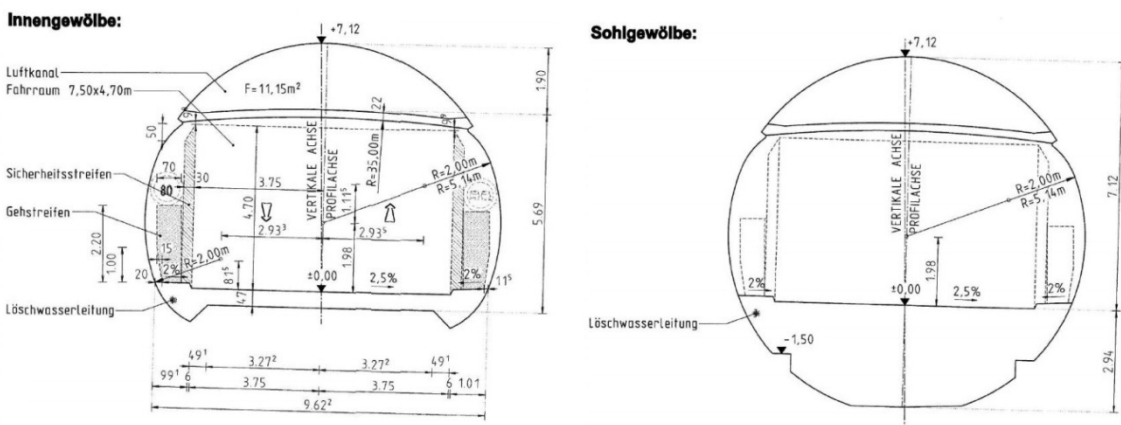


Abbildung 35: Regelquerschnitt mit Zwischendecke⁹⁰

2.6 Tunnelauskleidung

Die Tunnelauskleidung erfolgt entweder ein- oder zweischalig. Die vorübergehende Sicherung (Außenschale) und die endgültige Sicherung (Innenschale) können in verschiedenen Varianten ausgeführt werden.

⁸⁹ Vgl. Richtlinie für Verkehr und Straße 09.251, S. 29.

⁹⁰ Vgl. ebenda, S. 30.

Die Außenschale wird entweder mittels Spritzbeton beim zyklischen Vortrieb und bei offenen Tunnelbohrmaschinen oder mittels Fertigelementen bei Tunnelbohrmaschinen mit Schild hergestellt.

Die Innenschalenherstellung erfolgt in Ortbeton als⁹¹:

- bewehrte Innenschalen mit und ohne Abdichtung.
- unbewehrte Innenschalen mit und ohne Abdichtung.
- wasserundurchlässige Innenschalen (WDI) mit besonderen Anforderungen.

Die Wasserhaltung kann entweder druckwasserhaltend oder drainiert hergestellt werden. Die druckwasserhaltende Ausführung ist nur für Druckhöhen bis maximal 75 m möglich und wird daher für Verkehrstunnel und deren meist größeren Überlagerungen nicht ausgeführt. Bewehrte Innenschalen werden vorwiegend bei druckwasserhaltenden, innerstädtischen Tunnelröhren und im Portalbereich angewendet. Es wird empfohlen, die druckwasserhaltende Innenschalenvariante als wasserundurchlässige Innenschale auszuführen.

In der Abbildung 36 ist der Unterschied zwischen ein- und zweischaligem Ausbau mit Spritzbeton als vorübergehende Sicherung dargestellt. Der Spritzbeton im Trocken- oder Nassspritzverfahren wird mittels Druckluft auf die unregelmäßige Laibung der Felsoberfläche aufgespritzt. Es können Unregelmäßigkeiten durch eine variable Stärke ausgeglichen werden und der direkte Kontakt ermöglicht gleichzeitig eine Schubspannungsübertragung und vermeidet Hohlräume die zu einer Gebirgsauflockerung führen.

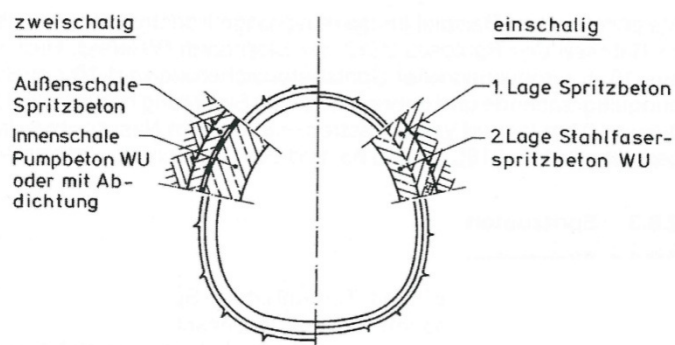


Abbildung 36: Gegenüberstellung des ein- und zweischaligen Ausbaues⁹²

Bei Tunnelbohrmaschinen mit Schild kommen Tübbinge zur vorübergehenden Sicherung zur Anwendung. Tübbinge sind Fertigelemente gefertigt aus Stahl, Stahlguss, Gusseisen oder Stahlbeton. Die Vorteile von Tübbingern bestehen in der sofort vorhandenen Tragfähigkeit

⁹¹ Vgl. Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik 2003, S. 1.

⁹² Vgl. Maidl 2004, S. 59.

nach dem Ringbau (Ringschluss), der Geometrietreue und der leichten Qualitätskontrolle aufgrund der Serienfertigung in einem Produktionswerk.

Tübbinge werden je nach Projekt und dessen Anforderungen in verschiedenen Profilformen verwendet. Formen reichen von ausgesteiften Blechen bei Stahltübbingen (siehe Abbildung 37), über Wellen-, Kasten- oder Kammprofile bei Gusseisentübbingen (siehe Abbildung 39) bis hin zu Block-, Kassetten-, Wendel-, Hexagonal-, rhomboiden bzw. trapezoiden oder Spreitzübbingen bei Stahlbetontübbingen (siehe Abbildung 38).

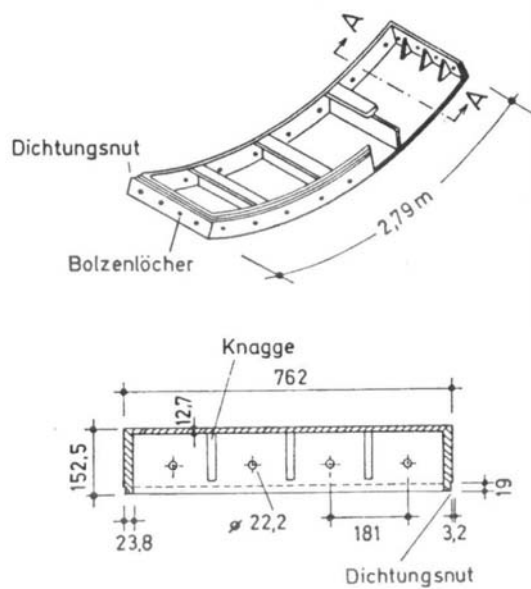


Abbildung 37: Stahltübbing⁹³

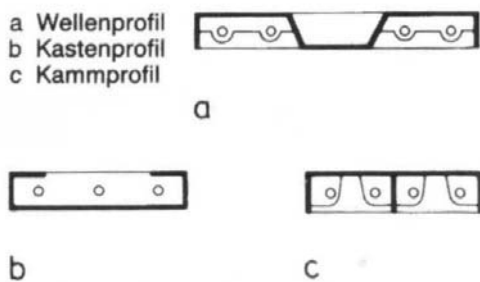


Abbildung 39: Gusseisentübbinge⁹⁵

	Einzeltübbing	Konstruktion der Rohre
Blocktübbing		
Kassettentübbing		
Wendeltübbing		
Hexagonaltübbing		
Rhomboider bzw. trapezoider Tübbing		
Spreitzübbing		

Abbildung 38: Stahlbetontübbinge⁹⁴

Ein Tübbingring besteht in der Regel aus fünf bis zwölf Einzelsegmenten. Bei der Auskleidung mit Tübbingen entsteht zwischen Gebirge und Tübbingring ein Hohlraum, der so genannte Ringspalt. Dieser Ringspalt wird entweder mit Pasten, Mörtel, Kies, Suspension,

⁹³ Maidl 2004, S. 126.

⁹⁴ Ebenda, S. 130.

⁹⁵ Ebenda, S. 128.

Schaum oder Kombinationen dieser Verpressgüter satt aufgefüllt, um eine allseitig gleichmäßige Bettung des Ringes zu erzielen.

Aus Kostengründen hat sich die Anwendung von Stahlbetontübbingungen durchgesetzt. Je nach Projekt ergeben sich aufgrund des Durchmessers der Tunnelröhre, der Dicke der Tübbinge und der Teilung des Tübbingringes abgeänderte Formen.

Richtungsänderungen (Kurvenfahrten) der Tunnelachse können entweder mit dem konventionellen Tübbingssystem oder dem Einheitsringssystem hergestellt werden (siehe Abbildung 40). Das konventionelle Tübbingssystem arbeitet mit zwei verschiedenen geometrischen Formen von Tübbingringen (paralleler und konischer Ring), die entsprechend den Erfordernissen eingebaut werden. Beim Einheitsringssystem kommt nur ein Ringtyp (Einheitsring) zur Anwendung, der je nach der Verdrehung die gewünschte Richtungsänderung ermöglicht.

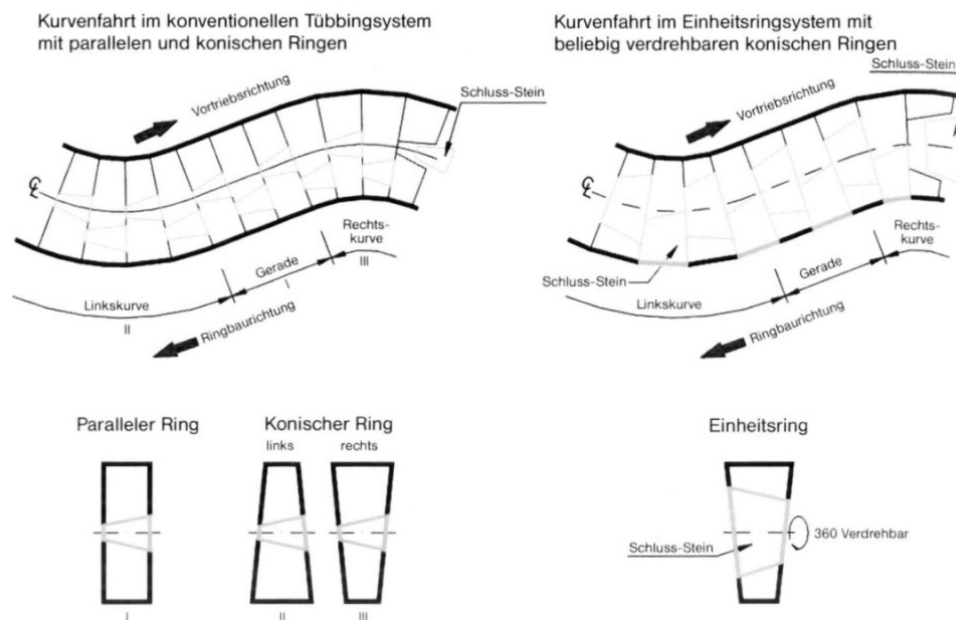


Abbildung 40: Prinzipdarstellung Kurvenfahrt⁹⁶

2.6.1 Zweischalige Systeme

2.6.1.1 Spritzbetonauskleidung

In der Abbildung 41 sind die Möglichkeiten für die Ausbauvariante mit Spritzbeton als vorübergehende Sicherung dargestellt. Die temporäre Tragwirkung übernehmen je nach Erfordernis der Spritzbeton, das Baustahlgitter, der Stahlausbau oder der Anker. Die Lebensdauer

⁹⁶ Jodl 2005, S. 106.

er der Außenschale wird als kurz angesehen und dadurch in den Standsicherheitsberechnungen nicht berücksichtigt.

Die dauerhafte Tragfunktion wird nur durch die Innenschale sichergestellt. Die Funktion der Abdichtung kann entweder druckwasserhaltend oder mittels Drainierung ausgeführt werden. Die Außen- und Innenschale sind im Falle des Einsatzes von wasserundurchlässigem Beton bei der Innenschale entweder durch eine Abdichtung oder durch eine Trennfolie zu trennen. Dadurch wird eine Verzahnung der beiden Schalen verhindert.

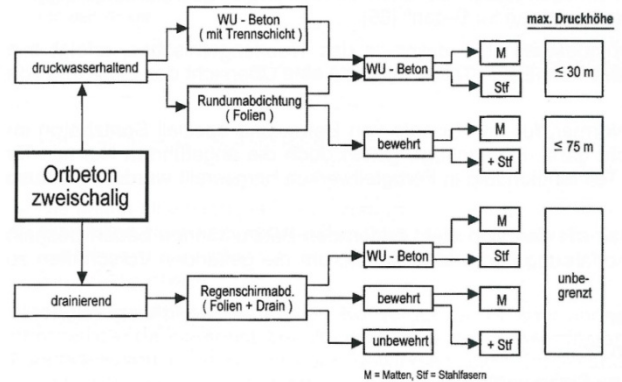


Abbildung 41: Zweischaliger Ausbau⁹⁷

2.6.1.2 Tübbingauskleidung

Wie bei der Ausführung mittels Spritzbeton wird die Außenschale (Tübbingring) nur als temporäre Sicherung betrachtet. Der Tübbingring wird bei Tunnelbohrmaschinen zur Übertragung der Kräfte für den Vorschub der TBM verwendet. Die Möglichkeiten des Ausbaues gelten analog zur Spritzbetonauskleidung nach 2.6.1.1. Die Abbildung 42 zeigt eine mögliche Variante der Tübbingauskleidung zweischaliger Ausbauten.

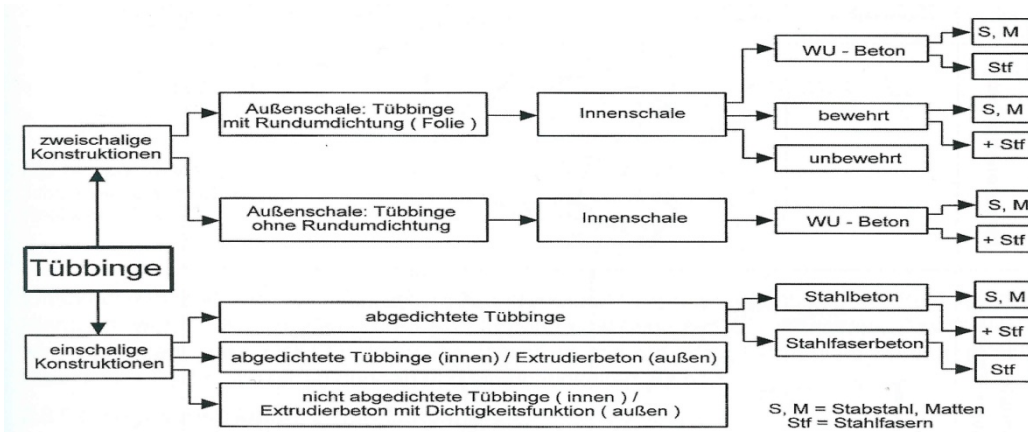


Abbildung 42: Variante für einen zweischaligen Ausbau – Tübbingauskleidung⁹⁸

⁹⁷ Maidl 2004, S. 58.

⁹⁸ Ebenda, S. 129.

2.6.2 Einschalige Systeme

Grundsätzlich ist zu unterscheiden, ob die Sicherung nur mit Spritzbeton oder Spritzbeton kombiniert mit einer Innenschale aus Ortbeton hergestellt wird oder die Auskleidung mit Tübbing erfolgt.

2.6.2.1 Spritzbetonauskleidung

Beim einschaligen Ausbau wird die Außenschale für die Standsicherheit und Dauerhaftigkeit herangezogen. Die Tragfunktion übernehmen die erste Lage Spritzbeton, Baustahlmatten, der Stahlausbau und Anker je nach Erfordernis. Die Innenschale besteht entweder aus einer zweiten Lage Spritzbeton oder aus Ortbeton und sorgt für die Einhaltung der Gebrauchstauglichkeit (Abdichtung vor Wasserzutritt, Brandschutz). Die Außen- und Innenschale sind aber im Gegensatz zum zweischaligen Ausbau in Verbund hergestellt. In Abbildung 43 sind die Möglichkeiten des einschaligen Ausbaues dargestellt.

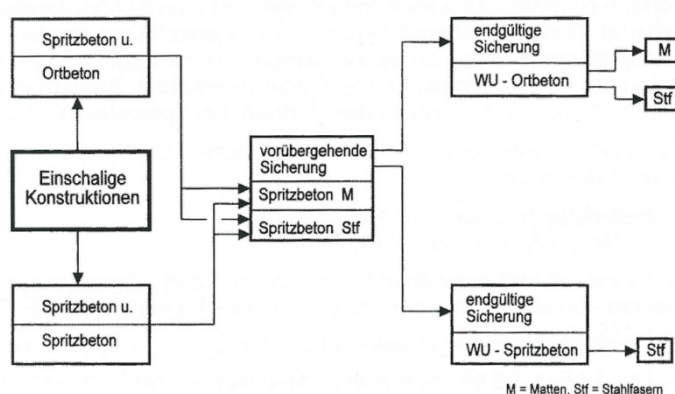


Abbildung 43: Varianten für einen einschaligen Ausbau⁹⁹

2.6.2.2 Tübbingauskleidung

Bei einem einschaligen Ausbau mit Tübbing, wie es bei Schildmaschinen üblich ist, werden die Anforderungen an Tragfähigkeit, Dichtheit gegen Wasserzutritt und Brandschutz von der Tübbingauskleidung zur Gänze erfüllt. Zur Erreichung der Dichtheit werden die Fugen der Tübbingauskleidung mit Dichtungen versehen. Verschraubungen der Tübbing erfolgen außer in besonderen Bereichen, wie in Portal- oder Querschlagsbereichen, nur temporär, um die Dichtprofile gegeneinander zu komprimieren und damit abzudichten.

⁹⁹ Maidl 2004, S. 59.

2.7 Anlaufzeit und Einarbeitung

Im Vergleich zur stationären Fertigung von Waren sind im Allgemeinen Einarbeitungseffekte im Baubetrieb schwieriger zu untersuchen, da jedes Projekt eine Einzelproduktion ist. Eine Ausnahme im Bauwesen ist jedoch im Tunnelbau zu beobachten. Hierbei kommt es häufig zu einer Leistungssteigerung mit zunehmender Vortriebsdauer, da sich dieselben Arbeitsabläufe ständig wiederholen. Beim zyklischen Vortrieb ist der Einarbeitungseffekt meist von geringerer Bedeutung als beim kontinuierlichen Vortrieb.

2.7.1.1 Allgemeines

Die Anlaufzeit ist geprägt von einem Prozess des Lernens.

Lernen: „Durch Erfahrung entstandene Verhaltensänderungen und –möglichkeiten, die Organismen befähigen, aufgrund früherer und weiterer Erfahrungen situationsangemessen zu reagieren. ...“¹⁰⁰

2.7.1.2 Zyklischer Vortrieb

Über die Einarbeitung im zyklischen Vortrieb gibt es nur wenige Untersuchungen. Platz¹⁰¹ beschreibt die Einarbeitung im konventionellen Tunnelbau mit einer Lernkurve, die von der Anzahl der Wiederholungen abhängt.

Diese Lernkurve wird durch folgende Formel¹⁰² beschrieben:

$$A(n) = \tau + (1 - \tau) * e^{-c*n}$$

mit

A(n) ... Lernkurve in Abhängigkeit der Anzahl der Wiederholungen (Dieser Wert beschreibt die Abschlagsleistung).

τ ... Quotient aus dem Anfangswert A(0) und dem Endwert A(∞) ($1,50 \leq \tau \leq 2,50$)

c ... Konstante: beschreibt die Lernfähigkeit des Arbeitssystems ($0,01 \leq c \leq 0,10$)

n ... Anzahl der Wiederholungen

Die gewählten Lernkurven sind in Abbildung 44 dargestellt. Dabei werden zwei Lernkurven zur Beschreibung der Ober- und Untergrenze der Vortriebsverläufe angenommen, da die Vorhersage einer Lernkurve nicht eindeutig möglich ist. Deshalb werden für die Bestimmung der Ober- und Untergrenze die Wertepaare ($\tau = 1,5$ und $c = 0,01$ bzw. $\tau = 2,5$ und $c = 0,1$; siehe Abbildung 44) betrachtet.

¹⁰⁰ F.A. Brockhaus 2005, Band 2 S. 519.

¹⁰¹ Vgl. Wachter 2003, S. 122.

¹⁰² Vgl. ebenda.

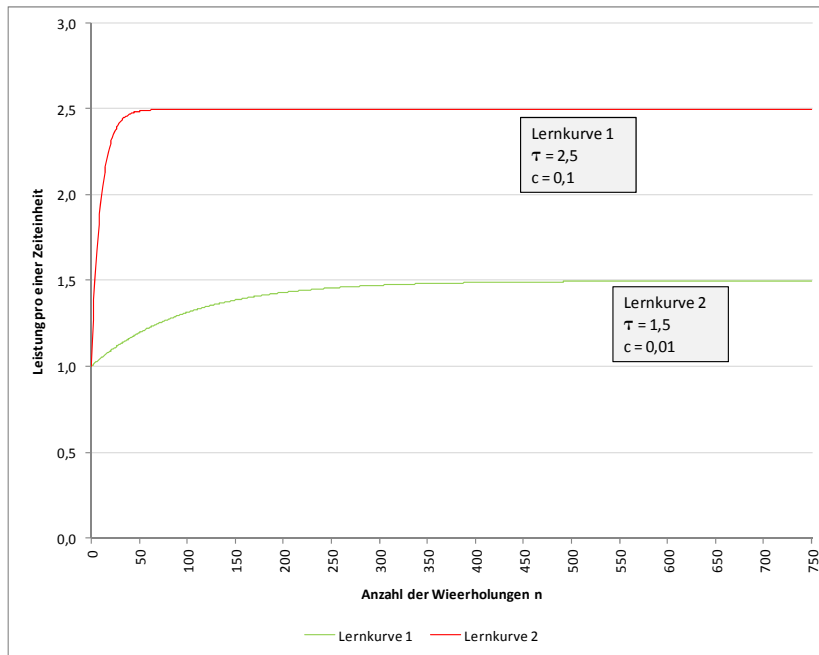


Abbildung 44: Formen der gewählten Lernkurven (zyklischer Vortrieb)

Diese Lernkurven werden an den Leistungen der ursprünglichen Projekte geeicht.

Durchführung der Kalibrierung:

Aus dem Kehrwert der Leistung der Lernkurve wird der Aufwand gebildet:

$$A(n) \rightarrow \frac{1}{A(n)}$$

Die Summe über diese Aufwandswerte ergibt die Vortriebsleistung nach einer Anzahl von n Abschlügen.

$$\sum_{n=0}^i \frac{1}{A(n)}$$

Aus der Tunnellänge und der abgeschätzten durchschnittlichen Abschlagslänge, errechnet sich die Gesamtanzahl der notwendigen Abschlüge (i). Dabei wird die Anzahl n der Abschlüge über die Vortriebsleistung abgeschätzt.

Die Auswertungen der Summen für die beiden Lernkurven über die Gesamtanzahl der Abschlüge ergeben die Aufwandswerte (AW über alle Abschlüge).

$$\sum_{n=0}^i \frac{1}{A(n)} = \sum_{n=0}^i \left(\frac{1}{\tau + (1 - \tau) \times e^{-c \times n}} \right) = AW$$

Die kalkulierte Vortriebsdauer (VD) der ursprünglichen Projekte errechnet sich aus der Vortriebslänge in Metern dividiert durch die Vortriebsleistung in Metern pro Arbeitstag umgelegt auf Stunden (durch Multiplikation mit 24):

$$VD [h] = \frac{\text{Vortriebslänge [m]} \times 24 \left[\frac{h}{AT} \right]}{\text{Vortriebsleistung} \left[\frac{m}{AT} \right]}$$

Die Eichung erfolgt über einen Faktor (f), der aus der Summe der Aufwandswerte und der kalkulierten Vortriebsdauer gebildet wird:

$$f = \frac{AW}{VD}$$

Dieser erhaltene Faktor wird nun in die Formel über die Summe der Aufwandswerte eingebettet und im Zuge dessen auf Arbeitstage umgelegt:

$$\sum_{n=0}^i \frac{1}{A(n) \times f \times 24} = \sum_{n=0}^i \left(\frac{1}{(\tau + (1 - \tau) \times e^{-c \times n}) \times f \times 24} \right)$$

Mit der Hilfe dieser Formel wird die Vortriebsdauer von anderen Vortriebslängen mit den jeweiligen Parametern (τ und c) ermittelt.

2.7.1.3 Kontinuierlicher Vortrieb

Beim kontinuierlichen Vortrieb ist der Einfluss der Einarbeitungsphase meistens größer als beim zyklischen Vortrieb.

Wachter (2000, S. 131) nennt folgende Faktoren, die das Lernen beeinflussen:

- Mensch
 - o Personal des Vortriebes
 - Erfahrung
 - Motivation
 - o Baustellenorganisation
 - Art (ARGE, etc.)
 - Größe
 - o Kommunikation
 - Ein- oder mehrsprachig
- Maschine
 - o Vortriebstechnik
 - Offene TBM
 - Einfach-Schild
 - Doppel-Schild
 - o Einsatz des Systems
 - Ersteinsatz

- Mehrfacheinsatz
- Durchmesseradaptierung
- Ausbausystem
 - Spritzbetonauskleidung
 - Tübbingausbau einfach
 - Tübbingausbau
- Gebirge
 - Gebirgsart
 - Homogenbereiche (Vortriebsklassenwechsel)

Da das Lernen aber nicht direkt feststellbar ist, sind Messgrößen notwendig¹⁰³:

- Einsatzmengen bezogen auf gefertigte Einheiten
- Hergestellte Einheiten bei gleicher Einsatzmenge
- Kostengrößen

Die im Tunnelbau erreichte Leistung wird üblicherweise als Vortriebsleistung in Meter pro Arbeitstag (m/AT) angegeben.

Die Berechnung erfolgt nach folgenden Formeln¹⁰⁴:

$$L(t) = a - b \times e^{-c \times t}$$

$$S(t) = a \times t + b' \times e^{-c \times t} - b'$$

L(t) ... Tagesleistung

S(t) ... Summenlinie

a ... Dauerleistung (Grenzwert)

b ... Größe der Einarbeitungsverluste (in dieser Arbeit mit $0,8 \times a$ angenommen)

c ... Faktor der Lernfähigkeit (angenommen zwischen 0,01 und 0,04)

$$b' = \frac{b}{c}$$

b' ... aus der Randbedingung $S(0) = 0$

t ... Tage

Für die Bestimmung der Ober- und Untergrenze wird der Faktor c gewählt. Die Wahl erfolgt in Anlehnung an Untersuchungen von *Wachter*¹⁰⁵ (c = 0,04 bzw. 0,01). Diese Werte wurden aus Untersuchungen der Vortriebsleistungen von Tunnelbohrmaschinen mit Doppelschild

¹⁰³ Vgl. Wachter 2000, S. 132.

¹⁰⁴ Vgl. ebenda, S. 133.

¹⁰⁵ Vgl. Wachter 2003, S. 248.

ermittelt. Da keine Untersuchungen für Tunnelbohrmaschinen mit Einfachschild vorliegen, der Arbeitsablauf (Ringbau, Verfüllung des Ringspaltes, Logistik) aber sehr ähnlich ist, werden diese Werte für den Faktor c übernommen. Der Einfluss des Beiwertes c auf die Form der Lernkurve ist in Abbildung 45 dargestellt. Die Bestimmung der Untergrenze und der Obergrenze kann nicht für alle untersuchten Projektlängen einem Faktor c zugeordnet werden. Bei kürzeren Vortriebslängen ist der Faktor c mit einem Wert von 0,04 für die Bestimmung der Untergrenze maßgebend. Bei Untersuchungen von längeren Vortrieben bestimmt dieser Wert die Obergrenze. Dieses Verhalten ist begründet durch die längere Einarbeitungsdauer zu Beginn in Zusammenhang mit der Eichung bei einer bestimmten Projektlänge. Aufgrund der längeren Einarbeitung ist der Wert a (Grenzwert der Lernkurve) bei einem Wert c von 0,04 höher als der Wert a bei einem Wert c von 0,01.

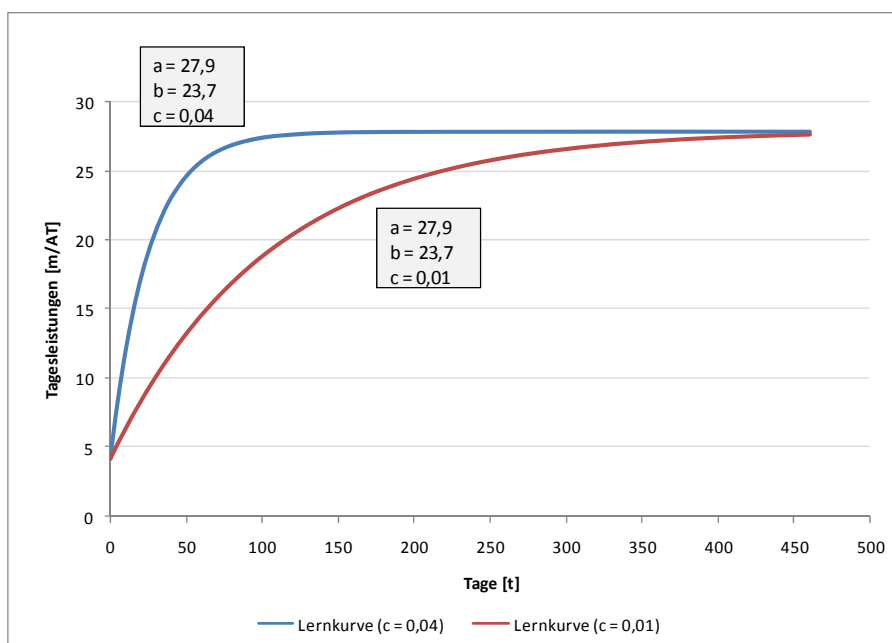


Abbildung 45: Formen der Lernkurven (kontinuierlicher Vortrieb)

Der Wert b wird in dieser Arbeit mit 80 % von Wert a angenommen, da die Eichung von zwei Werten nicht möglich ist.

Die Summenformel $S(t)$ wird an der ursprünglichen Leistung (Tunnelmeter pro Arbeitstag) kalibriert. Dazu wird die Vortriebsdauer aus der Vortriebslänge und der durchschnittlichen Vortriebsleistung bestimmt:

$$VD [AT] = \frac{\text{Vortriebslänge [m]}}{\text{Vortriebsleistung } \left[\frac{\text{m}}{\text{AT}}\right]}$$

Über die Zielwertsuche in Microsoft Excel wird danach der Wert a (und damit auch $b (= 0,8 \times a)$) über die Summenformel $S(t)$ solange variiert, bis die Summe gleich der Vortriebslänge des Projektes ist.

Mit den erhaltenen Werten a und damit auch b können die gewünschten Vortriebszeiten der untersuchten Tunnellängen über die Summenformel ermittelt werden. Dazu wird mittels einer Zielwertsuche in Microsoft Excel die Vortriebsdauer solange variiert, bis die Vortriebslänge mit dem gewünschten Wert übereinstimmt.

2.8 Statistische Grundlagen

Es werden nun die verwendeten Begriffe und Formeln erläutert. Die Berechnungen werden mit Microsoft Excel durchgeführt.

Es stehen für diese Arbeit nicht die gesamten Daten (Grundgesamtheit) aller relevanten Tunnelprojekte zur Verfügung, sondern nur eine repräsentative Auswahl (Stichproben).

Grundbegriffe:

- Grundgesamtheit: „Die Gesamtheit aller möglichen Daten bestimmter Objekte, wie etwa Eigenschaften einer Gruppe von Personen oder Dingen (z.B. Größe und Gewicht von Studenten einer Universität (...)) oder die Gesamtheit aller Messwerte wiederholt ausgeführter Messungen bezüglich eines bestimmten Objektes, ...“¹⁰⁶
- Stichprobe¹⁰⁷: Die Stichprobe ist eine Teilmenge der Grundgesamtheit. Ist die Untersuchung der ganzen Grundgesamtheit aus wirtschaftlichen oder prinzipiellen Gründen nicht möglich, so wird die Stichprobe als Teilmenge der Grundgesamtheit herangezogen.

2.8.1 Mittelwerte

Es gibt vier verschiedene Arten von Mittelwerten in der Statistik:

- Arithmetisches Mittel
- Geometrisches Mittel
- Modalwert
- Zentralwert

2.8.1.1 Arithmetisches Mittel

Die verschiedenen Merkmalswerte werden aufsummiert und durch die Anzahl der Merkmalswerte dividiert.

Für das ungewogene arithmetische Mittel gilt:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Formel 1: Ungewogenes arithmetisches Mittel¹⁰⁸

¹⁰⁶ Benning 2001, S. 33.

¹⁰⁷ Vgl. ebenda, S. 34.

¹⁰⁸ Bosch 2005, S. 13.

Die Berechnung des gewogenen arithmetischen Mittels ergibt sich folgendermaßen:

Kommen die verschiedenen Merkmalwerte $(x_1^*, x_2^*, \dots, x_N^*)$ einer Stichprobe mit den Häufigkeiten (h_1, h_2, \dots, h_N) vor, so ergibt sich folgende Möglichkeit der Berechnung des Mittelwertes:

$$\bar{x} = \frac{h_1 \times x_1 + h_2 \times x_2 + \dots + h_N \times x_N}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i \times x_i$$

Formel 2: Gewogenes arithmetisches Mittel¹⁰⁹

2.8.1.2 Geometrisches Mittel

Das geometrische Mittel ist ein Rechenwert, der in Fällen angewendet wird, bei denen das Produkt aussagekräftiger als die Summe ist, wie es bei Wachstumsraten oder Verhältnissen vorkommt.

Die Berechnung erfolgt über die n-te Wurzel aus dem Produkt der Merkmalswerte.

$$\bar{x}_G = \sqrt[n]{x_1 \times x_2 \times \dots \times x_n}$$

Formel 3: Geometrisches Mittel¹¹⁰

Die Berechnung erfolgt meist logarithmisch (siehe Formel 4).

$$\bar{x}_G = \sqrt[n]{x_1 \times x_2 \times \dots \times x_n} = \frac{1}{n} \sum \lg x$$

Formel 4: Geometrisches Mittel¹¹¹

2.8.1.3 Modalwert¹¹²

Der am häufigsten vorkommende Wert einer Stichprobe wird Modalwert genannt. Der Modalwert wird nicht durch eine Rechnung, sondern über die Häufigkeitsverteilung bestimmt. Die Werte werden nach der Größe sortiert. Daraus ist ersichtlich, welcher der am häufigsten vorkommende Wert ist.

2.8.1.4 Zentralwert¹¹³

Der Zentralwert, oder auch Median, ist jener Merkmalswert, der bei der Reihe nach sortierten Merkmalswerten in der Mitte liegt. Dieser Wert wird wiederum nicht durch eine Berechnung eruiert, sondern durch die Sortierung der Merkmalswerte der Größe nach. Der in der Mitte stehende Wert bildet den Zentralwert. Ist eine gerade Anzahl von Merkmalswerten vorhan-

¹⁰⁹ Bosch 2005, S. 13.

¹¹⁰ Sachs 1993, S. 25.

¹¹¹ Ebenda.

¹¹² Bosch 2005, S. 20.

¹¹³ Ebenda S. 18.

den, so wird das arithmetische Mittel der beiden mittleren Werte herangezogen, um den Zentralwert zu bestimmen.

In dieser Arbeit wird für die Auswertung ausschließlich das arithmetische Mittel verwendet.

2.8.2 Streuungsmaße

Mittelwerte liefern zwar eine Aussage über die Lage auf einer reellen Achse, geben aber keine Aussage über die Abstände der Merkmalswerte vom Mittelwert an. Deshalb ist es sinnvoll einen zusätzlichen Wert in Ergänzung zum Mittelwert anzugeben.

2.8.2.1 Spannweite (Range)

Die Spannweite gibt den Abstand vom größten zum kleinsten Merkmalswert an.

$$R = \max_i x_i - \min_i x_i$$

Formel 5: Spannweite¹¹⁴

2.8.2.2 Mittlere lineare Abweichung

Bei der Bestimmung der mittleren linearen Abweichung wird das arithmetische Mittel aus den Absolutbeträgen der Differenzen aller Merkmalswerte zu deren arithmetischem Mittel bestimmt.

$$d_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|$$

Formel 6: Mittlere lineare Abweichung¹¹⁵

2.8.2.3 Standardabweichung

Die Standardabweichung ist wohl das wichtigste Streuungsmaß. Es wird hierbei aber nicht das arithmetische Mittel aus den Absolutsummen gebildet, sondern aus den quadrierten Abweichungen. Das Quadrat der Abweichungen wird gebildet, um zu verhindern, dass sich die positiven und negativen Abweichungen aufheben. Aus diesem arithmetischem Mittel wird noch die Wurzel gezogen, um die Standardabweichung zu erhalten.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Formel 7: Standardabweichung¹¹⁶

¹¹⁴ Bosch 2005, S. 20.

¹¹⁵ Ebenda, S. 21.

¹¹⁶ Ebenda, S. 26.

Bildet man das Quadrat der Standardabweichung, so erhält man ein weiteres Streuungsmaß. Dieses wird als Varianz bezeichnet.

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Formel 8: Varianz¹¹⁷

2.8.3 Regressionsrechnung

2.8.3.1 Lineare Regression¹¹⁸

Die Abhängigkeit des Wertes y von der Einflussgröße x ist beschrieben durch die Geradengleichung $f(x) = a + b \times x$. Dieses lineare Steigungsverhältnis wird auch als lineare Regression bezeichnet. Das Maß der Steigung wird über den Faktor b angegeben. Der Wert a gibt den Abstand von der Achse bei $x = 0$ an.

Die Bestimmung der Koeffizienten a und b muss dermaßen erfolgen, dass die Abweichung der Werte von der Geraden bestmöglich beschrieben wird.

2.8.3.2 Nichtlineare Regression¹¹⁹

Oftmals ist kein linearer Zusammenhang zwischen den Werten vorhanden. Dadurch liefern lineare Regressionslinien keine hinreichend genauen Ergebnisse mehr. Deshalb werden nichtlineare Funktionstypen (polynomische, exponentielle, potentielle und logarithmische Regression) verwendet.

Die Regressionsparabel wird anhand folgender Funktion bestimmt: $f(x) = a + b \times x + c \times x^2$

Bei der Bestimmung der Einsatzgrenzen wird die polynomische Regression verwendet.

Die Ausgangsgleichung für die potentielle Regression lautet: $f(x) = a \times x^b$

Diese Regression wird bei der Abschätzung der Stützmittelkosten beim kontinuierlichen Vortrieb verwendet.

Die Auswertungen für diese Arbeit erfolgen im Programm Microsoft Excel und SigmaPlot 9.0. In diesem Programm kann nach der Herstellung eines Diagramms eine Regression über die Funktion Trendlinie hinzugefügt werden. Zusätzlich kann noch die Gleichung im Diagramm integriert werden.

¹¹⁷ Bosch 2005, S. 27.

¹¹⁸ Vgl. Ebenda, S. 161.

¹¹⁹ Vgl. Herz 1992, S. 219.

2.8.3.3 Korrelationskoeffizient

Der Korrelationskoeffizient r ist ein Maß für den linearen Zusammenhang zwischen den Werten x und y . Die Bestimmung erfolgt über folgende Formel:

$$r = \frac{\sum x \times y - \frac{1}{n} \times (\sum x) \times (\sum y)}{\sqrt{\left[\sum x^2 - \frac{1}{n} (\sum x)^2\right] \times \left[\sum y^2 - \frac{1}{n} (\sum y)^2\right]}}$$

Formel 9: Korrelationskoeffizient¹²⁰

Dieser Wert r liegt zwischen -1 und 1.

- Wert 1: Maximal starker gleichgerichteter Zusammenhang (d.h. steigt x , so steigt auch y)
- Wert -1: Maximal starker gegenläufiger Zusammenhang (d.h. steigt x , so fällt y)
- Wert 0: Kein statistischer Zusammenhang zwischen x und y

Das Quadrat des Korrelationskoeffizienten ergibt das Bestimmtheitsmaß R^2 . Dieses Maß kann nach der Erstellung der Trendlinie zusammen mit der Gleichung im Diagramm angezeigt werden. Der Wert R^2 gibt an, wie viele Werte mit der ausgewiesenen Gleichung erklärt werden können.

Aussagekraft des Bestimmtheitsmaßes:

- $R^2 < 50\%$: schlechter Zusammenhang
- $R^2 = 70\%$: guter Zusammenhang
- $R^2 = 80\%$: sehr guter Zusammenhang
- $R^2 = 90\%$: hervorragender Zusammenhang

¹²⁰ Sachs 1993, S. 119.

3 Fragebogen

Für die ausgewählten Projekte werden relevante Daten durch Interviews unter Verwendung von einem Fragebogen für den zyklischen und einem Fragebogen für den kontinuierlichen Vortrieb gesammelt. Die behandelten Punkte der beiden Fragebögen weisen die gleichen Hauptgruppen auf. Bei manchen Untergruppen gibt es, bedingt durch die unterschiedliche Vortriebsart, Abweichungen.

In den Fragebögen werden folgende Hauptgruppen betrachtet:

- Allgemeine Projektdaten
- Geologie
- Vortrieb
- Personal
- Leistung
- Kosten

Im Folgenden werden die in den Fragebögen gestellten Fragen angeführt und erläutert.

3.1 Allgemeine Projektdaten

- Projekt: Name des Projektes und die Variante (zyklisch oder kontinuierlich)
- Verwendung: Nutzung für den Straßen- oder Eisenbahnverkehr
- Bauzeit: Gesamtbauzeit des Projektes
- Vortriebszeit: Vortriebszeit ohne Herstellung der Innenschale
- Auftraggeber

3.2 Geologie

Im Punkt Geologie des Fragebogens wird nach dem Vorkommen und der auftretenden Länge der einzelnen Gebirgsverhaltenstypen gefragt.

3.3 Vortrieb

- Anzahl der Vortriebe: Erfassung der Anzahl der Angriffe
- Gesamtvortriebslänge
- Querschnittfläche: Gesamtfläche der Ortsbrust
- Querschnittumfang: Umfang des zu sichernden Querschnittes
- Anzahl der Röhren: Anzahl der Tunnelröhren der Vortriebe

Vortriebsart

Die Erfassung der Vortriebsart ist für den zyklischen und kontinuierlichen Vortrieb unterschiedlich. Für den Fall des kontinuierlichen Vortriebes wird zwischen offener Tunnelbohrmaschine, Tunnelbohrmaschine mit Einfachschild und Tunnelbohrmaschine mit Doppelschild unterschieden. Beim zyklischen Vortrieb erfolgt die Unterscheidung nach Baggervortrieb, Sprengvortrieb und Teilschnittmaschine. Beim zyklischen Vortrieb sind Mehrfachnennungen möglich.

Für den zyklischen und für den kontinuierlichen Vortrieb ergeben sich in dieser Hauptgruppe unterschiedliche Fragen.

Stützmittel

Zyklischer Vortrieb

Die Sicherung wird beim zyklischen Vortrieb nach den verwendeten Stützmitteln erfasst:

- Spritzbeton
- Baustahlgitter
- Bogen
- Anker
- Spieße

Kontinuierlicher Vortrieb

Die Sicherung des kontinuierlichen Vortriebes unterscheidet lediglich zwischen der Anwendung einer Tübbingauskleidung oder einer konventionellen Sicherung wie beim zyklischen Vortrieb.

Schutterung

Die Abfrage der Art der Schutterung erfolgt nach folgenden Kategorien sowohl für den zyklischen als auch für den kontinuierlichen Vortrieb:

- Bandförderung
- Pneubetrieb
- Gleisbetrieb

Zusatzangriff

Ist ein Zusatzangriff vorhanden, so werden ergänzende Informationen zur Ausbruchsfläche, zum Umfang und zur Länge mit einer ergänzenden Fragestellung erhoben.

3.4 Personal

Die Erfassung des Personals erfolgt nach den verschiedenen Arbeitsbereichen:

- Hauptvortrieb
- Zusatzangriff beim zyklischen Vortrieb bzw. Vor- und Nacharbeiten beim kontinuierlichen Vortrieb

Zusätzlich erfolgt eine Aufgliederung der Personalstärke und des Aufwandes für die Bauleitung getrennt nach Angestellten und Polieren bzw. Meistern und für das gewerbliche Personal getrennt nach Vortriebspersonal bzw. unproduktivem Personal. Der Aufwand wird für die Bauleitung in Mannmonaten (MaMo) und für das gewerbliche Personal in Stunden (h) angegeben.

3.5 Leistungsanalyse

Die Erfassung der angenommenen Vortriebsgeschwindigkeit erfolgt getrennt nach Hauptvortrieb und eines eventuell vorhandenen Zugangstunnels für einen Zusatzangriff.

3.6 Kosten

3.6.1 Allgemeines

Da die Kosten über die Jahre hinweg veränderlich sind, wird das Jahr der Kostenbasis erfragt.

3.6.2 Personal

Um auf Personalkosten schließen zu können, werden Mittellohncosten für das gewerbliche Personal in Euro pro Stunde und für Bauleitung in Euro pro Monat erfasst.

3.6.3 Geräte

Die Gerätekosten werden als Gesamtkosten in Euro erfasst. Außerdem werden die Kosten in einmalige Investitionskosten und zeitabhängige Kosten unterteilt.

3.6.4 Stützmittel

Die Kosten für die Stützmittel enthalten die im Punkt Vortrieb angegeben erforderlichen Sicherungsmittel (Spritzbeton, Baustahlgitter, Bogen, Anker, Spieße und Beton für das Überprofil bzw. Tübbingausbau und Ringspaltverfüllung). Die Kosten werden in Euro pro Quadratmeter (Fläche der Tunnellaibung pro Tunnelmeter) angegeben.

3.6.5 Stoffkosten Ausbruch

Bei den Stoffkosten für den Ausbruch werden Sprengmittel, Verschleiß und Energie erfasst. Diese Kosten werden in Euro pro Kubikmeter (Tunnelausbruch fest) angegeben.

3.6.6 Zusatzangriff

Beim zyklischen Vortrieb ist es bei manchen Projekten wirtschaftlich einen Zusatzangriff herzustellen. Die dadurch entstehenden Kosten werden in diesem Punkt festgehalten.

3.6.7 Vor- und Nacharbeiten

Beim kontinuierlichen Vortrieb sind Vorbereitungsarbeiten, wie die Montage der Tunnelbohrmaschine sowie die Herstellung der Startröhre, vor Vortriebsbeginn notwendig. Nach Vortriebsende ist die Demontage der Tunnelbohrmaschine durchzuführen. Erfragt werden diese betrachteten Gesamtkosten der Vor- und Nacharbeiten.

3.6.8 Vorarbeiten Innenschalenherstellung

In diesen Kosten werden, um auf ein Ausbauniveau für die Innenschalenherstellung zu kommen, zusätzlich anfallende Aufwendungen (wie z.B. Sohlfüllbeton, Rohrleitungen, Verlängerte offene Bauweise, Tragschicht, Abdichtungsträger) berücksichtigt.

4 Projektbeschreibungen

In diesem Kapitel werden die Daten der ausgewählten Projekte erläutert. Randbedingungen, die für den Baubetrieb von Bedeutung sind, werden gegebenenfalls angeführt.

Bei allen drei im Anschluss angeführten Projekten waren sowohl der zyklische als auch der kontinuierliche Vortrieb ausgeschrieben. Den Zuschlag erhielt aber jeweils die kontinuierliche Variante. Die Ausführungen der Projekte erfolgen jeweils mittels einer Tunnelbohrmaschine mit Einfachschild.

4.1 Pfändertunnel (Weströhre)

Mit der Inbetriebnahme der ersten Röhre des Pfändertunnels im Dezember 1980 erhielt der Bregrenzer Siedlungsraum eine Umfahrung. Die zweite Röhre (Weströhre) soll die täglichen Behinderungen aus der Verkehrsüberlastung beseitigen. Zusätzlich wird durch die Trennung der Richtungsfahrbahne die Sicherheit erhöht.

Regelquerschnitt:

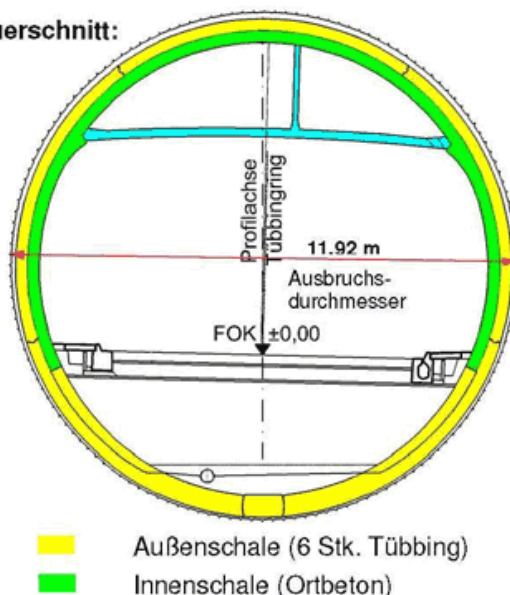


Abbildung 46: Regelquerschnitt Pfändertunnel¹²¹

Die Abbildung 46 zeigt den zweispurigen Regelquerschnitt mit den Zu- und Abluftkanälen über der Fahrbahn.

Die Bauarbeiten an der Tunnelröhre haben am 10. Oktober 2007 begonnen und sollen im Juli 2012 abgeschlossen sein. Von Februar 2008 bis zum Vortriebsbeginn des Hauptvortriebs wird die Startstrecke konventionell hergestellt. Der Hauptvortrieb startet im September 2008 mittels einer Tunnelbohrmaschine mit Einfachschild. Der Durchschlag soll dann nach 6413 m Vortrieb im August 2009 erfolgen.

¹²¹ ASFINAG Baumanagement GmbH 2008.

Die Führung der Trasse der neuen Röhre erfolgt parallel zur bereits bestehenden Röhre. Zur Erhöhung der Betriebssicherheit werden zwischen der bestehenden und der neu hergestellten Tunnelröhre Querschläge angeordnet.

Folgende Querschläge sind geplant:

- 1 befahrbarer Querschlag (FQ)
- 6 mit Einsatzfahrzeugen befahrbare Querschläge (EQ)
- 24 begehbare Querschläge (GQ)

Die befahrbaren Querschläge (FQ und EQ) befinden sich im Bereich von Abstellnischen (ASN). Diese werden grundsätzlich im Regelabstand von 1.000 m bei Tunneln, die länger als 1.000 m sind, angeordnet. Ist ein durchgehender Abstellstreifen über die gesamte Tunnellänge vorhanden, so können die Abstellnischen entfallen. Die Herstellung von Abstellnischen wird mittels Aufweitungen der Tunnelröhren durchgeführt.

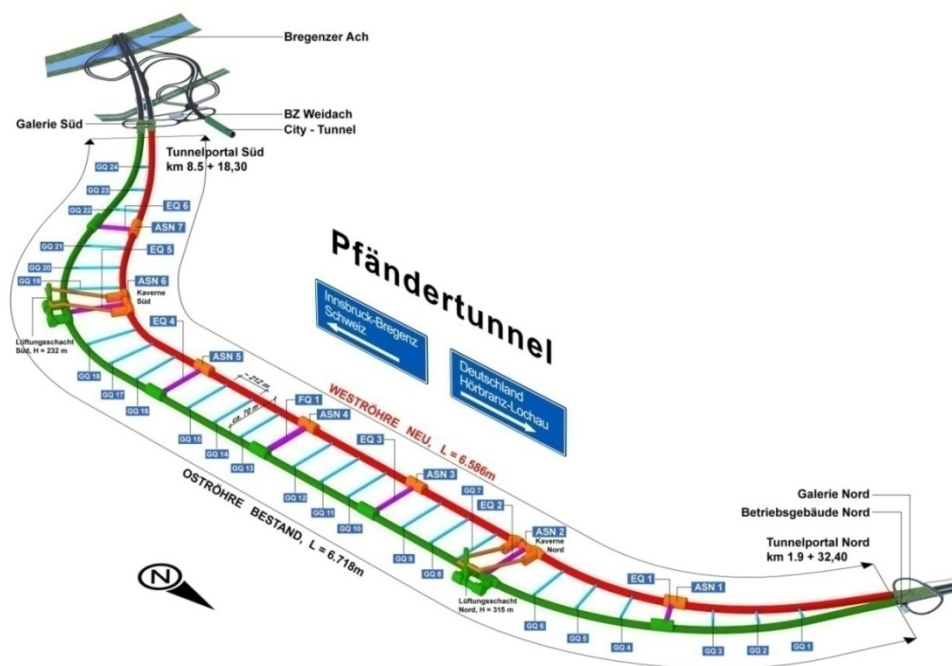


Abbildung 47: Schema Pfändertunnel¹²²

Zur Ausbildung des Lüftungssystems werden je zwei Kavernen auf der Höhe der zwei bestehenden Kavernen der vorhandenen Röhre hergestellt. Diese Kavernen werden mit den bestehenden Zu- und Abluftröhren der bereits bestehenden Röhre verbunden und zusätzlich mit Ventilatoren zur ausreichenden Belüftung ausgestattet. Die Abbildung 47 zeigt die Trassen des gesamten Tunnelsystems des Pfändertunnels. Darin sind die zuvor beschriebenen Elemente dargestellt.

¹²² ASFINAG Baumanagement GmbH 2008.

Der Bereich des Pfändertunnels ist geologisch gesehen der aufgerichteten Molasse der Mittelländischen Molassezone zuzuordnen.

Vorhandene Gesteinsarten:

- Konglomerate
- Sandsteine
- Mergelsandsteine
- Mergel
- Tonmergel

Der geologische Aufbau ist durch flach einfallende Schichten gekennzeichnet. Die bekannten Berg- und Grundwasserverhältnisse lassen einen geringen Wasserandrang erwarten.

Für den Vortrieb der zweiten Röhre ist ein Angriff von beiden Seiten möglich, da schon im Zuge der Herstellung des ersten Tunnels die Portalbereiche hergestellt wurden.

Eckdaten des Projektes:

Auftraggeber	ASFINAG Baumanagement GmbH
Auftragnehmer	ARGE Tunnel Pfänder
Partner	Beton- und Monierbau Alpine Bau GmbH
Baubeginn	Oktober 2007
Bauende	Juli 2012
Gesamtbauzeit	ca. 58 Monate
Auftragssumme (netto)	123.000.000 €
Tunnellänge (gesamt)	6.586 m
Ausbruchsquerschnitt	111 m ²

Tabelle 5: Übersicht Daten Tunnel Pfänder¹²³

¹²³ ASFINAG Baumanagement GmbH 2008.

Daten der Tunnelbohrmaschine:

Maschinentyp	Hartgesteinstunnelbohrmaschine mit Einfachschild
Hersteller	Herrenknecht AG
Länge inkl. Nachläufer	180 m
Gesamtgewicht inkl. Nachläufer	1.500 t
Bohrkopfdurchmesser	11,9 m
Installierte Leistung	2.560 kW
Drehmoment	8.319 kNm

Tabelle 6: TBM - Daten Pfänder¹²⁴

4.2 Tunnelkette Perschling

Zum Ausbau der Westbahnstrecke wird zurzeit zwischen St. Pölten und Wien eine Neubaustrecke errichtet. Die Tunnelkette Perschling ist ein Teil dieser Neubaustrecke der österreichischen Bundesbahnen. Der Ausbau der Westbahn führt zu einer Verkürzung der Fahrzeit im Personenverkehr und zu einer Steigerung der Kapazitäten im Güterverkehr.

Die gesamte Neubaustrecke besteht aus drei Bauabschnitten:

- Abschnitt Wienerwald
- Abschnitt Tullnerfeld
- Westabschnitt

Der Westabschnitt hat eine Länge von 12,6 km und beinhaltet die Tunnelkette Perschling, drei Eisenbahnbrücken, zwei Überführungen und zwei unterführende Grundwasserwannen. Die Tunnelkette Perschling besteht aus dem Reiserbergtunnel, dem Stierschweiffeldtunnel und dem Raingrubentunnel. Die Gesamtlänge der Tunnelbauwerke in bergmännischer Bauweise beträgt 6.272 m.

Die Abbildung 48 zeigt den zweigleisigen Querschnitt des Eisenbahntunnels des kontinuierlichen Vortriebs.

¹²⁴ Herrenknecht AG 2008.

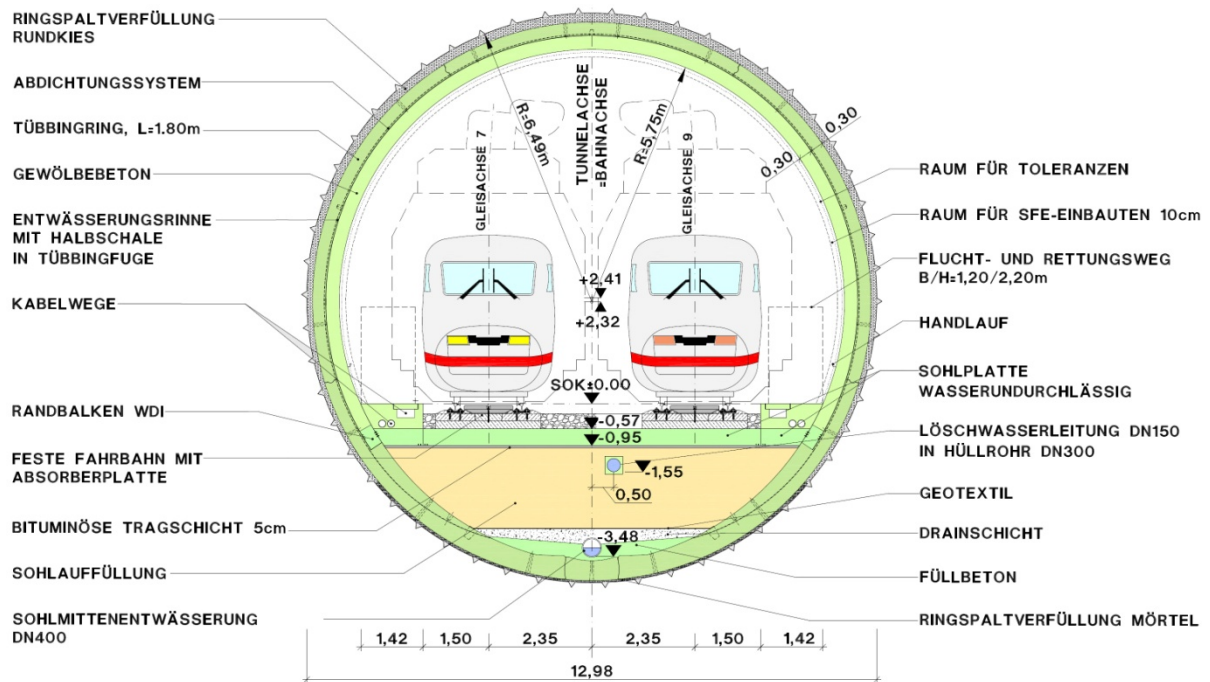


Abbildung 48: Querschnitt Tunnelkette Perschling¹²⁵

Die Bauarbeiten am Stierschweiffeldtunnel haben im Juli 2005 begonnen. Der Vortrieb des Stierschweiffeldtunnels dauerte von Dezember 2005 bis April 2007. Danach wurde die Tunnelbohrmaschine im Ganzen zum Portal des Reiserbergtunnels übersetzt. Die Vortriebsarbeiten dauerten von August 2007 bis Februar 2008. Nach dem Transport zum etwa zehn Kilometer entfernten Raingrubentunnel, wozu aber vorher eine Demontage der TBM notwendig war, ist dies der letzte Vortrieb dieses Bauvorhabens. Die Vortriebsarbeiten sollen im Sommer 2009 abgeschlossen sein.

In den drei Tunnelröhren sind insgesamt 10 Sicherheitsausstiege im Abstand von 500 m vorhanden. Diese Ausstiege bestehen aus einem begehbaren Stollen (Längen zwischen 18 und 90 m) und aus Schachtbauwerken (Höhen zwischen 17 und 48 m), die Obertage münden.

Geologisch gesehen befindet sich das Projekt in der Molassezone.

Vorhandene Gesteinsarten:

- Schluffstein
- Tonstein
- Mergel
- Sandstein

¹²⁵ STRABAG AG 2008.

Die Schichten sind flach gelagert und zeichnen sich durch intensive Wechsellagerung aus. Die Lagerung dieser Schichten reicht von sehr feinen bis zu meterhohen Schichten.

Eckdaten des Projektes:

Auftraggeber	ÖBB Infrastruktur Bau-AG
Auftragnehmer	STRABAG AG
Partner	-
Baubeginn	Juli 2005
Bauende	Juni 2009
Gesamtbauzeit	ca. 48 Monate
Auftragssumme (netto)	110.000.000 €
Tunnellänge (gesamt)	7.358 m
Ausbruchsquerschnitt	133 m ²

Tabelle 7: Übersicht Daten Tunnelkette Perschling¹²⁶

Daten der Tunnelbohrmaschine:

Maschinentyp	Hartgesteinstunnelbohrmaschine mit Einfachschild
Hersteller	Herrenknecht AG
Länge inkl. Nachläufer	90 m
Gesamtgewicht inkl. Nachläufer	1.520 t
Bohrkopfdurchmesser	12,98 m
Installierte Leistung	3.200 kW
Drehmoment	13.500 kNm

Tabelle 8: TBM - Daten Tunnelkette Perschling¹²⁷

4.3 Wienerwaldtunnel

Der Wienerwaldtunnel ist wie die Tunnelkette Perschling ein Bauabschnitt der Neubaustrecke Wien – St.Pölten. Der Tunnel hat eine Gesamtlänge von 13,35 km. Der Vortrieb erfolgte von Osten mittels Neuer Österreichischer Tunnelbaumethode und von Westen mittels Tunnelvortriebsmaschinen. Im Ostvortrieb, der in dieser Arbeit nicht behandelt wird, geht das Tunnelsystem von einer zweigleisigen in zwei eingleisige Röhren über. Die beiden maschi-

¹²⁶ ÖBB Infrastruktur Bau AG 2008.

¹²⁷ Herrenknecht AG 2008.

nellen Westvortriebe sind jeweils rund 10,75 km lang. Des Weiteren sind diverse Schacht- und Stollenbauwerke herzustellen.

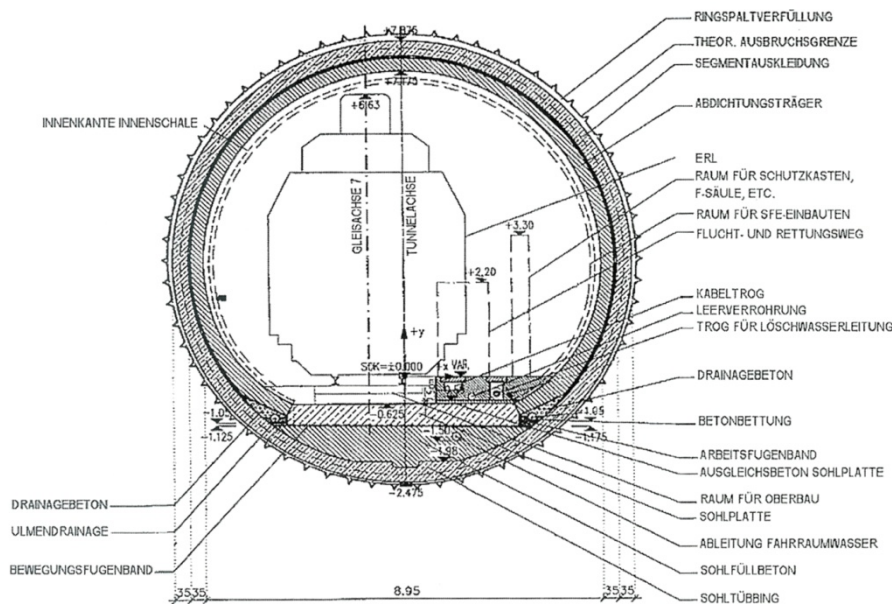


Abbildung 49: Querschnitt eingleisiger Tunnel¹²⁸

Mit der Herstellung der erforderlichen Baustelleneinrichtung (Tübbingfabrik vor Ort, Werkstätte, Betonmischanlage) wurde im Herbst 2004 begonnen. Der Vortriebsbeginn der Südröhre war im September 2005 und konnte im Juli 2007 erfolgreich abgeschlossen werden.

Der Vortrieb der Nordröhre startete im Februar 2006 und wurde im August 2007 fertig gestellt. Die Herstellung der Innenschale soll im Sommer 2009 abgeschlossen sein. Danach erfolgen bis zur Inbetriebnahme Ende 2012 noch Rest- und Ausrüstungsarbeiten.

Der Ausbruchsquerschnitt des eingleisigen Tunnels ist in der Abbildung 49 dargestellt.

Die beiden eingleisigen Röhren werden im Westvortrieb durch insgesamt 28 Querschläge miteinander verbunden, die im zyklischen Vortrieb hergestellt werden.

Das Projektgebiet befindet sich geologisch gesehen in der Flysch- und Molassezone.

Vorhandene Gesteinsarten:

- Schluffstein
- Tonstein
- Mergel
- Sandstein

¹²⁸ Stahn 2006, S. 138.

Eckdaten des Projektes:

Auftraggeber	ÖBB Infrastruktur Bau-AG
Auftragnehmer	ARGE Wienerwaldtunnel
Partner	Bilfinger Berger Bauges.m.b.H Bilfinger Berger AG NL Tunnelbau Ed. Züblin AG Tunnelbau Hochtief Construction AG Jäger Bau GmbH Porr Technobau und Umwelt AG Porr Tunnelbau GmbH Swietelsky Tunnelbau GmbH und Co KG
Baubeginn	Juli 2004
Bauende	August 2009
Gesamtbauzeit	ca. 62 Monate
Auftragssumme (netto)	340.000.000 €
Tunnellänge (gesamt)	13.350 m
Ausbruchsquerschnitt	89 m ²

Tabelle 9: Übersicht Daten Tunnel Wienerwald¹²⁹

Daten der Tunnelbohrmaschine:

Maschinentyp	Hartgesteinstunnelbohrmaschine mit Einfachschild
Hersteller	Herrenknecht AG
Länge inkl. Nachläufer	240 m
Gesamtgewicht inkl. Nachläufer	1.750 t
Bohrkopfdurchmesser	10,695 m
Bohrkopfantriebsleistung	4.900 kW
Drehmoment	20.292 kNm

Tabelle 10: TBM - Daten Wienerwald¹³⁰

¹²⁹ ÖBB Infrastruktur Bau AG 2008.

¹³⁰ Herrenknecht AG 2008.

5 Auswertung

5.1 Datenanalyse der Fragebögen

Die Auswertung der ausgefüllten Fragebögen (siehe Anlage 1) erfolgt in diesem Kapitel. Die Angaben in den Fragebögen stammen aus Kostenschätzungen eines österreichischen Baukonzerns. Diese Vorgehensweise wurde gewählt, um eine Vergleichbarkeit der gewählten Projekte zu ermöglichen. Diese Kostenschätzungen (d.h. Ermittlung der relevanten Selbstkosten) berücksichtigen die maßgebenden Kostenanteile der Projekte und dienen der Entscheidungsfindung zur Auswahl zwischen zyklischem und kontinuierlichem Vortrieb.

Diese Arbeit betrachtet nur die Rohbauarbeiten der Tunnelherstellung:

- Rohbau
 - Vortrieb
 - Haupttunnel (Ausbruch und Schutterung)
 - Zusatzangriff (zyklisch) / Vor- und Nacharbeiten (kontinuierlich)
 - Innenschale
 - Vorarbeiten Innenschalenherstellung
 - Innenschalenherstellung

Untersuchte Kosten

- Haupttunnel: Betrachtung des Ausbruchs inklusive der Schutterung
- Zusatzangriff (zyklischer Vortrieb): Herstellung eines eventuell vorhandenen Zugangstunnels
- Vor- und Nacharbeiten (kontinuierlicher Vortrieb): Herstellung Startröhren, Montage und Demontage der Tunnelbohrmaschine
- Vorarbeiten Innenschalenherstellung: Je nach Vortriebsart fallen Vorarbeiten (wie z. B. zusätzlicher Sohlfüllbeton, Rohrleitungen, Tragschicht, Abdichtungsträger, etc.), um auf dasselbe Ausbauniveau zu kommen, vor der Herstellung der Innenschale an.

Nichtuntersuchte Kosten

- Innenschalenherstellung: Die Herstellung der Innenschale wird in dieser Arbeit nicht untersucht, da sowohl beim zyklischen als auch beim kontinuierlichen Vortrieb bei allen Projekten ein zweischaliger Ausbau geplant ist. Daher sind für die Herstellung der Innenschale keine Unterschiede bei den Kosten vorhanden.
- Baustelleneinrichtung: Die Baustelleneinrichtung wird nicht in einer eigenen Kostengruppe erfasst. Entweder sind die Kosten zur Entscheidungsfindung zwischen zyklischem und kontinuierlichem Vortrieb nicht maßgebend oder sind für beide Vortriebsarten gleich. Zum

Teil sind diese in anderen erfassten Kosten enthalten (wie z.B. Werkstatt in den monatlichen Gerätekosten; Beton- und eventuell Tübbingwerk in den Stützmittelkosten falls auf der BE-Fläche situiert; Wohnlager in den Lohnkosten).

Im Folgenden werden die untersuchten Kosten der beiden Vortriebsarten nach Haupt- und Untergruppen aufgegliedert.

Kostengruppen des zyklischen Vortriebes

Wie zuvor erwähnt, werden die Kostenanteile des zyklischen Vortriebes in folgende Haupt- und Untergruppen unterteilt: (In Klammer sind die im Weiteren verwendeten Abkürzungen angegeben):

- Haupttunnel (H):
 - o Lohnkosten (L)
 - Gewerbliches Personal (LG)
 - Bauleitung (LB)
 - o Geräte (G)
 - o Stützmittel (S)
 - o Ausbruch (A)
- Zusatzangriff (Z): Es werden Kosten berücksichtigt, die für die Hauptgruppe Zusatzangriff anfallen, sofern diese vorhanden sind:
 - o Lohnkosten (ZL)
 - Gewerbliches Personal (ZLG)
 - Bauleitung (ZLB)
 - o Geräte (ZG)
 - o Stützmittel (ZS)
 - o Ausbruch (ZA)
- Vorarbeiten Innenschalenherstellung (IS): Vorarbeiten vor der Herstellung der Innenschale

Kostengruppen des kontinuierlichen Vortriebes

Beim kontinuierlichen Vortrieb wird folgende Einteilung getroffen:

- Haupttunnel (H):
 - o Lohnkosten (L)
 - Gewerbliches Personal (LG)
 - Bauleitung (LB)
 - o Geräte (G)
 - o Stützmittel (S)
 - o Ausbruch (A)

- Vor- und Nacharbeiten (V): Beim kontinuierlichen Vortrieb entstehen für diese Hauptgruppe Kosten für die Montage und Demontage der Tunnelbohrmaschinen, sowie Herstellkosten für die Startröhren. Untersucht werden folgende Untergruppen:
 - o Lohnkosten (VL)
 - Gewerbliches Personal (VLG)
 - Bauleitung (VLB)
 - o Geräte (VG)
 - o Stützmittel (VS)
 - o Ausbruch (VA)
- Vorarbeiten Innenschalenherstellung (IS): Vorarbeiten vor der Herstellung der Innenschale

Die Daten der Fragebögen werden in tabellarischer Form mit der Software Microsoft Excel verarbeitet. Für jedes Projekt wird getrennt nach den beiden Vortriebsarten eine Auswertung durchgeführt. Die graphische Visualisierung erfolgt mit Microsoft Excel und SigmaPlot 9.0.

Die Hauptgruppe Vorarbeiten Innenschalenherstellung wird nur bei den ursprünglichen Projekten betrachtet. Da für den Wienerwaldtunnel keine Kosten anfallen, wird diese Hauptgruppe bei den weiteren Auswertungen der Projekte nicht weiter behandelt. Grund dafür ist die Querschnittform (siehe Kapitel 2.5.2.1.1), für die keine wesentlichen Kostenunterschiede zwischen zyklischem und kontinuierlichem anfallen.

In der Zusammenfassung der Auswertung der Daten der Fragebögen werden die Kosten auf die Querschnittfläche des zyklischen Vortriebes jedes Projektes bezogen. Durch den Bezug auf die Querschnittfläche werden die Projekte untereinander vergleichbar, da sich die Kosten auf einen Quadratmeter beziehen. Die Verwendung der zyklischen Querschnittfläche trägt dem nicht notwendigen Mehrausbruch des kontinuierlichen Querschnittes Rechnung (vgl. Kapitel 2.5.3).

5.1.1 Pfändertunnel

Mit der Ausführung des Projektes Pfänder wurde die ARGE Tunnel Pfänder (Alpine Mayreder, Beton- und Monierbau). Den Zuschlag erhielt die Variante des kontinuierlichen Vortriebes.

Die Ausarbeitung der Kosten erfolgt anhand der erhaltenen Daten der Fragebögen eines nicht in der ARGE vertretenen österreichischen Baukonzernes.

5.1.1.1 Zyklischer Vortrieb – Pfänder

Beim Tunnel Pfänder wird der Vortrieb von Norden und von Süden ohne einen Zusatzangriff durchgeführt. Aus diesem Grund entstehen für die Hauptgruppe Zusatzangriff keine Kosten. Die Hauptgruppe Vorarbeiten Innenschalenherstellung ist für dieses Projekt vorhanden. Die Aufteilung (Die Hauptgruppe Vorarbeiten Innenschalenherstellung ist in der rechten Hälfte der nachfolgenden Tabelle für die weiteren Betrachtungen nicht berücksichtigt) der betrachteten Kosten zeigt folgende Tabelle (Die Aufgliederung ist der Anlage 2 zu entnehmen.):

Hauptgruppen

Hauptgruppen	Kosten	Prozent	Kosten	Prozent
Haupttunnel [H]	61.450.087 €	77,8%	61.450.087 €	100,0%
Zusatzangriff [Z]	0 €	0,0%	0 €	0,0%
Vorarbeiten Innenscha. [IS]	17.516.500 €	22,2%		
Betrachtete Kosten	78.966.587 €	100,0%	61.450.087 €	100,0%

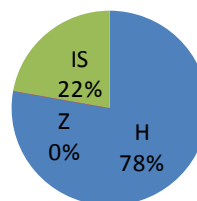


Tabelle 11: Hauptgruppen Pfänder (zyklisch)

Abbildung 50: Pfänder (zyklisch, inkl. IS)

Für die betrachteten Kosten inklusive der Hauptgruppe Vorarbeiten Innenschalenherstellung beläuft sich der Anteil der Hauptgruppe Haupttunnel an den betrachteten Kosten rund 78 %. Die Hauptgruppe Zusatzangriff beinhaltet bei diesem Projekt keine Kosten. Die Hauptgruppe Vorarbeiten Innenschalenherstellung verursacht zirka 22 % der betrachteten Kosten. Da bei den betrachteten Kosten ohne die Vorarbeiten Innenschalenherstellung die Hauptgruppe Vorarbeiten Innenschalenherstellung nicht berücksichtigt wird und die Hauptgruppe Zusatzangriff keine Kosten aufweist, beinhalten die betrachteten Kosten nur die Hauptgruppe Haupttunnel. Daher beträgt der Anteil der Hauptgruppe Haupttunnel 100 %.

Hauptgruppe Haupttunnel

Die Kosten der Hauptgruppe Haupttunnel gliedern sich in folgende Anteile:

Kosten der Hauptgruppe Haupttunnel		Anteil an den betrachteten Kosten (inkl. IS)	Anteil an den betrachteten Teilkosten
Untergruppen	Kosten		
Lohnkosten Gewerbliches Personal [LG]	21.628.080 €	27,4%	35,2%
Lohnkosten Bauleitung [LB]	7.530.000 €	9,5%	12,3%
Geräte [G]	8.800.000 €	11,1%	14,3%
Stützmittel [S]	14.028.588 €	17,8%	22,8%
Ausbruch [A]	9.463.419 €	12,0%	15,4%
Betrachtete Teilkosten	61.450.087 €	77,8%	100,0%

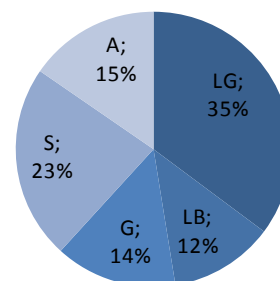


Tabelle 12: Hauptgruppe Haupttunnel Pfänder (zyklisch)

Abbildung 51: Haupttunnel Pfänder (zykl.)

Bezogen auf die Kosten des Haupttunnels (betrachtete Teilkosten) entfallen rund 35 % der Kosten auf Lohnkosten des gewerblichen Personales. Die Lohnkosten der Bauleitung erge-

ben zirka zwölf Prozent der Kosten dieser Hauptgruppe. Die gesamten Lohnkosten (gewerbliches Personal und Bauleitung) belaufen sich somit auf zirka 50 % der Hauptgruppe Haupttunnel. Die Gerätekosten ergeben rund 14 %. Für Stützmittel sind etwa 23 % der Kosten aufzuwenden. Die Kosten für den Ausbruch ergeben zirka 15 % der Kosten.

5.1.1.2 Kontinuierlicher Vortrieb – Pfänder

Den Zuschlag für die Ausführung erhielt der kontinuierliche Vortrieb. Der Vortrieb ist von einer Seite mit einer TBM vorgesehen. Es ergeben sich jedoch höhere Kosten für die Herstellung der Startröhre, da diese eine sechsfache Länge (~ 120 m) im Vergleich zu einer üblichen Startröhre (~ 20 – 25 m) aufweist. Diese Länge ist bedingt durch eine Lockergesteinsstrecke am Portal, die bei einer Durchörterung mit einer Tunnelbohrmaschine mit Einfachschild große Schwierigkeiten bereiten würde.

Hauptgruppen

Die Kostenaufteilung der Hauptgruppen ist in der nachfolgenden Tabelle dargestellt (Die Aufgliederung ist Anlage 2 zu entnehmen.).

Hauptgruppen	Kosten	Prozent	Kosten	Prozent
Haupttunnel [H]	52.881.376 €	64,6%	52.881.376 €	83,8%
Vor- & Nacharbeiten [V]	10.205.000 €	12,5%	10.205.000 €	16,2%
Vorarbeiten Innenscha. [IS]	18.817.120 €	23,0%		
Betrachtete Kosten	81.903.496 €	100,0%	63.086.376 €	100,0%

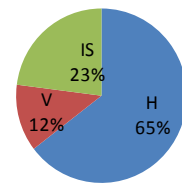


Abbildung 52: Pfänder (kontinuierlich, inkl. IS)

Tabelle 13: Hauptgruppen Pfänder (kontinuierlich)

Die betrachteten Kosten inklusive der Hauptgruppe Vorarbeiten Innenschalenherstellung weisen für die Hauptgruppe Haupttunnel einen Anteil von zirka 65 % der betrachteten Kosten auf. Die Vor- und Nacharbeiten belaufen sich auf rund 12 % der betrachteten Kosten. Die Hauptgruppe Vorarbeiten Innenschalenherstellung ergeben etwa 23 % der betrachteten Kosten.

Ohne die Hauptgruppe Vorarbeiten Innenschalenherstellung beträgt der Anteil der Hauptgruppe Haupttunnel rund 84 % der betrachteten Kosten. Auf die Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten entfallen zirka 16 % der betrachteten Kosten.

Hauptgruppe Haupttunnel

Kosten der Hauptgruppe Haupttunnel		Anteil an den betrachteten Kosten (inkl. IS)	Anteil an den betrachteten Teilkosten
Untergruppen	Kosten		
Lohnkosten Gewerbliches Personal [LG]	8.637.840 €	10,5%	16,3%
Lohnkosten Bauleitung [LB]	1.950.000 €	2,4%	3,7%
Geräte [G]	13.891.000 €	17,0%	26,3%
Stützmittel [S]	24.700.952 €	30,2%	46,7%
Ausbruch [A]	3.701.584 €	4,5%	7,0%
Betrachtete Teilkosten	52.881.376 €	64,6%	100,0%

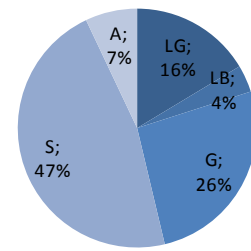


Abbildung 53: Haupttunnel Pfänder (zyklisch)

Tabelle 14: Hauptgruppe Haupttunnel Pfänder (kontinuierlich)

Die Lohnkosten des gewerblichen Personals belaufen sich auf etwa 16 % der betrachteten Teilkosten. Die Lohnkosten der Bauleitung sind mit rund vier Prozent relativ gering. Die Untergruppe Geräte verursacht zirka 26 % der Kosten der Hauptgruppe Haupttunnel. Den größten Kostenanteil bezogen auf die Kosten des Haupttunnels entfallen auf die Stützmittel mit rund 47 %. Die Kosten für den Ausbruch betragen zirka sieben Prozent.

Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten

Die Auswertung der Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten liefert folgendes Ergebnis:

Kosten der Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten		Anteil an den betrachteten Kosten (inkl. IS)	Anteil an den betrachteten Teilkosten
Untergruppen	Kosten		
Lohnkosten Gewerbliches Personal [VLG]	3.402.000 €	4,2%	33,3%
Lohnkosten Bauleitung [VLB]	1.500.000 €	1,8%	14,7%
Geräte [VG]	4.715.000 €	5,8%	46,2%
Stützmittel [VS]	401.000 €	0,5%	3,9%
Ausbruch [VA]	187.000 €	0,2%	1,8%
Betrachtete Teilkosten	10.205.000 €	12,5%	100,0%

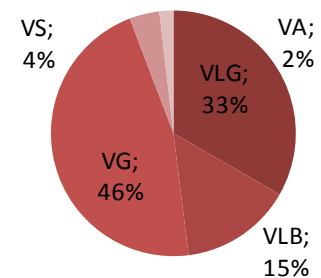


Abbildung 54: Vor- und Nacharbeiten Pfänder

Tabelle 15: Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten Pfänder

Die Lohnkosten für gewerbliches Personal benötigt rund 33 % der betrachteten Teilkosten. Der Anteil der Kosten für die Bauleitung beträgt etwa 15 %. Den größten Anteil der Kostengruppe der Vor- und Nacharbeiten machen die Geräte mit rund 46 % aus. Kosten für Stützmittel und Ausbruch belaufen sich nur auf rund vier bzw. zwei Prozent.

5.1.1.3 Gegenüberstellung zyklischer und kontinuierlicher Vortrieb – Pfänder

Der kontinuierliche Vortrieb kommt beim Pfänder zur Ausführung, obwohl der hier durchgeführte Kostenvergleich mit den Daten aus den Fragebögen den zyklischen Vortrieb als wirtschaftlicher ausweist (betrachtete Kosten ohne Vorarbeiten Innenschalenherstellung: zykl.: ~61 Mio - € / kont.: ~63 Mio-€). Die Hauptgruppe Vorarbeiten Innenschalenherstellung vergrößert die Differenz zwischen zyklischem und kontinuierlichem Vortrieb (betrachtete Kosten inklusive Vorarbeiten Innenschalenherstellung: zykl.: ~79 Mio - € / kont.: ~82 Mio-€). Diese

Kostengruppe hat aber bei dieser Tunnellänge keinen maßgebenden Einfluss auf die Entscheidungsfindung zwischen zyklischem und kontinuierlichem Vortrieb.

Die Kosten der Hauptgruppe Haupttunnel sind beim kontinuierlichen Vortrieb verglichen mit dem zyklischen Vortrieb geringer. Im Gegensatz zum zyklischen Vortrieb sind aber noch zusätzliche Kosten durch die Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten zu berücksichtigen.

Ausschlaggebend für die Entscheidung der ARGE Tunnel Pfänder dem kontinuierlichen Vortrieb den Vorzug zu geben, ist möglicherweise die Anwendung einer gebrauchten Tunnelbohrmaschine der Fa. Herrenknecht. Dadurch verringern sich vermutlich die Gerätekosten. Ein weiterer Grund für diese Entscheidung könnte, da erstmalig ein Straßentunnel in Österreich mittels TBM – Vortrieb aufgeföhren wird, auch das Ziel der Aneignung von Erfahrung für den Einsatz einer TBM bei der Herstellung eines Straßentunnels sein.

Die Betrachtung der Hauptgruppe Haupttunnel zeigt, dass beim zyklischen Vortrieb der Anteil der Lohnkosten an der Hauptgruppe Haupttunnel sowohl des gewerblichen Personals (zykl.: ~35 % / kont.: ~16 %) als auch der Bauleitung (zykl.: ~12 % / kont.: ~4 %) weitaus höher sind. Die Anteile der Geräte (zykl.: ~14 % / kont.: ~26 %) bzw. der Stützmittel (zykl.: ~23 % / kont.: ~47 %) sind beim zyklischen Vortrieb geringer als beim kontinuierlichen. Die Kosten für die Untergruppe Ausbruch (zykl.: ~15 % / kont.: ~7 %) überwiegen beim zyklischen Vortrieb im Vergleich zum kontinuierlichen.

5.1.2 Tunnelkette Perschling

Das Projekt Perschling wird durch die ausführende Firma im kontinuierlichen Vortrieb hergestellt. Die ausführende Firma ist nicht der Baukonzern, von dem die Daten der Fragebögen stammen.

5.1.2.1 Zyklischer Vortrieb – Perschling

Bei der Tunnelkette Perschling ist nur beim Stierschweiffeldtunnel ein Gegenvortrieb, der allerdings keinen Zusatzangriff benötigt, vorgesehen. Sowohl ein Vortrieb von der Ost- als auch von der Westseite ist möglich. Beim Reiserberg- und Raingrubentunnel sind keine Gegenvortriebe notwendig. Der Vortrieb erfolgt nur von einer Seite aus.

Bei diesem Projekt ist kein Zusatzangriff vorgesehen.

Die Hauptgruppe Vorarbeiten Innenschalenherstellung ist für dieses Projekt vorhanden. Die Aufteilung (Die Hauptgruppe Vorarbeiten Innenschalenherstellung ist in der rechten Hälfte der nachfolgenden Tabelle für die weiteren Betrachtungen nicht berücksichtigt) der betrachteten Kosten zeigt folgende Tabelle (Die Berechnung ist Anlage 3 zu entnehmen.).

Hauptgruppen

Kostenaufteilung der einzelnen Hauptgruppen:

Hauptgruppen	Kosten	Prozent	Kosten	Prozent
Haupttunnel [H]	66.039.687 €	89,9%	66.039.687 €	100,0%
Zusatzangriff [Z]	0 €	0,0%	0 €	0,0%
Vorarbeiten Innenscha. [IS]	7.455.900 €	10,1%		
Betrachtete Kosten	73.495.587 €	100,0%	66.039.687 €	100,0%

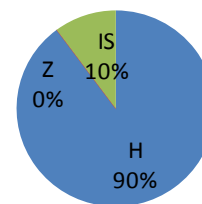


Tabelle 16: Hauptgruppen Perschling (zyklisch)

Abbildung 55: Perschling (zyklisch, inkl. IS)

Für die betrachteten Kosten inklusive der Hauptgruppe Vorarbeiten Innenschalenherstellung beläuft sich der Anteil der Hauptgruppe Haupttunnel an den betrachteten Kosten rund 90 %. Die Hauptgruppe Zusatzangriff ist bei diesem Projekt nicht vorhanden. Die Hauptgruppe Vorarbeiten Innenschalenherstellung verursacht zirka zehn Prozent der betrachteten Kosten. Da bei den betrachteten Kosten ohne die Vorarbeiten Innenschalenherstellung die Hauptgruppe Vorarbeiten Innenschalenherstellung nicht berücksichtigt wird und die Hauptgruppe Zusatzangriff keine Kosten aufweist, beinhalten die betrachteten Kosten nur die Hauptgruppe Haupttunnel. Daher beträgt der Anteil der Hauptgruppe Haupttunnel 100 %.

Hauptgruppe Haupttunnel

Kosten der Hauptgruppe Haupttunnel		Anteil an den betrachteten Kosten (inkl. IS)	Anteil an den betrachteten Teilkosten
Untergruppen	Kosten		
Lohnkosten Gewerbliches Personal [LG]	20.722.500 €	28,2%	31,4%
Lohnkosten Bauleitung [LB]	6.000.000 €	8,2%	9,1%
Geräte [G]	8.000.000 €	10,9%	12,1%
Stützmittel [S]	23.607.595 €	32,1%	35,7%
Ausbruch [A]	7.709.592 €	10,5%	11,7%
Betrachtete Teilkosten	66.039.687 €	89,9%	100,0%

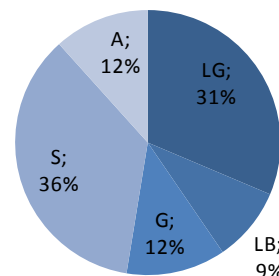


Tabelle 17: Hauptgruppe Haupttunnel Perschling (zyklisch)

Abbildung 56: Haupttunnel Perschling (zyklisch)

Die Kosten der Hauptgruppe Haupttunnel sind in der nachfolgenden Tabelle in die Untergruppen aufgegliedert. Bezogen auf die Kosten der Hauptgruppe Haupttunnel (betrachtete Teilkosten) entfallen rund 31 % der Kosten auf die Lohnkosten des gewerblichen Personales. Die Lohnkosten der Bauleitung belaufen sich auf zirka neun Prozent. Auf die Gerätekosten entfällt ein Anteil etwa zwölf Prozent. Die Kosten für Stützmittel machen einen Anteil von 36 Prozent aus. Die Ausbruchskosten verursachen einen Anteil von rund zwölf Prozent.

5.1.2.2 Kontinuierlicher Vortrieb – Perschling

Der kontinuierliche Vortrieb hat auch bei diesem Projekt den Zuschlag erhalten. Die drei Tunnelbaulose werden mit einer Tunnelbohrmaschine aufgeföhren. Durch das zweimalige

Umsetzen der TBM und der Herstellung von drei Startröhren entstehen etwas höhere Kosten für Vor- und Nacharbeiten.

Hauptgruppen

Für diese Vortriebsart teilen sich die Kosten der Tunnelkette Perschling wie folgt auf. Die Ermittlung ist Anlage 3 zu entnehmen.

Hauptgruppen	Kosten	Prozent	Kosten	Prozent
Haupttunnel [H]	64.437.786 €	75,0%	64.437.786 €	85,6%
Vor- & Nacharbeiten [V]	10.807.200 €	12,6%	10.807.200 €	14,4%
Vorarbeiten Innenscha. [IS]	10.660.200 €	12,4%		
Betrachtete Kosten	85.905.186 €	100,0%	75.244.986 €	100,0%

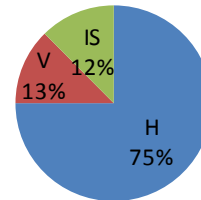


Tabelle 18: Hauptgruppen Perschling (kontinuierlich)

Abbildung 57: Perschling (kontinuierlich, inkl. IS)

Die betrachteten Kosten inklusive der Hauptgruppe Vorarbeiten Innenschalenherstellung weisen für die Hauptgruppe Haupttunnel einen Anteil von zirka 75 % der betrachteten Kosten auf. Die Vor- und Nacharbeiten belaufen sich auf rund 13 % der betrachteten Kosten. Die Hauptgruppe Vorarbeiten Innenschalenherstellung ergeben etwa 12 % der betrachteten Kosten.

Ohne die Hauptgruppe Vorarbeiten Innenschalenherstellung beträgt der Anteil der Hauptgruppe Haupttunnel rund 86 % der betrachteten Kosten. Auf die Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten entfallen zirka 14 % der betrachteten Kosten.

Hauptgruppe Haupttunnel

Betrachtet man nun die Untergruppen der Hauptgruppe Haupttunnel, so zeigt sich folgende Aufteilung der Kostenanteile:

Kosten der Hauptgruppe Haupttunnel		Anteil an den betrachteten Kosten (inkl. IS)	Anteil an den betrachteten Teilkosten
Untergruppen	Kosten		
Lohnkosten Gewerbliches Personal [LG]	14.566.635 €	17,0%	22,6%
Lohnkosten Bauleitung [LB]	3.150.000 €	3,7%	4,9%
Geräte [G]	13.295.000 €	15,5%	20,6%
Stützmittel [S]	28.882.073 €	33,6%	44,8%
Ausbruch [A]	4.544.078 €	5,3%	7,1%
Betrachtete Teilkosten	64.437.786 €	75,0%	100,0%

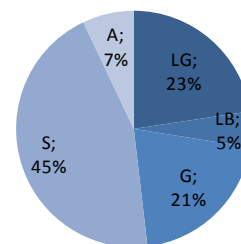


Tabelle 19: Hauptgruppe Haupttunnel Perschling (kontinuierlich)

Abbildung 58: Haupttunnel Perschling (kontinuierlich)

Die Lohnkosten belaufen sich für das gewerbliche Personal auf rund 23 % der Hauptgruppe Haupttunnel (betrachtete Teilkosten). Der Anteil der Lohnkosten für Die Bauleitung beträgt fünf Prozent. Die Gerätekosten machen rund 21 % der Hauptgruppe Haupttunnel aus. Für Stützmittel sind etwa 45 Prozent aufzubringen. Für den Ausbruch belaufen sich die Kosten auf zirka sieben Prozent.

Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten

Kosten der Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten		Anteil an den betrachteten Kosten (inkl. IS)	Anteil an den betrachteten Teilkosten
Untergruppen	Kosten		
Lohnkosten Gewerbliches Personal [VLG]	4.525.200 €	5,3%	41,9%
Lohnkosten Bauleitung [VLB]	2.320.000 €	2,7%	21,5%
Geräte [VG]	3.625.000 €	4,2%	33,5%
Stützmittel [VS]	252.000 €	0,3%	2,3%
Ausbruch [VA]	85.000 €	0,1%	0,8%
Betrachtete Teilkosten	10.807.200 €	12,6%	100,0%

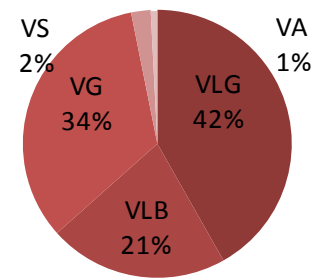


Tabelle 20: Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten Perschling

Abbildung 59: Vor- und Nacharbeiten Perschling

Die Lohnkosten betragen für das gewerbliche Personal rund 42 % der betrachteten Teilkosten und für die Bauleitung etwa 21 % der Kosten der Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten. Die Gerätekosten belaufen sich auf zirka 34 %. Für die Stützmittel beträgt der Anteil nur rund zwei Prozent. Die Ausbruchskosten verursachen nur rund ein Prozent bezogen auf die Kosten der Hauptgruppe der Vor- und Nacharbeiten.

5.1.2.3 Gegenüberstellung zyklischer und kontinuierlicher Vortrieb – Perschling

Der Vergleich der beiden Kalkulationen zeigt einen wirtschaftlicheren Vortrieb der zyklischen Vortriebsvariante (betrachtete Kosten ohne Vorarbeiten Innenschalenherstellung: cykl.: ~66 Mio-€ / kont.: ~75 Mio-€). Die Hauptgruppe Vorarbeiten Innenschalenherstellung vergrößert die Differenz zwischen zyklischem und kontinuierlichem Vortrieb (betrachtete Kosten inklusive der Hauptgruppe Vorarbeiten Innenschalenherstellung: cykl.: ~73 Mio-€ / kont.: ~86 Mio-€). Diese Kostengruppe hat aber bei dieser Tunnellänge keinen maßgebenden Einfluss auf die Entscheidungsfindung zwischen zyklischem und kontinuierlichem Vortrieb. Die Kosten der Hauptgruppe Haupttunnel sind im Fall des zyklischen Vortriebes höher. Der Vortrieb mittels Tunnelbohrmaschine wird jedoch durch die Kosten aus den Vor- und Nacharbeiten unwirtschaftlich.

Die Gründe für die kontinuierliche Variante könnten ähnlich sein, wie beim Projekt Pfänder. Die Verwendung einer gebrauchten Tunnelbohrmaschine senkt die Gerätekosten und macht den TBM-Vortrieb wahrscheinlich wirtschaftlicher als den zyklischen Vortrieb. Weitere Gründe der Wahl des kontinuierlichen Vortriebes sind möglicherweise auch durch diverse andere Randbedingungen (Sammlung von Know-how, Marktsituation etc.) zu begründen.

Die Betrachtung der Hauptgruppe Haupttunnel zeigt, dass beim zyklischen Vortrieb der Anteil der Lohnkosten sowohl des gewerblichen Personals (zykl.: ~31 % / kont.: ~23 %) als auch der Bauleitung (zykl.: ~9 % / kont.: ~5 %) weitaus höher sind. Die Anteile der Geräte

(zykl.: ~12 % / kont.: ~21 %) bzw. der Stützmittel (zykl.: ~36 % / kont.: ~ 45 %) sind beim zyklischen Vortrieb geringer als beim kontinuierlichen. Die Kosten für die Untergruppe Ausbruch (zykl.: ~12 % / kont.: ~7 %) überwiegen beim zyklischen Vortrieb im Vergleich zum kontinuierlichen.

5.1.3 Wienerwaldtunnel

Zur Ausführung beim Projekt Wienerwald kommt die Variante des kontinuierlichen Vortriebes. Zum Unterschied zu den zuvor behandelten Projekten wird der Wienerwaldtunnel aufgrund des zweiröhrigen Tunnelsystems (zwei Röhren mit jeweils zirka elf Kilometer) mit jeweils einer Tunnelbohrmaschine vorgetrieben. Das Projekt weist dadurch eine doppelte Vortriebslänge im Vergleich zur Tunnellänge auf und es ist daher nicht möglich, die betrachteten Gesamtkosten der drei Projekte einander gegenüberzustellen. Um einen Vergleich mit den beiden anderen Projekten zu ermöglichen werden die Hauptgruppen je nach Vortriebsart folgendermaßen angepasst.

Zyklischer Vortrieb

Die Hauptgruppe Haupttunnel wird auf die Hälfte reduziert (Betrachtung der Vortriebslänge gleich der Tunnellänge).

Die Hauptgruppe Zusatzangriff wird in vollem Umfang berücksichtigt, da der Zugangstunnel unabhängig von der Anzahl der Röhren ist.

Die Hauptgruppe Vorarbeiten Innenschalenherstellung ist bei diesem Projekt nicht vorhanden (siehe Kapitel 5.1).

Kontinuierlicher Vortrieb

Die Hauptgruppe Haupttunnel wird auf die Hälfte reduziert (Betrachtung der Vortriebslänge gleich der Tunnellänge).

Die Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten wird auf die Hälfte reduziert, da die betrachteten Kosten für jeweils eine Tunnelröhre anfallen.

Die Hauptgruppe Vorarbeiten Innenschalenherstellung ist bei diesem Projekt nicht vorhanden. Eine Anpassung ist daher nicht erforderlich.

Für die Untergruppe Stützmittel der Hauptgruppe Haupttunnel des kontinuierlichen Vortriebes werden die Einzelkosten entsprechend der Änderung der Einbaulänge der Tübbinge angepasst. Die Anzahl der eingebauten Tübbinge hat einen Einfluss auf die Einzelkosten, der berücksichtigt wird (Umlegung der größeren Investitionskosten bei der Tübbingherstellung für Schalungen, Umlaufanlagen, etc.). Für den zyklischen Vortrieb werden die Einzelkosten nicht verändert (Stützmittelkosten ohne einen wesentlichen Fixkostenanteil).

5.1.3.1 Zyklischer Vortrieb – Wienerwald

Beim Tunnel Wienerwald waren ursprünglich 6 Vortriebe geplant. Durch die Anpassung (siehe Kapitel 5.1.3) werden nur drei Vortriebe in der Kostenschätzung berücksichtigt. Vom Westportal aus wird ein und vom Zusatzangriff aus werden zwei Angriffe gestartet. Die Berechnung ist in Anlage 4 angefügt. Wie zuvor erwähnt, werden die Kosten der Hauptgruppe Haupttunnel halbiert. Die Hauptgruppe Zusatzangriff bleibt unverändert.

Hauptgruppen

Hauptgruppen	Kosten (2 Röhren)	Prozent	Kosten (1 Röhre)	Prozent
Haupttunnel [H]	186.557.545 €	92,9%	93.278.772 €	86,8%
Zusatzangriff [Z]	14.245.280 €	7,1%	14.245.280 €	13,2%
Vorarbeiten Innenscha. [IS]	0 €	0,0%	0 €	0,0%
Betrachtete Kosten	200.802.825 €	100,0%	107.524.052 €	100,0%

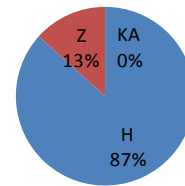


Tabelle 21: Hauptgruppen Wienerwald (zyklisch)

Abbildung 60: Wienerwald (zyklisch, 1 Röhre)

Die Hauptgruppe Haupttunnel verursacht rund 87 Prozent der betrachteten Gesamtkosten. Die Kosten für die Hauptgruppe Zusatzangriff belaufen sich auf zirka 13 % der betrachteten Gesamtkosten. Für die Hauptgruppe Vorarbeiten Innenschalenherstellung ergeben sich für dieses Projekt aufgrund des Querschnittes keine wesentlichen Kosten. Durch die Anpassung der Kosten der Hauptgruppe Haupttunnel auf eine Röhre steigt der Anteil der Hauptgruppe Zusatzangriff von etwa sieben Prozent auf rund 13 % an.

Hauptgruppe Haupttunnel

Die Betrachtung der Kosten der Hauptgruppe Haupttunnel zeigt die folgende Tabelle:

Kosten der Hauptgruppe Haupttunnel		Anteil an den betrachteten Kosten (inkl. IS)	Anteil an den betrachteten Teilkosten
Untergruppen	Kosten		
Lohnkosten Gewerbliches Personal [LG]	31.272.480 €	29,1%	33,5%
Lohnkosten Bauleitung [LB]	6.540.000 €	6,1%	7,0%
Geräte [G]	13.267.500 €	12,3%	14,2%
Stützmittel [S]	33.507.079 €	31,2%	35,9%
Ausbruch [A]	8.691.714 €	8,1%	9,3%
Betrachtete Teilkosten	93.278.772 €	86,8%	100,0%

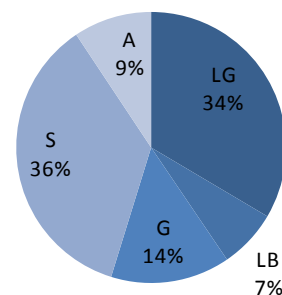


Tabelle 22: Hauptgruppe Haupttunnel Wienerwald (zyklisch)

Abbildung 61: Haupttunnel Wienerwald (zyklisch)

Für das gewerbliche Personal fallen rund 34 % der Kosten der Kostengruppe Haupttunnel (betrachtete Teilkosten) an. Für Die Bauleitung belaufen sich die Kosten auf rund sieben Prozent. Der Anteil der Gerätekosten an der Hauptgruppe Haupttunnel macht rund 14 % aus. Für die Stützmittel beträgt der Anteil etwa 36 % und für den Ausbruch beläuft sich der Kostenanteil auf zirka neun Prozent.

Zusatzangriff

Für den Zusatzangriff fallen zirka sieben Prozent der Gesamtkosten an. Aufgeschlüsselt ergibt sich folgende Kostenaufteilung:

Kosten der Hauptgruppe Zusatzangriff		Anteil an den betrachteten Kosten	Anteil an den betrachteten Teilkosten
Untergruppen	Kosten		
Lohnkosten Gewerbliches Personal [ZLG]	4.250.880 €	4,0%	29,8%
Lohnkosten Bauleitung [ZLB]	2.070.000 €	1,9%	14,5%
Geräte [ZG]	2.102.500 €	2,0%	14,8%
Stützmittel [ZS]	4.708.900 €	4,4%	33,1%
Ausbruch [ZA]	1.113.000 €	1,0%	7,8%
Betrachtete Teilkosten	14.245.280 €	13,2%	100,0%

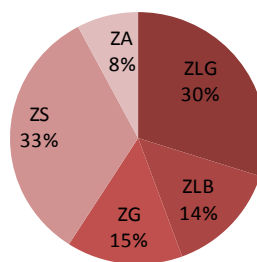


Abbildung 62: Zusatzangriff Wienerwald

Tabelle 23: Hauptgruppe Zusatzangriff Wienerwald

Die Personalkosten belaufen sich auf rund 30 % der betrachteten Teilkosten für das gewerbliche Personal und auf zirka 15 % für die Bauleitung. Die Gerätekosten verursachen etwa 15 % der Kosten der Hauptgruppe Zusatzangriff. Für Stützmittel betragen die Aufwendungen rund 33 % und der Ausbruch benötigt zirka acht Prozent der Kosten der Hauptgruppe Zusatzangriff.

Der Vergleich der Untergruppen der Hauptgruppe Haupttunnel mit der Hauptgruppe Zusatzangriff zeigt, dass die Anteile der Untergruppen in etwa gleich sind (mit Ausnahme der Lohnkosten Bauleitung, da diese nur einen Vortrieb im Vergleich zum Haupttunnel betreut: Haupttunnel: ~ 7 % / Zusatzangriff: ~ 14 %).

5.1.3.2 Kontinuierlicher Vortrieb – Wienerwald

Den Zuschlag zur Ausführung des Projektes Wienerwald erhielt der kontinuierliche Vortrieb. Im ursprünglichen Projekt werden die beiden Röhren parallel mit zwei Tunnelbohrmaschinen aufgeföhren. Für jede Tunnelbohrmaschine ist eine Startröhre herzustellen.

Wie eingangs erwähnt, werden die Kosten für das Projekt Wienerwald auf die Hälfte reduziert (d.h. Betrachtung einer Röhre).

Untergruppe Stützmittel

Die Fixkosten bei der Tübbingherstellung (in einem bestehenden Fertigteilwerk oder in einer neu errichteten Feldfabrik auf der Baustelleneinrichtungsfläche) teilen sich auf die Anzahl der Tübbingringe auf. In der Abbildung 63 ist der Kostenverlauf der Einzelkosten in Schilling pro Ring über die Anzahl der Tübbingringe (entspricht der Tunnellänge) aufgetragen. In dieser Abbildung ist der Schnittpunkt für die Einsatzgrenze eines Fertigteilwerkes vor Ort schematisch eingetragen (Schnitt Kosten Fertigteilwerk mit Transportkosten von einem bestehenden Werk).

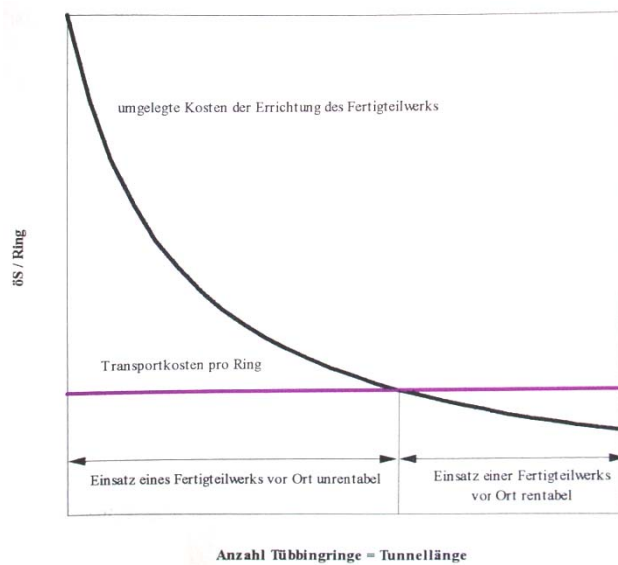


Abbildung 63: Einsatzgrenze Fertigteilewerk vor Ort¹³¹

Bei der Errichtung eines neuen Fertigteilewerkes vor Ort entstehen Investitionskosten durch die Herstellung einer Werkshalle¹³² mit den erforderlichen Einrichtungen (wie Betonmischanlage, Transportsysteme, Betonlabor und spezielle Schalungen für die Tübbinge).

Ist ein bestehendes Fertigteilewerk vorhanden, so fallen Kosten für die Schalungen für die Tübbingherstellung, Adaptierungen an der Anlage so wie zusätzliche Transportkosten auf die Baustelle an.

Bei der Untersuchung des Projektes Wienerwald ändern sich die Einzelkosten, welche bei diesem Projekt für zwei Röhren ausgelegt sind, der Untergruppe Stützmittel der Hauptgruppe Haupttunnel aufgrund der Berücksichtigung von nur einer Tunnelröhre. Der Vergleich der Stützmittelkosten der Einzelkosten der Stützmittel aller in dieser Arbeit betrachteten kontinuierlichen Projekte und die daraus resultierende Auswertung dieser Daten ergibt die Stützmittelkosten für die Untersuchung einer Tunnelröhre.

Zunächst werden die Einzelkosten der Stützmittel aller drei kontinuierlichen Projekte in einer Tabelle aufgelistet (siehe Tabelle 24) bzw. in einem Diagramm dargestellt (siehe Abbildung 64). Es wird in diesem Diagramm eine potentielle Regression in Microsoft Excel eingeführt.

Projekt	Länge des Stützmitteleinbaues [km]	Einzelkosten der Stützmittel [€/m ²]
Perschling	6,21	113,40
Wienerwald	21,469	84,80
Pfänder	6,41	104,10

Tabelle 24: Längenabhängige Kosten der Auskleidung (kontinuierlicher Vortrieb)

¹³¹ Wachter 1997, S. 147.

¹³² Vgl. ebenda, S. 146.

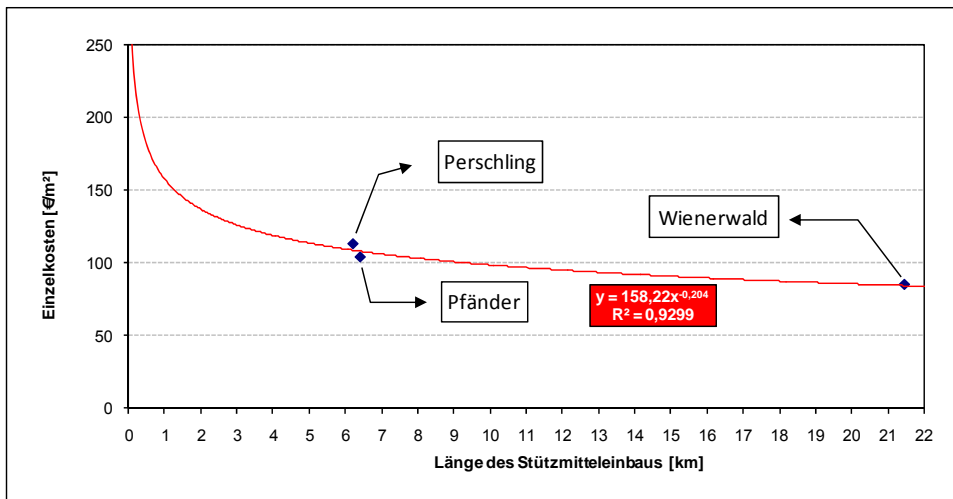


Abbildung 64: Längenabhängige Einzelkosten der Stützmittel

Mit der Hilfe dieser Trendlinie (potentielle Regression mit der Gleichung: $f(x) = 158,22 \times x^{-0,204}$; Die Variable x gibt die Tunnellänge in Kilometern an.) werden die Einzelkosten der Stützmittel für alle im Weiteren untersuchten Projekte (siehe Kapitel 5.2) ermittelt.

Für dieses Projekt, bei dem nur mehr eine Tunnelröhre betrachtet wird, ergeben sich bei der vorhandenen Tunnellänge von 10,75 km Einzelkosten von 97,5 €/m² (Auswertung der potentiellen Regression mit $x = 10,75$). Die Kosten steigen von 84,8 (beim ursprünglichen Projekt) auf 97,5 €/m².

Für die weiteren untersuchten Projekte sind die errechneten Kosten in der folgenden Tabelle angegeben.

Länge des Projektes [km]	Kosten der Stützmittel [€/m ²]
3,00	126,5
6,00	109,8
10,75	97,5

Tabelle 25: Berechnung der Stützmittelkosten für alle Projekte

Die ermittelten Einzelkosten der Untergruppe Stützmittel fließen in der detaillierten Auswertung in Anlage 4 ein.

Hauptgruppen

Für die kontinuierliche Variante des Projektes Wienerwald ergibt sich folgende Kostenübersicht. Es sind dabei die Variante mit zwei und einer Tunnelröhre nachfolgende dargestellt. Im Weiteren wird aber nur mehr die Variante mit einer Tunnelröhre berücksichtigt. Die Berechnungen sind in der Anlage 4 dargestellt.

Hauptgruppen	Kosten (2 Röhren)	Prozent	Kosten (1 Röhre)	Prozent
Haupttunnel [H]	136.626.445 €	94,4%	68.313.223 €	94,4%
Vor- & Nacharbeiten [V]	8.123.540 €	5,6%	4.061.770 €	5,6%
Vorarbeiten Innenscha. [IS]	0 €	0,0%	0 €	0,0%
Betrachtete Kosten	144.749.985 €	100,0%	72.374.993 €	100,0%

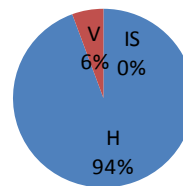


Tabelle 26: Hauptgruppen Wienerwald (kontinuierlich)

Abbildung 65: Wienerwald (zyklisch)

Die Hauptgruppe Haupttunnel verursacht etwa 94 % der betrachteten Kosten. Die Kosten der Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten belaufen sich auf rund sechs Prozent der betrachteten Kosten. Die Hauptgruppe Vorarbeiten Innenschalenherstellung ist für dieses Projekt nicht vorhanden.

Hauptgruppe Haupttunnel

Die Kostengruppe Haupttunnel gliedert sich folgendermaßen auf:

<i>Kosten der Hauptgruppe Haupttunnel</i>		<i>Anteil an den betrachteten Kosten (inkl. IS)</i>	<i>Anteil an den betrachteten Teilkosten</i>
<i>Untergruppen</i>	<i>Kosten</i>		
Lohnkosten Gewerbliches Personal [LG]	14.688.000 €	20,3%	21,5%
Lohnkosten Bauleitung [LB]	2.000.000 €	2,8%	2,9%
Geräte [G]	11.300.000 €	15,6%	16,5%
Stützmittel [S]	35.166.222 €	48,6%	51,5%
Ausbruch [A]	5.159.001 €	7,1%	7,6%
Betrachtete Teilkosten	68.313.223 €	94,4%	100,0%

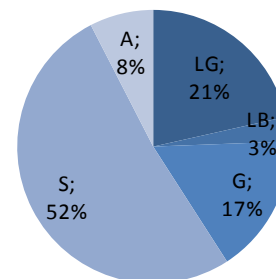


Tabelle 27: Hauptgruppe Haupttunnel Wienerwald (kontinuierlich)

Abbildung 66: Haupttunnel Wienerwald (kont.)

Die Lohnkosten für das Gewerbliche Personal betragen rund 21 % der betrachteten Teilkosten. Der Anteil der Kosten der Bauleitung ist mit etwa drei Prozent relativ gering. Die Gerätekosten verursachen zirka 16 % der Kosten der Hauptgruppe Haupttunnel. Für Stützmittel beläuft sich der Anteil auf rund 52 %. Der Ausbruch macht etwa sieben Prozent der Kosten aus.

Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten

Die Kosten der Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten werden auch in diesem Fall auf die Hälfte reduziert, da im ursprünglichen Fall für die beiden Tunnel eine Startröhre herzustellen ist.

Kosten der Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten		Anteil an den betrachteten Kosten (inkl. IS)	Anteil an den betrachteten Teilkosten
Untergruppen	Kosten		
Lohnkosten Gewerbliches Personal [VLG]	1.528.020 €	2,1%	37,6%
Lohnkosten Bauleitung [VLB]	590.000 €	0,8%	14,5%
Geräte [VG]	1.858.750 €	2,6%	45,8%
Stützmittel [VS]	65.000 €	0,1%	1,6%
Ausbruch [VA]	20.000 €	0,0%	0,5%
Betrachtete Teilkosten	4.061.770 €	5,6%	100,0%

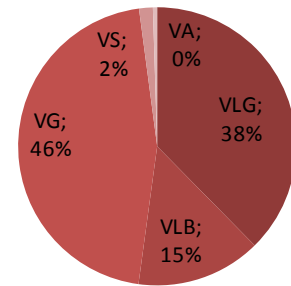


Tabelle 28: Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten Wienerwald

Abbildung 67: Vor- und Nacharbeiten Wienerwald

Die Lohnkosten des gewerblichen Personales verursachen knapp zirka 38 % der Kosten der Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten (betrachtete Teilkosten). Die Ausgaben für die Bauleitung belaufen sich auf rund 15 %. Für Geräte ist der größte Teil mit knapp 46 % aufzuwenden. Die Stützmittel machen mit etwa zwei Prozent nur einen geringeren Anteil aus. Die Ausbruchskosten haben mit rund einem Prozent noch einen geringeren Anteil an den Kosten der Vor- und Nacharbeiten.

5.1.3.3 Gegenüberstellung zyklischer und kontinuierlicher Vortrieb – Wienerwald

Die Realisierung dieses Tunnelbauprojektes erfolgt mit dem kontinuierlichen Vortrieb. Die Kostenschätzung auf der Grundlage der Daten aus den Fragebögen spiegelt diese Entscheidung wieder (zykl.: ~108 Mio-€ / kont.: ~ 72 Mio-€). Die zusätzlichen Aufwendungen für einen Zusatzangriff beim zyklischen Vortrieb sind mehr als drei Mal so hoch wie die Kosten der Vor- und Nacharbeiten beim kontinuierlichen Vortrieb. Die kostentreibenden Faktoren des zyklischen Vortriebes liegen vor allem in den Lohnkosten für gewerbliches Personal und für die Bauleitung. Es sind jedoch bis auf die Untergruppe Stützmittel auch alle anderen Kostengruppen des zyklischen Vortriebes höher als die des kontinuierlichen Vortriebes.

Die Betrachtung der Hauptgruppe Haupttunnel zeigt, dass beim zyklischen Vortrieb der Anteil der Lohnkosten sowohl des gewerblichen Personals (zykl.: ~34 % / kont.: ~22 %) als auch der Bauleitung (zykl.: ~7 % / kont.: ~3 %) weitaus höher sind. Die Anteile der Geräte (zykl.: ~14 % / kont.: ~17 %) bzw. der Stützmittel (zykl.: ~36 % / kont.: ~51 %) sind beim zyklischen Vortrieb geringer als beim kontinuierlichen. Die Kosten für die Untergruppe Ausbruch (zykl.: ~9 % / kont.: ~8 %) sind beim zyklischen Vortrieb im Vergleich zum kontinuierlichen knapp höher.

5.1.4 Zusammenfassung

5.1.4.1 Unterschiede bei den ursprünglichen Projekten

Die Kosten der einzelnen Untergruppen der Hauptgruppe werden durch Projekttrandbedingungen beeinflusst.

Wesentliche Unterschiede bei den Projekten:

Vortriebsgeschwindigkeit

Die Vortriebsgeschwindigkeit beeinflusst die zeitgebundenen Kosten. Aufgrund geologischer Randbedingungen und dem damit verbundenen Anteil an Spreng- und Baggervortrieb ergeben sich beim zyklischen Vortrieb unterschiedliche Kosten. Die Vortriebsgeschwindigkeiten schwanken zwischen zirka vier und rund fünf Meter pro Arbeitstag (Pfänder: 5,04 m/AT, Perschling 4,00 m/AT und Wienerwald 4,59 m/AT; siehe Fragebögen).

Beim kontinuierlichen Vortrieb hängt die Vortriebsgeschwindigkeit von der Geologie und von der Größe des Durchmesser der Tunnelbohrmaschine ab. Die Vortriebsgeschwindigkeit reichen von rund 11 bis 18 Metern pro Arbeitstag (Pfänder: 16,57 m/AT, Perschling 11,19 m/AT und Wienerwald 17,89 m/AT).

Stützmittel

Die geologischen Randbedingungen beeinflussen nicht nur die Vortriebsgeschwindigkeit, sondern auch die Kosten für Stützmittel und Ausbruch.

Die Ausbruchskosten beim zyklischen Vortrieb sind beim Projekt Pfänder höher als bei den beiden anderen Projekten (Pfänder: 13,8 €/m²; Perschling und Wienerwald: 10,6 €/m²). Die Stützmittelkosten sind beim Projekt Pfänder am geringsten (89,5 m²; Perschling 102,5 €/m²; Wienerwald: 108,5 €/m²).

Die Ausbruchskosten beim kontinuierlichen Vortrieb bezogen auf die Querschnittfläche sind bei allen Projekten etwa gleich. Die Stützmittelkosten (pro Quadratmeter Querschnittfläche) sind beim Projekt Perschling am größten (Perschling: 113,4 €/m²; Pfänder: 104,1 €/m² und Wienerwald: 84,8 €/m²). Einerseits haben hier die geologischen Randbedingungen einen Einfluss auf die Einzelkosten und andererseits ist die Tübbingherstellung bei längeren Tunnelbauprojekten (siehe Kapitel 5.1.3.2) meist günstiger.

Vorarbeiten Innenschalenherstellung

Je nach Querschnitttyp ergeben für den zyklischen und den kontinuierlichen Vortrieb unterschiedliche Kosten vor der Herstellung der Innenschale (siehe Kapitel 5). Bei den in dieser Arbeit betrachteten Projekten zeigt sich, dass diese Kosten (Hauptgruppe Vorarbeiten Innenschalenherstellung) bei den kontinuierlichen Projekten höher ausfallen. So ergeben sich beim kontinuierlichen Projekt Pfänder höhere Kosten von etwa 1,3 Millionen Euro (zykl.:

~17,5 Mio-€ / kont.: ~18,8 Mio-€) als beim zyklischen Vortrieb. Beim Projekt Perschling sind die Kosten der Hauptgruppe Vorarbeiten Innenschalenherstellung um etwa 3,2 Millionen Euro beim kontinuierlichen Projekt höher als beim zyklischen (zykl.: ~ 7,5 Mio-€ / kont.: ~ 10,7 Mio-€). Beim Projekt Wienerwald ergeben sich aufgrund des vorhandenen Querschnittes keine wesentlichen Kosten für die Hauptgruppe Vorarbeiten Innenschalenherstellung.

In den weiteren Betrachtungen wird die Hauptgruppe Vorarbeiten Innenschalenherstellung nicht mehr betrachtet. Aufgrund des großen Unterschiedes dieser Hauptgruppe bei den drei Projekten wird diese Kostengruppe im Weiteren nicht mehr betrachtet, da die Ergebnisse dadurch verzerrt würden. Für die Entscheidungsfindung zwischen zyklischem und kontinuierlichem Vortrieb ist diese Kostengruppe aber für jedes Projekt zu untersuchen.

5.1.4.2 Übersicht über die betrachteten Kosten der ursprünglichen Projekte

Im Folgenden werden die betrachteten Kosten (ohne die Hauptgruppe Vorarbeiten Innenschalenherstellung) der mit den Fragebögen untersuchten Projekte in der Tabelle 29 dargestellt. Dabei ist die wirtschaftlichere Variante jedes Projektes fett unterlegt. Beim Projekt Wienerwald wird, wie bereits erwähnt, die Herstellung nur von einer Tunnelröhre betrachtet.

Projekt	<i>Zyklischer Vortrieb</i>		<i>Kontinuierlicher Vortrieb</i>	
	Tunnellänge	Betr. Kosten	Tunnellänge	Betr. Kosten
[]	[km]	[Mio-€]	[km]	[Mio-€]
Perschling	6,272	66,04	6,272	75,24
Pfänder	6,531	61,45	6,531	63,09
Wienerwald	10,755	107,52	10,755	72,37

Tabelle 29: Zusammenfassung der betrachteten Kosten

Es sind alle drei Projekte in den beiden Vortriebsarten dargestellt.

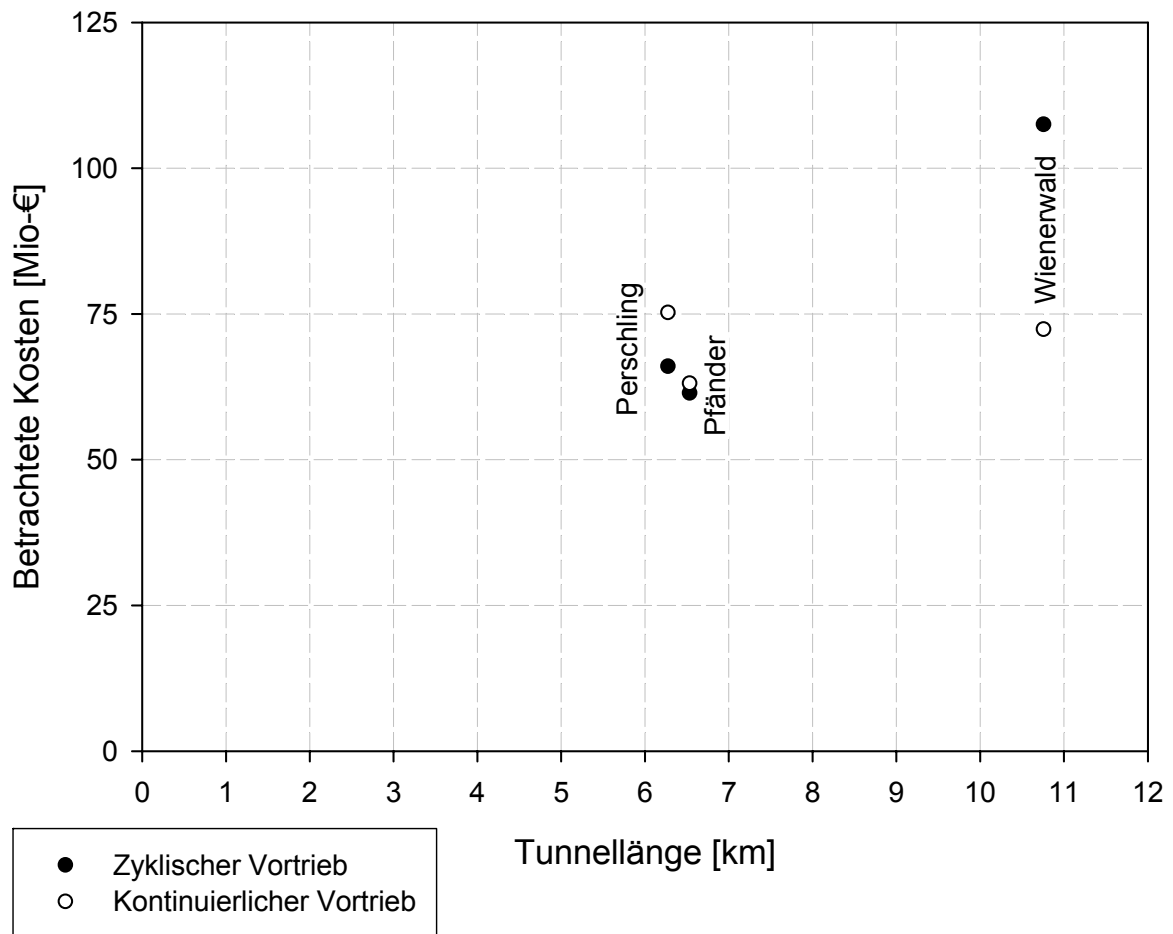


Abbildung 68: Übersicht über die betrachteten Kosten

Pfänder

Beim Projekt Pfänder liegt der zyklische und der kontinuierliche Vortrieb bei den betrachteten Kosten (ohne die Hauptgruppe Vorarbeiten Innenschalenherstellung) nur um rund zwei Millionen Euro auseinander. Der Anteil der Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten an den betrachteten Gesamtkosten beläuft sich auf rund 16 %.

Perschling

Der Unterschied zwischen dem zyklischen und dem kontinuierlichen Vortrieb liegt beim Projekt Perschling bei etwa neun Millionen Euro (ohne die Hauptgruppe Vorarbeiten Innenschalenherstellung). Die Kosten sind im Vergleich zum Projekt Pfänder bei den beiden Vortriebsarten höher, da ein größerer Querschnitt vorhanden ist. Aufgrund des größeren Querschnitts ist auch die Vortriebsgeschwindigkeit niedriger als bei den beiden anderen Projekten. Der Anteil der Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten an den betrachteten Kosten beläuft sich auf rund 14 %.

Wienerwald

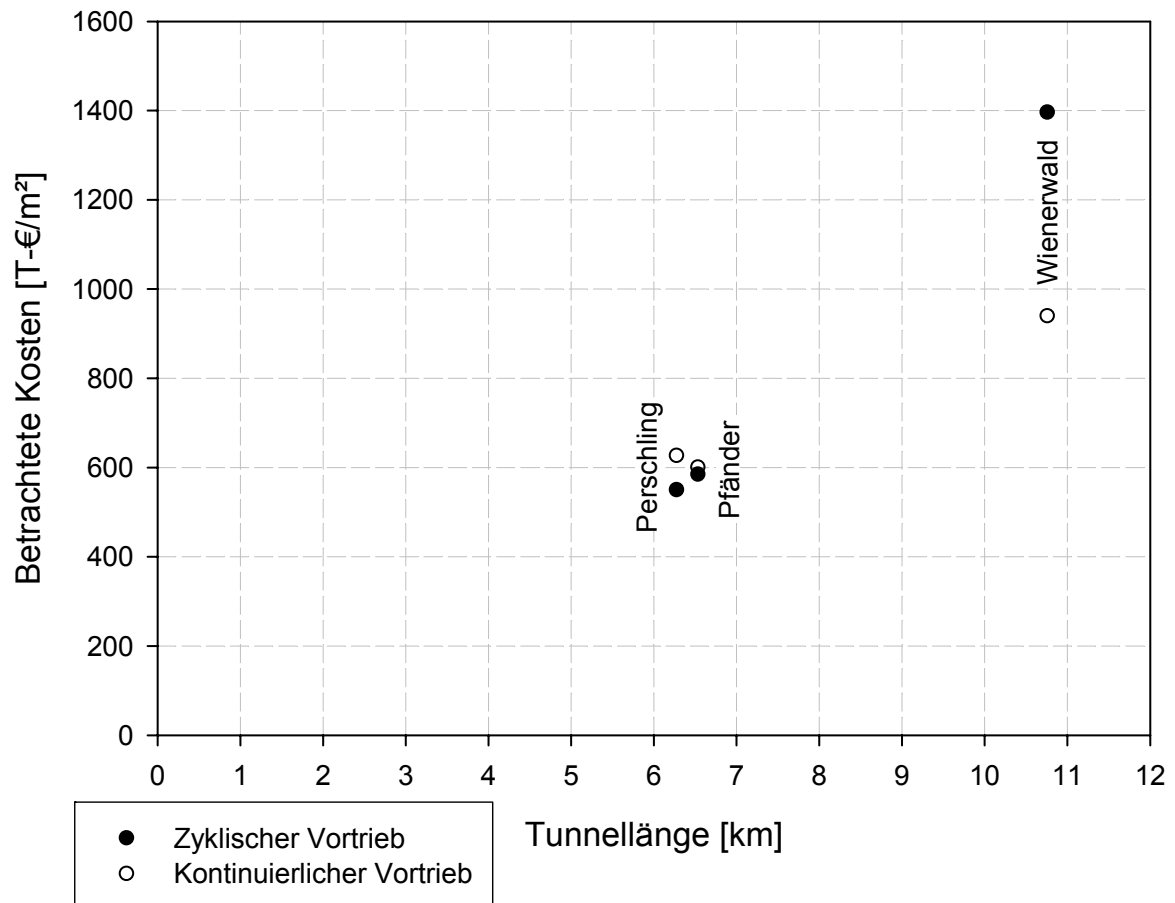
Der Unterschied des zyklischen und des kontinuierlichen Vortriebes der betrachteten Kosten (ohne die Hauptgruppe Vorarbeiten Innenschalenherstellung) beträgt rund 35 Millionen Euro. Der Querschnitt des Projektes Wienerwald ist der kleinste aller drei Projekte. Aufgrund der günstigeren Stützmittelkosten als bei den beiden kürzeren Projekten und der höheren Vortriebsgeschwindigkeit scheint das Projekt Wienerwald billiger als das Projekt Perschling zu sein, obwohl die Tunnellänge bei den betrachteten Kosten deutlich länger ist. Der Anteil der Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten an den betrachteten Gesamtkosten beläuft sich auf rund sechs Prozent. Der Zusatzangriff verursacht etwa 13 % der betrachteten Gesamtkosten beim zyklischen Vortrieb.

5.1.4.3 Übersicht über die betrachteten Kosten bezogen auf die Querschnittsfläche

In der bisherigen Betrachtung wird die Querschnittsfläche der Vortriebsarten (zyklisch bzw. kontinuierlich) und der betrachteten Projekte (Pfänder, Perschling bzw. Wienerwald) nicht beachtet. In der nachfolgenden Tabelle und im anschließenden Diagramm sind die Kosten auf die Querschnittsflächen der jeweiligen zyklischen Vortriebe bezogen. Die Verwendung der zyklischen Querschnittsflächen als Bezugsfläche trägt dem nicht notwendigen Mehrausbruch des kontinuierlichen Querschnittes Rechnung.

Projekt	zyklische Querschnittfläche	<i>Zyklischer Vortrieb</i>			<i>Kontinuierlicher Vortrieb</i>		
		Tunnellänge	Betr. Kost.	Betr. Kost.	Tunnellänge	Betr. Kost.	Betr. Kost.
[]	[m ²]	[km]	[Mio-€]	[T-€/m ²]	[km]	[Mio-€]	[T-€/m ²]
Perschling	120	6,272	66,04	550,33	6,272	75,24	627,04
Pfänder	105	6,531	61,45	585,24	6,531	63,09	600,82
Wienerwald	77	10,755	107,52	1396,42	10,755	72,37	939,93

Tabelle 30: Zusammenfassung der betrachtete Kosten (bezogen auf die Querschnittfläche)

Abbildung 69: Übersicht Datenanalyse bezogen auf die Querschnittfläche [T-€/m²]

Durch den Bezug der betrachteten Kosten auf einen Quadratmeter Querschnittfläche (des zyklischen Vortriebes) wird der Einfluss der unterschiedlichen Größen der Querschnitte der einzelnen Projekte berücksichtigt. Dadurch sind die betrachteten Kosten des Projektes Wienerwald nun höher als bei den beiden anderen Projekten (Vgl. Abbildung 68). Im Weiteren ist der Unterschied der betrachteten Kosten der Projekte Pfänder und Perschling kleiner. Das Projekt Perschling weist höhere betrachtete Kosten auf, da die zeitgebundenen Kosten aufgrund der niedrigeren Vortriebsgeschwindigkeit (bedingt durch die vorhandene Projekttrandbedingung des größeren Ausbruchsquerschnittes) größer sind.

5.2 Fiktive Tunnellängen

Um das Ziel dieser Arbeit, die Ermittlung wirtschaftlicher Einsatzgrenzen bezüglich der Tunnellänge, zu erreichen, werden im Folgenden nun mit den Randbedingungen der drei Projekte (Pfänder, Perschling und Wienerwald) Kostenschätzungen (Die Hauptgruppe Vorarbeiten Innenschalenherstellung wird dabei nicht mehr berücksichtigt. Siehe Kapitel 5.1.4 - Vorarbeiten Innenschalenherstellung) für unterschiedliche Tunnellängen durchgeführt. Die Grundlage dafür bilden die erhaltenen Daten der Fragebögen (siehe Anlage 1).

Für folgende Tunnellängen werden die Kosten betrachtet:

Kilometer „Null“

Der Kilometer „Null“ wird untersucht, um die Kosten für eine Vortriebsbereitschaft zu ermitteln. Dabei werden die zeitgebundenen Kosten vernachlässigt. Die Untersuchung dieser Tunnellänge wird für alle drei Projekte (Pfänder, Perschling und Wienerwald) sowohl für die zyklische als auch für die kontinuierliche Vortriebsvariante durchgeführt. Es sollen dabei die Höhe der Fixkosten für die Geräte und die Kosten für einen Zusatzangriff beim zyklischen Vortrieb und die Kosten für Vorarbeiten beim kontinuierlichen Vortrieb festgestellt werden. Beim kontinuierlichen Vortrieb werden bei den Kosten der Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten die Kosten für die Nacharbeiten nicht berücksichtigt (diese werden anteilmäßig reduziert).

Kilometer „Drei“

Der Kilometer „Drei“ wird untersucht, um den Einfluss der Fixkosten bei kürzeren Tunnellängen darzustellen. Die Kosten für diesen Fall werden wiederum für alle drei Projekte (Variante zyklischer und kontinuierlicher Vortrieb) abgeschätzt. Beim Projekt Wienerwald wird der Zusatzangriff des ursprünglichen Projektes für den zyklischen Vortrieb nicht beachtet, da ein Tunnel mit einer Länge von drei Kilometern im Regelfall nicht mit einem Zusatzangriff ausgeführt wird.

Kilometer „Sechs“

Für das Projekt Wienerwald wird der Kilometer „Sechs“ untersucht, um einen direkten Vergleich zu den Projekten Perschling (~ 6km) und Pfänder (~ 6 km) herstellen zu können. Für die Kalkulation dieser Tunnellänge wird beim Projekt Wienerwald der Zusatzangriff nicht berücksichtigt, da die Tunnellänge in der Realität von einer Seite aufgefahren wird. Da bei den Projekten Pfänder und Perschling auch kein Zusatzangriff ausgeführt wird, wäre ein Vergleich der drei Projekte miteinander bei dieser Tunnellänge schwierig.

Kilometer „Elf“

Die Untersuchung erfolgt für die Projekte Pfänder und Perschling. Die gewählte Länge entspricht der Tunnellänge des Projektes Wienerwald. Dadurch können die drei Projekte bei dieser Tunnellänge verglichen werden.

5.2.1 Tunnellänge „Null“

Die Betrachtung der Tunnellänge fiktiven Tunnellänge „Null“ erfolgt, um die Kosten, welche für eine Herstellung der Vortriebsbereitschaft entstehen würden, bestimmen zu können. Durch diese Vorgangsweise werden keine zeitgebundenen Kosten des Vortriebes berücksichtigt. Alle Berechnungen der Tunnellänge „Null“ sind in Anlage 5 dargestellt.

5.2.1.1 Pfändertunnel – Kilometer „Null“

Die Kosten für beide Vortriebsarten sind im Folgenden für die Tunnellänge „Null“ dargestellt.

5.2.1.1.1 Zyklischer Vortrieb – Pfänder „Null“

Da kein Vortrieb aufgefahren wird, sind weder längenabhängige noch zeitgebundene Kosten aus dem Vortrieb vorhanden. Die Kostenschätzung erfolgt für eine Vortriebsbereitschaft von beiden Seiten aus.

Hauptgruppen

Beim zyklischen Vortrieb dieses Projektes sind die Fixkosten auf Investitionen für Geräte beschränkt. Die Übersicht über die Kosten der Hauptgruppen ist in Tabelle 31 dargestellt. In Anlage 5 ist die Aufgliederung der Kosten dargestellt.

Hauptgruppen	Kosten	Prozent
Haupttunnel [H]	2.000.000 €	100,0%
Zusatzangriff [Z]	0 €	0,0%
Betrachtete Kosten	2.000.000 €	100,0%

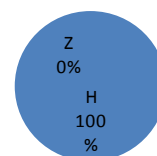


Abbildung 70: Pfänder „Null“ (zykl.)

Tabelle 31: Hauptgruppen Pfänder „Null“ (zyklisch)

5.2.1.1.2 Kontinuierlicher Vortrieb – Pfänder „Null“

Es fallen für dieses Projekt die Kosten für Geräteinvestitionen und für Vorarbeiten zur Herstellung der Betriebsbereitschaft der Tunnelbohrmaschine an. Die Kosten der Vorarbeiten werden aus den ursprünglichen Kosten der Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten nach den Randbedingungen des Projektes abgeleitet. Die Kosten der Hauptgruppe werden mit 75 % des ursprünglichen Projektes angenommen (dargestellt ist diese Reduktion der Kosten in der vierten Spalte Kosten (V. red.)). Der Faktor berücksichtigt dabei die Herstellung einer länge-

ren Startröhre (wie erwähnt aufgrund geologischer Randbedingungen) im Vergleich zu üblichen und den etwas höheren Aufwand für die Montage als für die Demontage der TBM.

Hauptgruppen

Die Übersicht über die Hauptgruppen zeigt die nachfolgende Tabelle.

Hauptgruppen	Kosten	Prozent	Kosten (V. red.)	Prozent
Haupttunnel [H]	12.981.000 €	56,0%	12.981.000 €	62,9%
Vorarbeiten [V]	10.205.000 €	44,0%	7.653.750 €	37,1%
Betrachtete Kosten	23.186.000 €	100,0%	20.634.750 €	100,0%

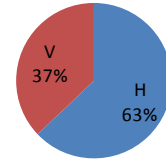


Tabelle 32: Hauptgruppen Pfänder „Null“ (kontinuierlich)

Abbildung 71: Pfänder „Null“ (kont.)

Wie erwartet schlagen sich die hohen Investitionskosten für die Tunnelbohrmaschine nieder (63 % der betrachteten Kosten). Der Anteil der Hauptgruppe Vorarbeiten beträgt rund 37 % der betrachteten Kosten aufgrund einer aufwendigen Startröhrenherstellung, die geologisch bedingt ist.

5.2.1.1.3 Gegenüberstellung zyklischer und kontinuierlicher Vortrieb – Pfänder „Null“

Beim zyklischen Vortrieb betragen die Kosten der Hauptgruppe Haupttunnel zwei Millionen Euro (Investitionskosten für Geräte). Ein Zusatzangriff ist nicht vorhanden.

Beim kontinuierlichen Vortrieb belaufen sich die Kosten der Hauptgruppe Haupttunnel auf rund 13 Millionen Euro (Investitionskosten für Geräte). Die Hauptgruppe Vorarbeiten verursachen Kosten in der Höhe von rund acht Millionen Euro.

Der Vergleich zeigt, dass beim kontinuierlichen Vortrieb die rund sechsfachen Kosten für Geräteinvestitionen (bedingt durch die Anschaffung der Tunnelbohrmaschine) anfallen. Zusätzlich kommen noch die Kosten für die Hauptgruppe Vorarbeiten beim kontinuierlichen Vortrieb hinzu. Beim zyklischen Vortrieb fallen keine weiteren Kosten zu den Geräteinvestitionen an.

5.2.1.2 Tunnelkette Perschling – Kilometer „Null“

5.2.1.2.1 Zyklischer Vortrieb – Perschling „Null“

Die Daten des Fragebogens der Tunnelkette Perschling weisen für die Herstellung der Vortriebsbereitschaft von beiden Seiten keine Kosten auf. Die normalerweise notwendigen Geräteinvestitionen entfallen für dieses Projekt, da für den Vortriebszeitraum für die Baufirma, von der die Daten der Fragebögen stammen, alle Gerätschaften schon von vorhergegangenen Baustellen zur Verfügung gestanden wären.

5.2.1.2.2 Kontinuierlicher Vortrieb – Perschling „Null“

Beim Projekt Perschling ist es notwendig die Tunnelbohrmaschine zweimal umzusetzen. Dadurch entstehen höhere Kosten für die Hauptgruppe der Vorarbeiten. Für dieses Projekt wird nur die Erstmontage vor dem ersten Vortrieb betrachtet (Vernachlässigung der Umsetzungsvorgänge). Die betrachteten Kosten der Hauptgruppe Vorarbeiten werden aus den ursprünglichen Kosten der Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten abgeleitet. Die Hauptgruppe Vorarbeiten wird mit 25 % (Kosten (V. red.)) der ursprünglichen Kosten angenommen. Der Grund für die Wahl des geringen Anteils liegt in der Vernachlässigung der Umsetzungsvorgänge, die einen wesentlichen Teil der Kosten ausmachen. Außerdem wird die Demontage nicht berücksichtigt.

Hauptgruppen

Hauptgruppen	Kosten	Prozent	Kosten (V. red.)	Prozent
Haupttunnel [H]	12.000.000 €	52,6%	12.000.000 €	81,6%
Vorarbeiten [V]	10.807.200 €	47,4%	2.701.800 €	18,4%
Betrachtete Kosten	22.807.200 €	100,0%	14.701.800 €	100,0%

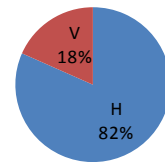


Abbildung 72:
Perschling „Null“
(kont.)

Tabelle 33: Hauptgruppen Perschling „Null“ (kontinuierlich)

Die Hauptgruppe Haupttunnel ergibt rund 82 % der betrachteten Gesamtkosten. Für die reduzierten Kosten der Hauptgruppe Vorarbeiten beläuft sich der Anteil auf etwa 18 % der betrachteten Gesamtkosten.

5.2.1.2.3 Gegenüberstellung zyklischer und kontinuierlicher Vortrieb – Perschling „Null“

Beim zyklischen Vortrieb sind keine Fixkosten vorhanden. Beim kontinuierlichen Vortrieb sind Investitionen für Geräte (~ 12 Mio-€) vorhanden. Zusätzlich ergeben sich noch Kosten für die Hauptgruppe Vorarbeiten (~ 3 Mio-€).

5.2.1.3 Wienerwaldtunnel – Kilometer „Null“

Für die Vergleichbarkeit mit den beiden anderen Projekten für diese Tunnellänge, werden analog zur Betrachtung des ursprünglichen Projektes, die Kosten für die Herstellung von einer Tunnelröhre betrachtet.

5.2.1.3.1 Zyklischer Vortrieb – Wienerwald „Null“

Für die Vortriebsbereitschaft fallen nur Kosten für die Geräteinvestitionen an.

Hauptgruppen

Die Kosten für die Tunnellänge werden durch die Gerätekosten bestimmt. Wie beim ursprünglichen Projekt Wienerwald werden die Kosten nur für eine Röhre betrachtet. Da kein Zusatzangriff betrachtet wird, reduzieren sich die Vortriebe je Tunnelröhre von zwei Hauptvortrieben und einem Nebenvortrieb auf einen Hauptvortrieb von Westen aus. Deshalb werden die Investitionskosten für die Geräte halbiert (Für den Nebenvortrieb sind keine Investitionskosten veranschlagt.). Wie zuvor erwähnt, wird die Herstellung des Zugangstunnels für die Zusatzangriffe nicht betrachtet. Die vierte Spalte (Kosten (1.R.&ohneZ.)) zeigt die Kosten für die Betrachtung einer Tunnelröhre und ohne Zusatzangriff.

Hauptgruppen	Kosten (2 Röhren)	Prozent	Kosten (1 R.&ohne Z.)	Prozent
Haupttunnel [H]	4.000.000 €	21,9%	1.000.000 €	100,0%
Zusatzangriff [Z]	14.245.280 €	78,1%	0 €	0,0%
Betrachtete Kosten	18.245.280 €	100,0%	1.000.000 €	100,0%

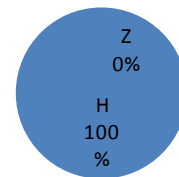


Tabelle 34: Hauptgruppen Wienerwald „Null“ (zyklisch)

Abbildung 73: Wienerwald „Null“ (zykl.)

Aus den oben genannten Bedingungen fallen nur Kosten für die Hauptgruppe Haupttunnel an. Die Hauptgruppe Zusatzangriff beinhaltet daher keine Kosten für dieses Projekt.

5.2.1.3.2 Kontinuierlicher Vortrieb – Wienerwald „Null“

Die Kosten bestimmen wieder die Geräteinvestitionen und die Kosten für die Vorarbeiten. Die Hauptgruppe Haupttunnel wird aufgrund der Betrachtung von nur einer Tunnelröhre halbiert. Die Kosten der Hauptgruppe Vorarbeiten wird nach den vorhandenen Randbedingungen reduziert. Der Anteil wird mit 55 % der ursprünglichen Kosten der Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten angenommen. Bei diesem Projekt ist eine übliche Startröhrenlänge vorhanden und der Anteil der Montage und Demontage etwa gleich.

Hauptgruppen

Hauptgruppen	Kosten	Prozent	Kosten (1 R. & V. red.)	Prozent
Haupttunnel [H]	20.000.000 €	71,1%	10.000.000 €	69,1%
Vorarbeiten [V]	8.123.540 €	28,9%	4.467.947 €	30,9%
Betrachtete Kosten	28.123.540 €	100,0%	14.467.947 €	100,0%

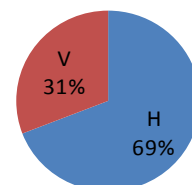


Tabelle 35: Hauptgruppen Wienerwald „Null“ (kontinuierlich)

Abbildung 74: Wienerwald „Null“ (kont.)

Die betrachteten Kosten belaufen sich auf zirka 14 Millionen Euro, um die Vortriebsbereitschaft herzustellen. Der Anteil der Hauptgruppe Haupttunnel beträgt rund 69 % der betrachteten Kosten. Die Vorarbeiten belaufen sich auf etwa 31 % der betrachteten Kosten.

5.2.1.3.3 Gegenüberstellung zyklischer und kontinuierlicher Vortrieb – Wienerwald „Null“

Die Fixkosten beim zyklischen Vortrieb entstehen durch Investitionen für Geräte (~1 Mio-€) für einen Hauptvortrieb von Westen aus.

Beim kontinuierlichen Vortrieb sind Investitionen für Geräte (~ 10 Mio-€) vorhanden. Zusätzlich ergeben sich noch Kosten für die Hauptgruppe Vorarbeiten (~ 4 Mio-€).

Beim Projekt Wienerwald sind daher die Kosten für die Herstellung der Vortriebsbereitschaft beim zyklischen Vortrieb niedriger als beim kontinuierlichen Vortrieb.

5.2.1.4 Zusammenfassung Kilometer „Null“ – Herstellung der Vortriebsbereitschaft

Zusammenfassend zeigt sich, dass die Gerätekosten beim kontinuierlichen Vortrieb deutlich höher sind als beim zyklischen Vortrieb (Bsp. Wienerwald: zykl.: ~1 Mio-€ / kont.: ~14 Mio-€). Die Anteile der Vorarbeiten schwanken beim kontinuierlichen Vortrieb zwischen rund 18 % (beim Projekt Perschling; ~2,7 Mio-€) und 37 % (beim Projekt Pfänder; ~7,7 Mio-€) der betrachteten Kosten. Beim Projekt Wienerwald belaufen sich die Kosten der Vorarbeiten auf etwa 31 % (~4,5 Mio-€) der betrachteten Kosten.

5.2.2 Tunnellänge „Drei“

5.2.2.1 Pfändertunnel – Kilometer „Drei“

Für den Pfändertunnel bleiben die Randbedingungen unverändert und die Tunnellänge wird auf drei Kilometer reduziert.

5.2.2.1.1 Zyklischer Vortrieb – Pfänder „Drei“

Ausgehend von der betrachteten Gesamtkosten im Kapitel 5.1.1.1 erfolgt die Umlegung der Kosten auf eine Tunnellänge von drei Kilometern nach folgenden Kriterien:

- Der Vortrieb erfolgt durch einen Vortrieb sowohl vom Norden als auch vom Süden. Würde der Vortrieb nur von einer Seite aus aufgeföhren werden, würden sich die Gesamtkosten nur durch die Geräteinvestitionskosten für den zweiten Vortrieb verringern. Da dies jedoch nur geringe Auswirkungen auf die Projektkosten hätte, wird diese Möglichkeit nicht in der Kostenschätzung berücksichtigt.
- Die Mannstärken der Mannschaften bleiben unverändert. Es reduziert sich der Aufwand aber nach der notwendigen Vortriebszeit.

- Die Geräteinvestitionen verglichen mit dem Ausgangsprojekt bleiben unverändert.
- Um den Einarbeitungseffekt abzuschätzen, werden eine Ober- und Untergrenze der Vortriebsdauer mit der Formel der Lernkurve (siehe Kapitel 2.7.1.2) berechnet. Der Mittelwert dieser Grenzen wird in der weiteren Auswertung berücksichtigt.

Die Kostenschätzung ist der Anlage 6 zu entnehmen.

Hauptgruppen

Abschätzung der Vortriebszeit

Die notwendigen Vortriebstage lassen sich aus der Lernkurve (siehe Kapitel 2.7.1.2), die am ursprünglich kalkulierten Vortriebsverlauf geeicht wird, ermitteln. Eine exakte Vorhersage der Einarbeitung ist nicht möglich. Deshalb wird die Bauzeit mit einem Mittelwert aus einer Ober- und Untergrenze der Lernkurve angenommen.

Ermittlung der Vortriebszeit anhand der Lernkurve

Die Werte τ und c werden als Ober- und Untergrenze in den vorgeschlagenen Bereichen ($1,50 \leq \tau \leq 2,50$ und $0,01 \leq c \leq 0,10$) gewählt.

Die Anzahl der Abschlüge ergibt sich aus einer abgeschätzten mittleren Abschlüglänge von 1,50 m (Abschätzung siehe Anlage 6 und aus den Vortriebslängen (3.265,5 m). Dies ergibt eine Anzahl von 2.177 Abschlügen.

Wie der Anlage 6 zu entnehmen ist ergeben sich Vortriebszeiten von 600 bis 610 Arbeitstagen. Im Weiteren wird mit einer mittleren Vortriebsdauer von 605 Arbeitstagen kalkuliert (siehe Anlage 6).

Zusammenfassung der Kostenaufstellung:

Hauptgruppen	Kosten	Prozent
Haupttunnel [H]	29.941.572 €	100,0%
Zusatzangriff [Z]	0 €	0,0%
Betrachtete Kosten	29.941.572 €	100,0%

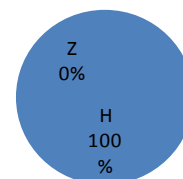


Tabelle 36: Hauptgruppen Pfänder „Drei“ (zyklisch)

Abbildung 75: Pfänder „Drei“ (zyklisch)

Da keine Kosten für die Hauptgruppe Zusatzangriff vorhanden sind, belaufen sich die betrachteten Kosten zur Gänze auf die Hauptgruppe Haupttunnel.

Hauptgruppe Haupttunnel

Die Kostenaufteilung der Hauptgruppe Haupttunnel bringt kleine Unterschiede in den zeitgebundenen Kosten (Lohnkosten gewerbliches Personal und Bauleitung bzw. Gerätekosten) im

Vergleich zum ursprünglichen Projekt. Unabhängig von der Vortriebsdauer sind die längen-abhängigen Kosten für Ausbruch und Stützmittel.

Kosten der Hauptgruppe Haupttunnel		<i>Anteil an den betrachteten Kosten</i>	<i>Anteil an den betrachteten Teilkosten</i>
<i>Untergruppen</i>	<i>Kosten</i>		
Lohnkosten Gewerbliches Personal [LG]	10.113.130 €	33,8%	33,8%
Lohnkosten Bauleitung [LB]	3.677.442 €	12,3%	12,3%
Geräte [G]	5.360.000 €	17,9%	17,9%
Stützmittel [S]	6.444.000 €	21,5%	21,5%
Ausbruch [A]	4.347.000 €	14,5%	14,5%
Betrachtete Teilkosten	29.941.572 €	100,0%	100,0%

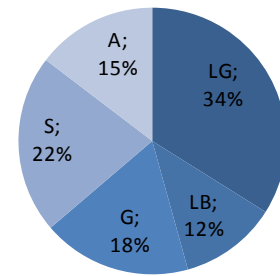


Tabelle 37: Hauptgruppe Haupttunnel Pfänder „Drei“ (zyklisch)

Abbildung 76: Haupttunnel Pfänder „Drei“

Für die Lohnkosten des gewerblichen Personales sind rund 34 % der betrachteten Teilkosten aufzuwenden. Für die Lohnkosten der Bauleitung belaufen sich die Kosten auf etwa zwölf Prozent. Der Anteil der Gerätekosten liegt bei zirka 18 %. Die Kosten für Stützmittel ergeben sich zu rund 22 % und für die Ausbruchskosten sind etwa 15 % zu veranschlagen.

5.2.2.1.2 Kontinuierlicher Vortrieb – Pfänder „Drei“

Folgende Annahmen werden für die Kostenschätzung auf der Grundlage der Daten des Fragebogens getroffen:

- Wie beim ursprünglichen Projekt sind die Kosten für die Geräteinvestitionen und für die Vor- und Nacharbeiten zur Herstellung der Betriebsbereitschaft der Tunnelbohrmaschine vorhanden.
- Der Vortrieb wird von einer Seite mit einer Tunnelbohrmaschine aufgefahren.
- Für die Abschätzung der Vortriebsdauer wird zunächst eine Unter- und Obergrenze ermittelt. Im Weiteren werden die Kosten mit einem Mittelwert aus der Unter- und Obergrenze der Vortriebsdauer abgeschätzt.
- Anpassung der Stützmittelkosten der Hauptgruppe Haupttunnel aufgrund der kürzeren Vortriebslänge (Die Abschätzung ist bei der Auswertung des kontinuierlichen Vortriebes des Projektes Wienerwald in Kapitel 5.1.3.2 angeführt). Wie ebenda beschrieben, sind die Stützmittelkosten beim kontinuierlichen Vortrieb aufgrund vorhandener Fixkosten (wie z.B. Schalungssätze für die Tübbingherstellung, etc.) von der Tunnellänge (sprich der Einbaulänge der Stützmittel) abhängig. Da die Vortriebslänge hier im Vergleich zur ursprünglichen Variante etwa halbiert wird, erfolgt die Anpassung der Einzelkosten der Stützmittel. Bei den Stützmittelkosten für die Vor- und Nacharbeiten wird keine Änderung der Einzelkosten durchgeführt, da die Sicherungsarbeiten konventionell mit Spritzbeton durchgeführt werden.

Hauptgruppen

Zusammenfassung der Untersuchung der Unter- und Obergrenze:

Aus der Auswertung der Einarbeitung ergibt sich für die Untergrenze eine Vortriebsdauer von 192 Arbeitstagen und für die Obergrenze eine Dauer von 216 Arbeitstagen (siehe Anlage 6). Daraus ergibt sich ein Mittelwert für die Vortriebsdauer von 204 Arbeitstagen. Mit diesem Wert ergibt sich folgende Kostenabschätzung:

Hauptgruppen	Kosten	Prozent
Haupttunnel [H]	34.835.680 €	77,3%
Vor- & Nacharbeiten [V]	10.205.000 €	22,7%
Betrachtete Kosten	45.040.680 €	100,0%

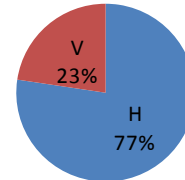


Tabelle 38: Hauptgruppen Pfänder „Drei“ (kontinuierlich)

Abbildung 77: Pfänder „Drei“

Die Hauptgruppe Haupttunnel benötigt rund 77 % der betrachteten Kosten. Für die Hauptgruppe der Vor- und Nacharbeiten beläuft sich der Anteil an den betrachteten Kosten auf rund 23 %.

Hauptgruppe Haupttunnel

Kosten der Hauptgruppe Haupttunnel		Anteil an den betrachteten Kosten	Anteil an den betrachteten Teilkosten
Untergruppen	Kosten		
Lohnkosten Gewerbliches Personal [LG]	4.541.580 €	10,1%	13,0%
Lohnkosten Bauleitung [LB]	1.050.000 €	2,3%	3,0%
Geräte [G]	13.471.000 €	29,9%	38,7%
Stützmittel [S]	14.041.500 €	31,2%	40,3%
Ausbruch [A]	1.731.600 €	3,8%	5,0%
Betrachtete Teilkosten	34.835.680 €	77,3%	100,0%

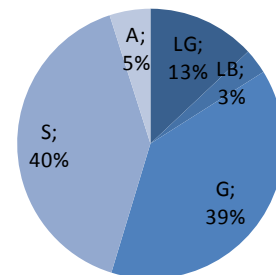


Tabelle 39: Hauptgruppe Haupttunnel Pfänder „Drei“ (kont.)

Abbildung 78: Haupttunnel Pfänder „Drei“ (kont.)

Der Anteil der Lohnkosten des gewerblichen Personals beläuft sich auf rund 13 Prozent der betrachteten Teilkosten. Die Lohnkosten für die Bauleitung liegen bei zirka drei Prozent. Für Gerätekosten ist ein Anteil von etwa 39 % vorhanden. Die Kosten für Stützmittel ergeben sich zu rund 40 % der Kosten der Hauptgruppe Haupttunnel. Der Anteil des Ausbruches ist mit etwa fünf Prozent relativ gering.

Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten

Der Anteil der Vor- und Nacharbeiten an den betrachteten Kosten ist höher als bei der ursprünglichen Variante, da die betrachteten Kosten sinken. Da die Kosten der Vor- und Nacharbeiten unverändert sind, bleiben die Anteile der Untergruppen der Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten an der Hauptgruppe im Vergleich zur ursprünglichen Variante gleich.

Kosten der Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten		Anteil an den betrachteten Kosten	Anteil an den betrachteten Teilkosten
Untergruppen	Kosten		
Lohnkosten Gewerbliches Personal [VLG]	3.402.000 €	7,6%	33,3%
Lohnkosten Bauleitung [VLB]	1.500.000 €	3,3%	14,7%
Geräte [VG]	4.715.000 €	10,5%	46,2%
Stützmittel [VS]	401.000 €	0,9%	3,9%
Ausbruch [VA]	187.000 €	0,4%	1,8%
Betrachtete Teilkosten	10.205.000 €	22,7%	100,0%

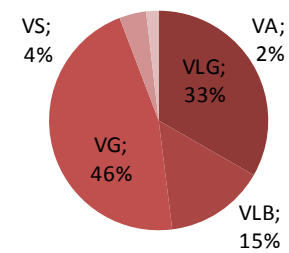


Abbildung 79: Vor- und Nacharb. Pfänder „Drei“

Tabelle 40: Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten Pfänder „Drei“

5.2.2.1.3 Gegenüberstellung zyklischer und kontinuierlicher Vortrieb – Pfänder „Drei“

Die betrachteten Kosten beim zyklischen Vortrieb sind rund 15 Millionen Euro geringer als beim kontinuierlichen Vortrieb (zykl. ~30 Mio-€ / kont.: ~45 Mio-€). Der Unterschied der Hauptgruppen Haupttunnel beträgt etwa fünf Millionen Euro (zykl. ~30 Mio-€ / kont.: ~35 Mio-€). Die Kosten der Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten vergrößert die Differenz beim kontinuierlichen Vortrieb. Die Hauptgruppe Zusatzangriff ist beim zyklischen Vortrieb wie beim ursprünglichen Projekt nicht vorhanden. Für die Tunnellänge „Drei“ des Tunnels Pfänder ist daher die zyklische Vortriebsvariante die wirtschaftlichere.

Die Betrachtung der Hauptgruppe Haupttunnel zeigt, dass beim zyklischen Vortrieb der Anteil der Lohnkosten sowohl des gewerblichen Personals (zykl.: ~34 % / kont.: ~13 %) als auch der Bauleitung (zykl.: ~12 % / kont.: ~3 %) weitaus höher sind. Die Anteile der Geräte (zykl.: ~18 % / kont.: ~39 %) bzw. der Stützmittel (zykl.: ~22 % / kont.: ~40 %) sind beim zyklischen Vortrieb geringer als beim kontinuierlichen. Die Kosten für die Untergruppe Ausbruch (zykl.: ~15 % / kont.: ~5 %) sind beim zyklischen Vortrieb im Vergleich zum kontinuierlichen höher.

5.2.2.2 Tunnelkette Perschling – Kilometer „Drei“

5.2.2.2.1 Zyklischer Vortrieb – Perschling „Drei“

Folgende Randbedingungen werden der Kostenabschätzung zugrunde gelegt:

- Die Vortriebe erfolgen wie beim ursprünglichen Projekt:
 - Raingrubentunnel (Vortriebslänge von 2.108 m auf 1.043 m reduziert)
 - Reiserbergtunnel (Vortriebslänge von 1.307 m auf 647 m verkürzt)
 - Stierschweifeldtunnel (Änderung von 2 Vortrieben von je 1.323 m zu einem Vortrieb mit 1.310 m)
- Die Mannstärken der Mannschaften bleiben unverändert. Es reduziert sich der Aufwand aber nach der notwendigen Vortriebszeit.

Abschätzung der Vortriebszeit

Die notwendigen Vortriebstage werden wieder über die Lernkurve ermittelt (siehe Anlage 6). Als Ergebnis der Berechnung erhält man als Obergrenze 761 Arbeitstage und als Untergrenze 754 Arbeitstage. Der Mittelwert für die durchschnittliche Vortriebsdauer errechnet sich daraus zu 758 Arbeitstagen.

Hauptgruppen

Zusammenfassung der Untersuchung der Unter- und Obergrenze:

Hauptgruppen	Kosten	Prozent
Haupttunnel [H]	33.002.250 €	100,0%
Zusatzangriff [Z]	0 €	0,0%
Betrachtete Kosten	33.002.250 €	100,0%

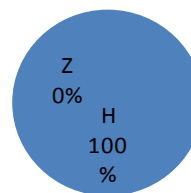


Tabelle 41: Hauptgruppen Perschling „Drei“ (zyklisch)

Abbildung 80: Perschling „Drei“ (zyklisch)

Da kein Zusatzangriff geplant ist, gibt es für diese Hauptgruppe auch keine Kosten.

Hauptgruppe Haupttunnel

Für die Hauptgruppe Haupttunnel teilen sich die Kosten wie folgt auf:

Kosten der Hauptgruppe Haupttunnel		Anteil an den betrachteten Kosten	Anteil an den betrachteten Teilkosten
Untergruppen	Kosten		
Lohnkosten Gewerbliches Personal [LG]	10.361.250 €	31,4%	31,4%
Lohnkosten Bauleitung [LB]	3.060.000 €	9,3%	9,3%
Geräte [G]	4.080.000 €	12,4%	12,4%
Stützmittel [S]	11.685.000 €	35,4%	35,4%
Ausbruch [A]	3.816.000 €	11,6%	11,6%
Betrachtete Teilkosten	33.002.250 €	100,0%	100,0%

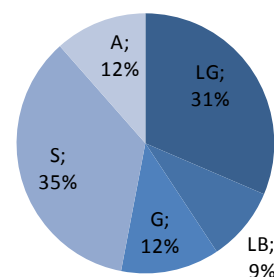


Tabelle 42: Hauptgruppe Haupttunnel Perschling „Drei“ (zyklisch)

Abbildung 81: Haupttunnel Perschling „Drei“ (zyklisch)

Die Lohnkosten des gewerblichen Personales nehmen einen Anteil von rund 31 % der betrachteten Teilkosten ein. Die Lohnkosten der Bauleitung verursachen einen Kostenanteil von rund neun Prozent. Für Geräte belaufen sich die Kosten auf rund zwölf Prozent. Die Stützmittel verursachen Kosten von rund 35 % und der Anteil des Ausbruches beträgt rund 12 %.

5.2.2.2.2 Kontinuierlicher Vortrieb – Perschling „Drei“

Wie beim ursprünglichen Projekt werden die Kosten für Geräteinvestitionen und für die Vor- und Nacharbeiten zur Herstellung der Betriebsbereitschaft der Tunnelbohrmaschine berücksichtigt.

Folgende Randbedingungen werden der Kostenabschätzung zugrunde gelegt:

- Der Vortrieb erfolgt nacheinander mit einer Tunnelbohrmaschine. Die gesamte Vortriebslänge wird auf drei Kilometer reduziert. Die Länge der drei Tunnelbauwerke wird nach deren ursprünglichen Länge anteilmäßig verändert:
 - o Raingrubentunnel (Verkürzung der Vortriebslänge von 2.088 m auf 1.008 m)
 - o Reiserbergtunnel (Reduktion der Vortriebslänge von 1.287 m auf 622 m)
 - o Stierschweiffeldtunnel (Vortriebslänge von 2.837 m 1.370 m verkürzt)
- Die Mannstärken der Mannschaften bleiben unverändert. Es reduziert sich deren Stundenaufwand aber nach der notwendigen Vortriebszeit.
- Die Geräteinvestitionen bleiben unverändert, da das Vortriebsgerät gleich bleibt.
- Die Einzelkosten der Stützmittel der Hauptgruppe Haupttunnel werden der kürzeren Vortriebslänge (d.h. Einbaulänge der Tübbinge) angepasst (siehe Kapitel 5.1.3.2). Bei den Stützmittelkosten für die Vor- und Nacharbeiten wird keine Änderung der Einzelkosten durchgeführt, da die Sicherungsarbeiten konventionell mit Spritzbeton durchgeführt werden.

Hauptgruppen

Die Vortriebszeit errechnet sich über die Einarbeitung zu 283 Arbeitstagen für die Untergrenze und zu 304 Arbeitstagen für die Obergrenze (siehe Anlage 6). Daraus errechnet sich der Mittelwert zu 294 Arbeitstagen (Aufrundung auf ganze Arbeitstage). Die Berechnung ist Anlage 6 zu entnehmen.

Zusammenfassung der Hauptgruppen:

Hauptgruppen	Kosten	Prozent
Haupttunnel [H]	39.920.380 €	78,7%
Vor- & Nacharbeiten [V]	10.807.200 €	21,3%
Betrachtete Kosten	50.727.580 €	100,0%

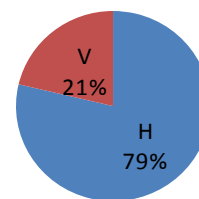


Tabelle 43: Hauptgruppen Perschling „Drei“ (kontinuierlich)

Abbildung 82: Perschling „Drei“ (kont.)

Etwa 79 % der betrachteten Kosten fallen für die Hauptgruppe Haupttunnel an. Für die Vor- und Nacharbeiten beläuft sich der Anteil an den betrachteten Kosten auf rund 21 %.

Hauptgruppe Haupttunnel

Die Aufgliederungen der Hauptgruppen Haupttunnel zeigen die folgenden Tabellen:

Kosten der Hauptgruppe Haupttunnel		Anteil an den betrachteten Kosten	Anteil an den betrachteten Teilkosten
Untergruppen	Kosten		
Lohnkosten Gewerbliches Personal [LG]	7.716.380 €	15,2%	19,3%
Lohnkosten Bauleitung [LB]	1.750.000 €	3,4%	4,4%
Geräte [G]	12.700.000 €	25,0%	31,8%
Stützmittel [S]	15.559.500 €	30,7%	39,0%
Ausbruch [A]	2.194.500 €	4,3%	5,5%
Betrachtete Teilkosten	39.920.380 €	78,7%	100,0%

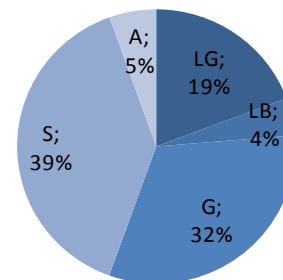


Tabelle 44: Hauptgruppe Haupttunnel Perschling „Drei“ (kont.)

Abbildung 83: Haupttunnel Perschling „Drei“ (kontinuierlich)

Für die Lohnkosten des gewerblichen Personals müssen rund 19 % der betrachteten Teilkosten aufgewendet werden. Die Lohnkosten für die Bauleitung betragen etwa vier Prozent. Für die Gerätekosten belaufen sich die Anteile auf zirka 32 %. Die Stützmittel ergeben einen Anteil von etwa 39%. Für den Ausbruch belaufen sich die Kosten auf rund fünf Prozent.

Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten

Der Anteil an den betrachteten Kosten der Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten steigt im Vergleich zur ursprünglichen Variante, da die Kosten der Hauptgruppe Haupttunnel durch die veränderte Tunnellänge kleiner werden. Aufgrund der unveränderten Kosten der Vor- und Nacharbeiten bleiben die Anteile der Untergruppen der Vor- und Nacharbeiten an der Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten aber gleich.

Kosten der Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten		Anteil an den betrachteten Kosten	Anteil an den betrachteten Teilkosten
Untergruppen	Kosten		
Lohnkosten Gewerbliches Personal [VLG]	4.525.200 €	8,9%	41,9%
Lohnkosten Bauleitung [VLB]	2.320.000 €	4,6%	21,5%
Geräte [VG]	3.625.000 €	7,1%	33,5%
Stützmittel [VS]	252.000 €	0,5%	2,3%
Ausbruch [VA]	85.000 €	0,2%	0,8%
Betrachtete Teilkosten	10.807.200 €	21,3%	100,0%

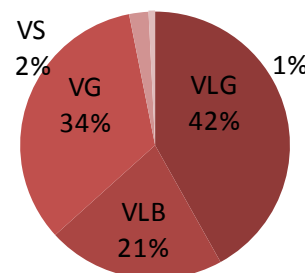


Tabelle 45: Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten Perschling „Drei“

Abbildung 84: Vor- und Nacharbeiten Perschling „Drei“

5.2.2.2.3 Gegenüberstellung zyklischer und kontinuierlicher Vortrieb

Die betrachteten Kosten sind beim zyklischen Vortrieb im Vergleich zum kontinuierlichen Vortrieb um etwa 18 Millionen Euro günstiger (zykl. ~33 Mio-€ / kont.: ~51 Mio-€). Die Differenz zwischen zyklischem und kontinuierlichem Vortrieb beträgt bei der Hauptgruppe Haupttunnel zirka sieben Millionen Euro (zykl. ~33 Mio-€ / kont.: ~40 Mio-€). Beim zyklischen Vor-

trieb sind nur Kosten für die Hauptgruppe Haupttunnel vorhanden. Die Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten beim kontinuierlichen Vortrieb verursachen wie beim ursprünglichen Projekt etwa elf Millionen Euro. Für die Tunnellänge „Drei“ des Tunnels Perschling ist daher die zyklische Vortriebsvariante die wirtschaftlichere.

Die Betrachtung der Hauptgruppe Haupttunnel zeigt, dass beim zyklischen Vortrieb der Anteil der Lohnkosten sowohl des gewerblichen Personals (zykl.: ~31 % / kont.: ~19 %) als auch der Bauleitung (zykl.: ~9 % / kont.: ~4 %) weitaus höher sind. Die Anteile der Geräte (zykl.: ~12 % / kont.: ~32 %) bzw. der Stützmittel (zykl.: ~35 % / kont.: ~39 %) sind beim zyklischen Vortrieb geringer als beim kontinuierlichen. Die Kosten für die Untergruppe Ausbruch (zykl.: ~12 % / kont.: ~5 %) sind beim zyklischen Vortrieb im Vergleich zum kontinuierlichen höher.

5.2.2.3 Wienerwaldtunnel – Kilometer „Drei“

Wie beim ursprünglichen Projekt wird nur die Herstellung einer Tunnelröhre betrachtet.

5.2.2.3.1 Zyklischer Vortrieb – Wienerwald „Drei“

Beim ursprünglichen Projekt sind Zusatzangriffe vorgesehen. Eine Tunnellänge von drei Kilometern wird aber unter diesen Umständen (sprich nur ein Portal vorhanden bzw. frei zugänglich) nur von einer Seite aus vorgetrieben. Deshalb wird für das zyklische Projekt Wienerwald die Tunnellänge Kilometer „Drei“ ohne Zusatzangriff (d.h. ohne Erstellung eines Zugangstunnels) ermittelt.

Folgende Annahmen werden für die Kostenschätzung auf der Grundlage der Daten des Fragebogens getroffen:

- Im Gegensatz zum ursprünglichen Projekt wird der Vortrieb von einer Angriffsstelle (von West nach Ost) aus durchgeführt (d.h. Vortrieb von 3.000 m). Die Zusatzangriffe über den Zugangstunnel entfallen.
- Die Kosten für die Herstellung des Zugangstunnels für die Zusatzangriffe entfallen.
- Die Geräteinvestitionen werden anteilmäßig reduziert, da nur mehr ein Vortrieb vom frei zugänglichen Portal aus erfolgt.

Abschätzung der Vortriebszeit

Die notwendigen Vortriebstage werden wieder über die Lernkurve ermittelt. Die Ermittlung ist der Anlage 6 zu entnehmen. Die Vortriebszeit für die Untergrenze der Kosten ist 1.312 Arbeitstage (2 × 656) und für die Obergrenze 1.320 Arbeitstage (2 × 660). Daraus ergibt sich eine mittlere Vortriebsdauer von 1.316 Arbeitstagen.

Hauptgruppen

Die Abschätzung der Vortriebszeit und die Kalkulation der Kosten ist der Anlage 6 zu entnehmen.

Zusammenfassung der Hauptgruppen:

Hauptgruppen	Kosten (2 Röhren)	Prozent	Kosten (1 Röhre)	Prozent
Haupttunnel [H]	50.662.388 €	100,0%	25.331.194 €	100,0%
Zusatzangriff [Z]	0 €	0,0%	0 €	0,0%
Betrachtete Kosten	50.662.388 €	100,0%	25.331.194 €	100,0%

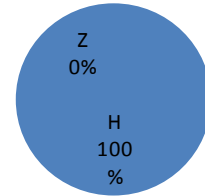


Tabelle 46: Hauptgruppen Wienerwald „Drei“ (zyklisch)

Abbildung 85: Wienerwald „Drei“ (zyklisch)

Die betrachteten Kosten bestehen nur mehr aus der Hauptgruppe Haupttunnel. Im Weiteren werden nur mehr die reduzierten Kosten (d.h. die betrachteten Kosten für 1 Röhre) verwendet.

Hauptgruppe Haupttunnel

Die Anteile der Untergruppen bezogen auf die Hauptgruppe Haupttunnel (d.h. betrachteten Teilkosten) bleiben unverändert. Es steigen jedoch die Anteile an den betrachteten Kosten, da die Hauptgruppe Zusatzangriff keine Kosten mehr aufweist.

<i>Kosten der Hauptgruppe Haupttunnel</i>		<i>Anteil an den betrachteten Kosten</i>	<i>Anteil an den betrachteten Teilkosten</i>
<i>Untergruppen</i>	<i>Kosten</i>		
Lohnkosten Gewerbliches Personal [LG]	8.869.522 €	35,0%	35,0%
Lohnkosten Bauleitung [LB]	1.868.571 €	7,4%	7,4%
Geräte [G]	2.705.000 €	10,7%	10,7%
Stützmittel [S]	9.439.500 €	37,3%	37,3%
Ausbruch [A]	2.448.600 €	9,7%	9,7%
Betrachtete Teilkosten	25.331.194 €	100,0%	100,0%

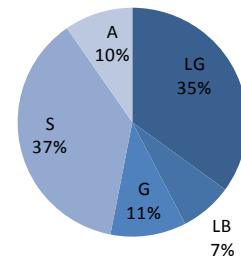


Tabelle 47: Hauptgruppe Haupttunnel Wienerwald „Drei“ (zykl.)

Abbildung 86: Haupttunnel Wienerwald „Drei“ (zykl.)

Die Lohnkosten des gewerblichen Personales nehmen einen Anteil von rund 35 % der betrachteten Teilkosten ein. Die Lohnkosten der Bauleitung verursachen einen Kostenanteil von rund sieben Prozent. Für Geräte belaufen sich die Kosten auf rund elf Prozent. Die Stützmittel verursachen Kosten zirka 37 % und der Anteil des Ausbruches beträgt rund zehn Prozent.

5.2.2.3.2 Kontinuierlicher Vortrieb – Wienerwald „Drei“

Folgende Randbedingungen werden der Kostenabschätzung auf der Grundlage der in Kapitel 5.1.3.2 festgelegten Annahmen zugrunde gelegt:

- Der Vortrieb erfolgt mit einer Tunnelbohrmaschine. Die Tunnellänge wird anteilmäßig auf eine Gesamtlänge von drei Kilometern reduziert.
- Die Mannstärken der Mannschaften bleiben unverändert. Der Aufwand reduziert sich aber nach der notwendigen Vortriebszeit.
- Die Geräteinvestitionen bleiben werden auf die Betrachtung von einer Tunnelröhre angepasst.
- Die Einzelkosten der Stützmittel der Hauptgruppe Haupttunnel werden der kürzeren Vortriebslänge (d.h. Einbaulänge der Tübbinge) angepasst (siehe Kapitel 5.1.3.2). Bei den Stützmittelkosten für die Vor- und Nacharbeiten wird keine Änderung der Einzelkosten vorgenommen, da die Sicherungsarbeiten konventionell mit Spritzbeton durchgeführt werden.

Hauptgruppen

Aus der Abschätzung der Vortriebszeiten (siehe Anlage 6) ergeben sich für die Untergrenze 366 Arbeitstage und für die Obergrenze 434 Arbeitstage (Dauer der Vortriebe beider Röhren). Daraus errechnet sich ein Mittelwert von 400 Arbeitstagen.

Zusammenfassung Hauptgruppen:

Hauptgruppen	Kosten (2 Röhren)	Prozent	Kosten (1 Röhre)	Prozent
Lohnkosten [H]	60.405.500 €	88,1%	30.202.750 €	88,1%
Lohnkosten [Z]	8.123.540 €	11,9%	4.061.770 €	11,9%
Betrachtete Kosten	68.529.040 €	100,0%	34.264.520 €	100,0%

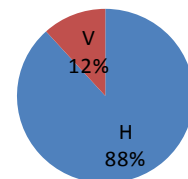


Tabelle 48: Hauptgruppen Wienerwald „Drei“ (kontinuierlich)

Abbildung 87: Wienerwald „Drei“

Die Hauptgruppe Haupttunnel verursacht etwa 88 % der betrachteten Kosten. Für die Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten beläuft sich der Anteil auf zirka zwölf Prozent der betrachteten Kosten.

Hauptgruppe Haupttunnel

Die Aufgliederungen der Hauptgruppen Haupttunnel zeigen die folgenden Tabellen:

Kosten der Hauptgruppe Haupttunnel		Anteil an den betrachteten Kosten	Anteil an den betrachteten Teilkosten
Untergruppen	Kosten		
Lohnkosten Gewerbliches Personal [LG]	4.896.000 €	14,3%	16,2%
Lohnkosten Bauleitung [LB]	675.000 €	2,0%	2,2%
Geräte [G]	10.438.750 €	30,5%	34,6%
Stützmittel [S]	12.751.200 €	37,2%	42,2%
Ausbruch [A]	1.441.800 €	4,2%	4,8%
Betrachtete Teilkosten	30.202.750 €	88,1%	100,0%

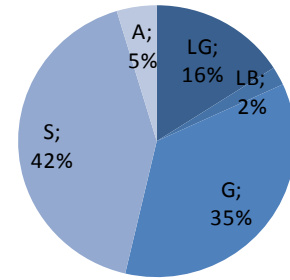


Tabelle 49: Hauptgruppe Haupttunnel Wienerwald „Drei“ (kont.)

Abbildung 88: Haupttunnel Wienerwald „Drei“ (kont.)

Für die Lohnkosten des gewerblichen Personals müssen rund 16 % der Hauptgruppe Haupttunnel (betrachtete Teilkosten) aufgewendet werden. Die Lohnkosten für die Bauleitung betragen etwa zwei Prozent. Für die Gerätekosten belaufen sich die Anteile auf rund 35 %. Die Stützmittel ergeben einen Anteil von etwa 42 %. Für den Ausbruch belaufen sich die Kosten auf rund fünf Prozent.

Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten

Nachfolgend sind die Kosten der Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten dargestellt.

Kosten der Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten		Anteil an den betrachteten Kosten	Anteil an den betrachteten Teilkosten
Untergruppen	Kosten		
Lohnkosten Gewerbliches Personal [VLG]	1.528.020 €	4,5%	37,6%
Lohnkosten Bauleitung [VLB]	590.000 €	1,7%	14,5%
Geräte [VG]	1.858.750 €	5,4%	45,8%
Stützmittel [VS]	65.000 €	0,2%	1,6%
Ausbruch [VA]	20.000 €	0,1%	0,5%
Betrachtete Teilkosten	4.061.770 €	11,9%	100,0%

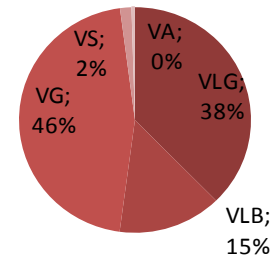


Tabelle 50: Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten Wienerwald „Drei“

Abbildung 89: Vor- und Nacharbeiten Wienerwald „Drei“

Die Anteile der Untergruppen an der Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten bleiben gleich (siehe Kapitel 5.1.3.2). Der Anteil der Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten an den betrachteten Kosten verändert sich aufgrund der hier niedrigeren betrachteten Kosten im Vergleich zum ursprünglichen Projekt von 5,6 % (siehe 5.1.3.2) auf 11,9 % in der aktuellen Kostenschätzung.

5.2.2.3.3 Gegenüberstellung zyklischer und kontinuierlicher Vortrieb – Wienerwald „Drei“

Betrachtet man den zyklischen Vortrieb ohne Zugangstunnel mit dem kontinuierlichen Vortrieb, so ist die zyklische Variante wirtschaftlicher (zykl.: ~25 Mio-€ / kont.: ~34 Mio-€). Der Unterschied der Hauptgruppen Haupttunnel beträgt rund fünf Millionen Euro. Beim kontinuierlichen Vortrieb ist noch die Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten mit rund vier Millionen Euro vorhanden. Beim zyklischen Vortrieb ist nur die Hauptgruppe Haupttunnel existent. Für

die Tunnellänge „Drei“ des Projektes Wienerwald ist daher der zyklische Vortrieb wirtschaftlicher als der kontinuierliche Vortrieb.

Die Betrachtung der Hauptgruppe Haupttunnel zeigt, dass beim zyklischen Vortrieb der Anteil der Lohnkosten sowohl des gewerblichen Personals (zykl.: ~35 % / kont.: ~16 %) als auch der Bauleitung (zykl.: ~7 % / kont.: ~2 %) weitaus höher sind. Die Anteile der Geräte (zykl.: ~11 % / kont.: ~35 %) bzw. der Stützmittel (zykl.: ~37 % / kont.: ~42 %) sind beim zyklischen Vortrieb geringer als beim kontinuierlichen. Die Kosten für die Untergruppe Ausbruch (zykl.: ~10 % / kont.: ~5 %) sind beim zyklischen Vortrieb im Vergleich zum kontinuierlichen höher.

5.2.3 Kilometer „Sechs“

Für das Projekt Wienerwald wird die Tunnellänge „Sechs“ untersucht um einen Vergleich mit den Projekten Pfänder und Perschling herstellen zu können.

5.2.3.1 Wienerwald - Kilometer „Sechs“

Die Kosten werden wie in den anderen Kostenschätzungen des Projektes Wienerwald wieder auf eine Tunnelröhre bezogen (d.h. Die Kosten werden halbiert.), um einen Vergleich mit den beiden ursprünglichen Projekten herstellen zu können.

5.2.3.1.1 Zyklischer Vortrieb – Wienerwald „Sechs“

Der Zusatzangriff wird wie bei Kilometer „Drei“ nicht berücksichtigt, da bei diesem Projekt die Herstellung des Zugangstunnels für die Zusatzangriffe sehr kostspielig ist.

Die Randbedingungen dieser Variante sind auf der Grundlage des ursprünglichen Projektes:

- Die gewählte Vortriebslänge „Sechs“ (6.296 m) ist der Mittelwert aus den Längen der beiden anderen Projekte (Pfändertunnel: 6.531 m; Tunnelkette Perschling: 6.061 m) der zyklischen Vortriebe.
- Es ist ein Vortrieb von Westen nach Osten geplant. Die Zusatzangriffe entfallen zur Gänze.

Abschätzung der Vortriebszeit

Die Einarbeitung wird wiederum über die Lernkurve berücksichtigt. Aus der Unter- und Obergrenze wird ein Mittelwert der Vortriebsdauer ermittelt. Die durchschnittliche Vortriebsdauer errechnet sich zu 2.656 Arbeitstagen. Die Kostenberechnung ist Anlage 7 zu entnehmen.

Hauptgruppen

Der Kostenüberblick gestaltet sich folgendermaßen:

Hauptgruppen	Kosten (2 Röhren)	Prozent	Kosten (1 Röhre)	Prozent
Haupttunnel [H]	109.103.544 €	100,0%	54.551.772 €	100,0%
Zusatzangriff [Z]	0 €	0,0%	0 €	0,0%
Betrachtete Kosten	109.103.544 €	100,0%	54.551.772 €	100,0%

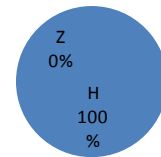


Tabelle 51: Hauptgruppen Wienerwald „Sechs“ (zyklisch)

Abbildung 90: Wienerwald „Sechs“

Die Hauptgruppe Haupttunnel verursacht die gesamten betrachteten Kosten, da die Hauptgruppe Zusatzangriff nicht vorhanden ist.

Hauptgruppe Haupttunnel

<i>Kosten der Hauptgruppe Haupttunnel</i>		<i>Anteil an den betrachteten Kosten</i>	<i>Anteil an den betrachteten Teilkosten</i>
<i>Untergruppen</i>	<i>Kosten</i>		
Lohnkosten Gewerbliches Personal [LG]	17.900.799 €	32,8%	32,8%
Lohnkosten Bauleitung [LB]	3.804.314 €	7,0%	7,0%
Geräte [G]	7.897.500 €	14,5%	14,5%
Stützmittel [S]	19.810.364 €	36,3%	36,3%
Ausbruch [A]	5.138.795 €	9,4%	9,4%
Betrachtete Teilkosten	54.551.772 €	100,0%	100,0%

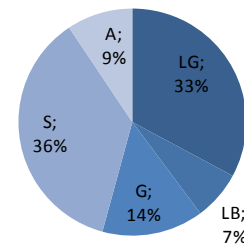


Abbildung 91: Haupttunnel Wienerwald „Sechs“ (zykl.)

Tabelle 52: Hauptgruppe Haupttunnel Wienerwald „Sechs“ (zykl.)

Der Anteil der Untergruppe Lohnkosten des gewerblichen Personals liegt bei rund 33 % der Hauptgruppe Haupttunnel (betrachtete Teilkosten). Für die Lohnkosten der Bauleitung sind etwa sieben Prozent kalkuliert. Die Gerätekosten ergeben einen Anteil von zirka 14 %. Für Stützmittel ergibt sich ein Kostenanteil von etwa 36 %. Die Ausbruchskosten belaufen sich auf zirka neun Prozent.

5.2.3.1.2 Kontinuierlicher Vortrieb – Wienerwald „Sechs“

Die Auswertung für die gewählte Vortriebslänge beruht auf den nachstehenden Annahmen auf der Grundlage des ursprünglichen Projektes:

- Die gewählte Vortriebslänge „Sechs“ (6.296 m) ist der Mittelwert aus den Längen der beiden anderen Projekte (Pfändertunnel: 6.531 m; Tunnelkette Perschling: 6.061 m) der zyklischen Vortriebe.
- Die Tunnelröhre wird von einer Tunnelbohrmaschine aufgeföhren.
- Die Einzelkosten der Stützmittel der Hauptgruppe Haupttunnel werden der kürzeren Vortriebslänge (d.h. Einbaulänge der Tübbinge) angepasst (siehe Kapitel 5.1.3.2). Bei den Stützmittelkosten für die Vor- und Nacharbeiten wird keine Änderung der Einzelkosten

vorgenommen, da die Sicherungsarbeiten konventionell mit Spritzbeton durchgeführt werden.

Die Kosten werden analog zum kontinuierlichen Projekt Wienerwald Kilometer „Drei“ reduziert (d.h. alle Kosten werden halbiert).

Abschätzung der Vortriebszeit

Die Abschätzung der geänderten Vortriebsdauer hervorgerufen durch die Annahme, dass der Wienerwaldtunnel nur sechs Kilometer lang ist, erfolgt durch die in Kapitel 2.7.1.3 beschriebene Lernkurve. Der Mittelwert der Vortriebsdauer berechnet sich aus der Unter- und Obergrenze zu 373 Arbeitstagen. Die gesamte Vortriebszeit (für beide Tunnelröhren) errechnet sich zu 746 Arbeitstagen. Die genaue Berechnung der fiktiven Vortriebsdauer ist Anlage 7 zu entnehmen.

Hauptgruppen

Die Aufgliederung ist Anlage 7 zu entnehmen. Die Kostenübersicht ist in Tabelle 53 dargestellt.

Hauptgruppen	Kosten (2 Röhren)	Prozent	Kosten (1 Röhre)	Prozent
Haupttunnel [H]	94.219.315 €	92,1%	47.109.658 €	92,1%
Vor- & Nacharbeiten [Z]	8.123.540 €	7,9%	4.061.770 €	7,9%
Betrachtete Kosten	102.342.855 €	100,0%	51.171.428 €	100,0%

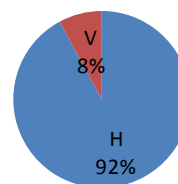


Tabelle 53: Hauptgruppen Wienerwald „Sechs“ (kontinuierlich)

Abbildung 92: Wienerwald „Sechs“ (kont.)

Der Anteil der Hauptgruppe Haupttunnel beträgt rund 92 % der betrachteten Kosten. Etwa acht Prozent entfallen auf die Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten.

Hauptgruppe Haupttunnel

Die Anteile der einzelnen Untergruppen sind in der nachfolgenden Tabelle aufgelistet.

Kosten der Hauptgruppe Haupttunnel		Anteil an den betrachteten Kosten	Anteil an den betrachteten Teilkosten
Untergruppen	Kosten		
Lohnkosten Gewerbliches Personal [LG]	9.131.040 €	17,8%	19,4%
Lohnkosten Bauleitung [LB]	1.250.000 €	2,4%	2,7%
Geräte [G]	10.406.250 €	20,3%	22,1%
Stützmittel [S]	23.288.580 €	45,5%	49,4%
Ausbruch [A]	3.033.788 €	5,9%	6,4%
Betrachtete Teilkosten	47.109.658 €	92,1%	100,0%

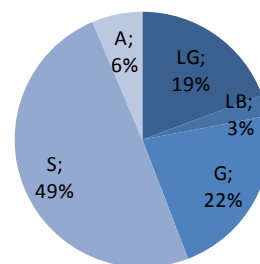


Tabelle 54: Hauptgruppe Haupttunnel Wienerwald „Sechs“ (kont.)

Abbildung 93: Haupttunnel Wienerwald „Sechs“

Der Anteil der Untergruppe Lohnkosten des gewerblichen Personals liegt bei rund 19 % der Hauptgruppe Haupttunnel (betrachtete Teilkosten). Für die Lohnkosten der Bauleitung sind nur etwa drei Prozent kalkuliert. Die Gerätekosten ergeben einen Anteil von zirka 23 %. Für Stützmittel ergibt sich der größte Kostenanteil mit etwa 49 %. Die Ausbruchskosten belaufen sich auf zirka sechs Prozent.

Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten

Die Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten macht etwa acht Prozent der betrachteten Kosten aus. Der Anteil der Kosten der Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten steigt im Vergleich zum ursprünglichen Projekt von 5,6 % auf 7,9 % an. Die Gliederung der Untergruppen ist nachfolgend angegeben.

Kosten der Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten		Anteil an den betrachteten Kosten	Anteil an den betrachteten Teilkosten
Untergruppen	Kosten		
Lohnkosten Gewerbliches Personal [VLG]	1.528.020 €	3,0%	37,6%
Lohnkosten Bauleitung [VLB]	590.000 €	1,2%	14,5%
Geräte [VG]	1.858.750 €	3,6%	45,8%
Stützmittel [VS]	65.000 €	0,1%	1,6%
Ausbruch [VA]	20.000 €	0,0%	0,5%
Betrachtete Teilkosten	4.061.770 €	7,9%	100,0%

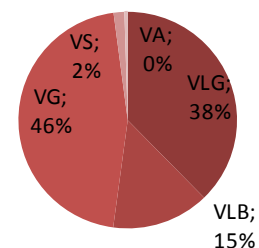


Abbildung 94: Vor- und Nacharbeiten Wienerwald „Sechs“

Tabelle 55: Hauptgruppe Vor- und Nacharb. Wienerwald „Sechs“

Die Anteile an den betrachteten Teilkosten sind unverändert zum ursprünglichen Projekt, da sich die Kosten der Untergruppen nicht verändern (siehe ursprüngliches Projekt Kapitel 5.1.3.2).

5.2.3.1.3 Gegenüberstellung zyklischer und kontinuierlicher Vortrieb

Im Gegensatz zum ursprünglichen Projekt ist bei dieser Untersuchung der kontinuierliche Vortrieb um rund vier Millionen Euro wirtschaftlicher als der zyklische Vortrieb (zykl.: ~55 Mio-€ / kont.: ~51 Mio-€).

Trotz der Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten (~4 Mio-€) beim kontinuierlichen Vortrieb ist der zyklische Vortrieb nicht wirtschaftlicher als der kontinuierliche Vortrieb.

Die Betrachtung der Hauptgruppe Haupttunnel zeigt, dass beim zyklischen Vortrieb der Anteil der Lohnkosten sowohl des gewerblichen Personals (zykl.: ~33 % / kont.: ~19 %) als auch der Bauleitung (zykl.: ~7 % / kont.: ~3 %) weitaus höher sind. Die Anteile der Geräte (zykl.: ~14 % / kont.: ~22 %) bzw. der Stützmittel (zykl.: ~36 % / kont.: ~49 %) sind beim zyklischen Vortrieb geringer als beim kontinuierlichen. Die Kosten für die Untergruppe Ausbruch (zykl.: ~9 % / kont.: ~6 %) sind beim zyklischen Vortrieb im Vergleich zum kontinuierlichen höher.

5.2.4 Kilometer „Elf“

Die Projekte Pfänder und Perschling werden bei einer Tunnellänge von rund 10,75 Kilometern betrachtet, um einen Vergleich der Kostenentwicklungen mit dem Projekt Wienerwald durchführen zu können.

Bei den Kostenschätzungen der zyklischen Vortriebe wird kein Zusatzangriff berücksichtigt, da beim Projekt Pfänder und Perschling jeweils ein Vortrieb von jeder Portalseite möglich ist und diese frei zugänglich sind.

5.2.4.1 Pfänder - Kilometer „Elf“

5.2.4.1.1 Zyklischer Vortrieb – Pfänder „Elf“

Die Randbedingungen dieser Variante auf der Grundlage des ursprünglichen Projektes sind:

- Die gewählte Vortriebslänge „Elf“ entspricht der Vortriebslänge des Projektes Wienerwald (10.649 m).
- Es werden wie im ursprünglichen Projekt zwei Vortriebe vorgesehen (Vortriebslänge zwei Mal 5.324,5 m). Die Betrachtung eines Zusatzangriffes erfolgt hierbei nicht, da wie zuvor erwähnt ein Vortrieb von beiden Portalen aus möglich ist.
- Die Mannstärken der Mannschaften bleiben unverändert.

Abschätzung der Vortriebszeit

Die mittlere Vortriebsdauer wird über Unter- und Obergrenze der Lernkurve abgeschätzt. Diese errechnet sich zu 2.104 Arbeitstagen. Die Berechnung ist Anlage 8 zu entnehmen.

Hauptgruppen

Der Kostenüberblick zeigt die folgende Tabelle:

Hauptgruppen	Kosten	Prozent
Haupttunnel [H]	98.874.846 €	100,0%
Zusatzangriff [Z]	0 €	0,0%
Betrachtete Kosten	98.874.846 €	100,0%

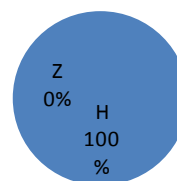


Tabelle 56: Hauptgruppen Pfänder „Elf“ (zyklisch)

Abbildung 95: Pfänder „Elf“ (zyklisch)

Da die Hauptgruppe Zusatzangriff nicht vorhanden ist, ist der Anteil der Hauptgruppe Haupttunnel 100 % der betrachteten Kosten.

Hauptgruppe Haupttunnel

In der nachfolgenden Tabelle ist eine Übersicht über die betrachteten Teilkosten der Hauptgruppe Haupttunnel dargestellt.

Kosten der Hauptgruppe Haupttunnel		Anteil an den betrachteten Kosten	Anteil an den betrachteten Teilkosten
Untergruppen	Kosten		
Lohnkosten Gewerbliches Personal [LG]	35.112.253 €	35,5%	35,5%
Lohnkosten Bauleitung [LB]	12.258.140 €	12,4%	12,4%
Geräte [G]	13.200.000 €	13,4%	13,4%
Stützmittel [S]	22.874.052 €	23,1%	23,1%
Ausbruch [A]	15.430.401 €	15,6%	15,6%
Betrachtete Teilkosten	98.874.846 €	100,0%	100,0%

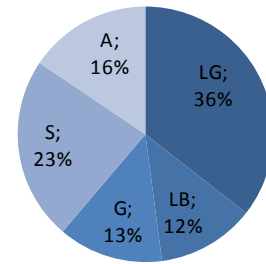


Tabelle 57: Hauptgruppe Haupttunnel Pfänder „Elf“ (zyklisch)

Abbildung 96: Haupttunnel Pfänder „Elf“ (zyklisch)

Der Anteil der Untergruppe Lohnkosten des gewerblichen Personals liegt bei rund 36 % der Hauptgruppe Haupttunnel (betrachtete Teilkosten). Für die Lohnkosten der Bauleitung sind etwa zwölf Prozent kalkuliert. Die Gerätekosten ergeben einen Anteil von zirka 13 %. Für Stützmittel ergibt sich ein Kostenanteil von etwa 23 %. Die Ausbruchskosten belaufen sich auf zirka 16 %.

5.2.4.1.2 Kontinuierlicher Vortrieb – Pfänder „Elf“

Die Auswertung für die gewählte Vortriebslänge beruht auf nachstehender Annahme:

- Die gewählte Vortriebslänge „Elf“ entspricht der Länge des Projektes Wienerwald (10.735 m).
- Der Vortrieb erfolgt von mit einer Tunnelbohrmaschine (Vortriebslänge 10.734,5 m).
- Die Einzelkosten der Stützmittel der Hauptgruppe Haupttunnel werden der kürzeren Vortriebslänge (d.h. Einbaulänge der Tübbing) angepasst (siehe Kapitel 5.1.3.2). Bei den Stützmittelkosten für die Vor- und Nacharbeiten wird keine Änderung der Einzelkosten vorgenommen, da die Sicherungsarbeiten konventionell mit Spritzbeton durchgeführt werden.

Abschätzung der Vortriebszeit

Die mittlere Vortriebsdauer wird über Unter- und Obergrenze der Lernkurve abgeschätzt. Diese errechnet sich zu 616 Arbeitstagen. Die Berechnung ist Anlage 8 zu entnehmen.

Hauptgruppen

Die Aufgliederung ist Anlage 8 zu entnehmen. Die Kostenübersicht ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

Hauptgruppen	Kosten	Prozent
Haupttunnel [H]	76.160.782 €	88,2%
Vor- & Nacharbeiten [V]	10.205.000 €	11,8%
Betrachtete Kosten	86.365.782 €	100,0%

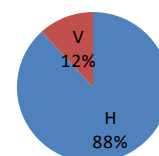


Tabelle 58: Hauptgruppen Pfänder „Elf“ (kontinuierlich)

Abbildung 97: Pfänder „Elf“ (kont.)

Der Anteil der Hauptgruppe Haupttunnel beträgt rund 88 % an den betrachteten Kosten. Etwa zwölf Prozent fallen auf die Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten

Hauptgruppe Haupttunnel

Die Anteile der einzelnen Untergruppen sind in der nachfolgenden Tabelle aufgelistet.

Kosten der Hauptgruppe Haupttunnel		Anteil an den betrachteten Kosten	Anteil an den betrachteten Teilkosten
Untergruppen	Kosten		
Lohnkosten Gewerbliches Personal [LG]	13.749.120 €	15,9%	18,1%
Lohnkosten Bauleitung [LB]	3.075.000 €	3,6%	4,0%
Geräte [G]	14.416.000 €	16,7%	18,9%
Stützmittel [S]	38.724.709 €	44,8%	50,8%
Ausbruch [A]	6.195.953 €	7,2%	8,1%
Betrachtete Teilkosten	76.160.782 €	88,2%	100,0%

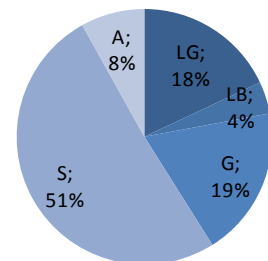


Tabelle 59: Hauptgruppe Haupttunnel Pfänder „Elf“ (kont.)

Abbildung 98: Haupttunnel Pfänder „Elf“ (kont.)

Der Anteil der Untergruppe Lohnkosten des gewerblichen Personals liegt bei rund 18 % der Hauptgruppe Haupttunnel (betrachtete Teilkosten). Für die Lohnkosten der Bauleitung sind etwa vier Prozent kalkuliert. Die Gerätekosten ergeben einen Anteil von zirka 19 %. Für Stützmittel ergibt sich der größte Kostenanteil mit etwa 51 %. Die Ausbruchskosten belaufen sich auf zirka acht Prozent.

Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten

Die Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten verursacht etwa elf Prozent der betrachteten Kosten aus. Im Vergleich zum ursprünglichen Projekt bleiben die Anteile der Untergruppen bezogen auf die Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten unverändert. In Relation zu den betrachteten Kosten sind jedoch die Anteile der Untergruppen geringer als beim ursprünglichen Projekt. Die Gliederung der Untergruppen ist nachfolgend angegeben.

Kosten der Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten		Anteil an den betrachteten Kosten	Anteil an den betrachteten Teilkosten
Untergruppen	Kosten		
Lohnkosten Gewerbliches Personal [VLG]	3.402.000 €	3,9%	33,3%
Lohnkosten Bauleitung [VLB]	1.500.000 €	1,7%	14,7%
Geräte [VG]	4.715.000 €	5,5%	46,2%
Stützmittel [VS]	401.000 €	0,5%	3,9%
Ausbruch [VA]	187.000 €	0,2%	1,8%
Betrachtete Teilkosten	10.205.000 €	11,8%	100,0%

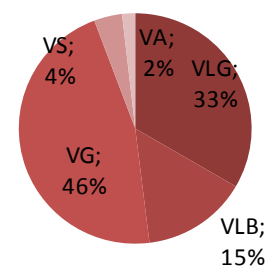


Tabelle 60: Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten Pfänder „Elf“

Abbildung 99: Vor- und Nacharbeiten Pfänder „Elf“

5.2.4.1.3 Gegenüberstellung zyklischer und kontinuierlicher Vortrieb

Die Kosten für die Herstellung des Haupttunnels differieren bei dieser Tunnellänge um rund 13 Millionen Euro (zyklisch: ~99 Mio-€; kontinuierlich: ~86 Mio-€). Die Aufwendungen für die Vor- und Nacharbeiten beim kontinuierlichen Vortrieb können hier kompensiert werden.

Im Vergleich zum ursprünglichen Projekt wird bei dieser Tunnellänge (10,75 km) der kontinuierliche Vortrieb wirtschaftlicher (Ursprüngliches Projekt: zykl.: ~61 Mio-€ / kont.: ~63 Mio-€).

Die Betrachtung der Hauptgruppe Haupttunnel zeigt, dass beim zyklischen Vortrieb der Anteil der Lohnkosten sowohl des gewerblichen Personals (zykl.: ~36 % / kont.: ~18 %) als auch der Bauleitung (zykl.: ~12 % / kont.: ~4 %) weitaus höher sind. Die Anteile der Geräte (zykl.: ~13 % / kont.: ~19 %) bzw. der Stützmittel (zykl.: ~23 % / kont.: ~51 %) sind beim zyklischen Vortrieb geringer als beim kontinuierlichen. Die Kosten für die Untergruppe Ausbruch (zykl.: ~16 % / kont.: ~8 %) sind beim zyklischen Vortrieb im Vergleich zum kontinuierlichen knapp höher.

5.2.4.2 Perschling - Kilometer „Elf“

Wie beim Projekt Pfänder „Elf“ wird auch das Projekt Perschling für die Tunnellänge „Elf“ kalkuliert.

5.2.4.2.1 Zyklischer Vortrieb – Perschling „Elf“

In diesem Abschnitt werden die Kosten des Projektes Perschling mit der Tunnellänge Wienerwald abgeschätzt.

Die Randbedingungen dieser Variante auf der Grundlage des ursprünglichen Projektes sind:

- Die gewählte Vortriebslänge „Elf“ entspricht der Vortriebslänge des Projektes Wienerwald (10.649 m).
- Es werden wie im ursprünglichen Projekt vier Vortriebe vorgesehen. Die Vortriebslängen werden im Verhältnis zu den ursprünglichen Vortriebslängen (Raigrubentunnel: 3.718 m; Reiserbergtunnel: 2.283 m; Stierschweiffeldtunnel: 2 × 2.324 m, Vortrieb von zwei Seiten) angepasst. Die Betrachtung eines Zusatzangriffes erfolgt wie zuvor erwähnt (siehe 5.2.4) hierbei nicht.

Abschätzung der Vortriebszeit

Die mittlere Vortriebsdauer wird über Unter- und Obergrenze der Lernkurve abgeschätzt. Diese errechnet sich zu 2.630 Arbeitstagen. Die Berechnung ist Anlage 8 zu entnehmen.

Hauptgruppen

Der Kostenüberblick zeigt die folgende Tabelle:

Hauptgruppen	Kosten	Prozent
Haupttunnel [H]	115.497.096 €	100,0%
Zusatzangriff [Z]	0 €	0,0%
Betrachtete Kosten	115.497.096 €	100,0%

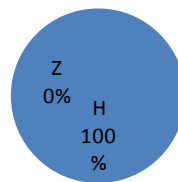


Tabelle 61: Hauptgruppen Perschling „Elf“ (zykl.)

Abbildung 100: Perschling „Elf“ (zykl.)

Die Hauptgruppe Zusatzangriff ist bei diesem Projekt Null. Daher werden die Kosten nur durch die Hauptgruppe Haupttunnel bestimmt.

Hauptgruppe Haupttunnel

<i>Kosten der Hauptgruppe Haupttunnel</i>		<i>Anteil an den betrachteten Kosten</i>	<i>Anteil an den betrachteten Teilkosten</i>
<i>Untergruppen</i>	<i>Kosten</i>		
Lohnkosten Gewerbliches Personal [LG]	35.973.713 €	31,1%	31,1%
Lohnkosten Bauleitung [LB]	10.500.000 €	9,1%	9,1%
Geräte [G]	14.000.000 €	12,1%	12,1%
Stützmittel [S]	41.477.855 €	35,9%	35,9%
Ausbruch [A]	13.545.528 €	11,7%	11,7%
Betrachtete Teilkosten	115.497.096 €	100,0%	100,0%

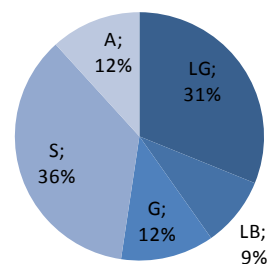


Tabelle 62: Hauptgruppe Haupttunnel Perschling „Elf“ (zykl.)

Abbildung 101: Haupttunnel Perschling „Elf“ (zykl.)

Der Anteil der Untergruppe Lohnkosten des gewerblichen Personals liegt bei rund 31 % der Hauptgruppe Haupttunnel (betrachtete Teilkosten). Für die Lohnkosten der Bauleitung sind etwa neun Prozent vorhanden. Die Gerätekosten ergeben einen Anteil von zirka zwölf Prozent. Für Stützmittel ergibt sich ein Kostenanteil von etwa 36 %. Die Ausbruchskosten belaufen sich auf zirka zwölf Prozent.

5.2.4.2.2 Kontinuierlicher Vortrieb – Perschling „Elf“

Die Auswertung für die gewählte Vortriebslänge beruht auf nachstehender Annahme:

- Die gewählte Vortriebslänge „Elf“ entspricht der Länge des Projektes Wienerwald (10.735 m). Die Tunnellänge wird entsprechend der Längenverhältnisse der ursprünglichen Projektes Perschling aufgeteilt (Raingrubentunnel: 3.608 m; Reiserbergtunnel: 2.224 m; Stierschweiffeldtunnel: 4.903 m).
- Der Tunnel wird mit einer Tunnelbohrmaschine aufgeföhren.
- Die Einzelkosten der Stützmittel der Hauptgruppe Haupttunnel werden der kürzeren Vortriebslänge (d.h. Einbaulänge der Tübbing) angepasst (siehe Kapitel 5.1.3.2). Bei den Stützmittelkosten für die Vor- und Nacharbeiten wird keine Änderung der Einzelkosten vorgenommen, da die Sicherungsarbeiten konventionell mit Spritzbeton durchgeführt werden.

Abschätzung der Vortriebszeit

Die mittlere Vortriebsdauer wird über Unter- und Obergrenze der Einarbeitung abgeschätzt. Diese errechnet sich zu 921 Arbeitstagen. Die Berechnung ist Anlage 8 zu entnehmen.

Hauptgruppen

Die Aufgliederung ist Anlage 8 zu entnehmen. Die Kostenübersicht ist in Tabelle 63 dargestellt.

Hauptgruppen	Kosten	Prozent
Haupttunnel [H]	94.536.191 €	89,7%
Vor- & Nacharbeiten [V]	10.807.200 €	10,3%
Betrachtete Kosten	105.343.391 €	100,0%

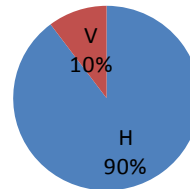


Tabelle 63: Hauptgruppen Perschling „Elf“ (kont.)

Abbildung 102: Perschling „Elf“

Der Anteil der Hauptgruppe Haupttunnel beträgt rund 90 % der betrachteten Kosten. Etwa zehn Prozent fallen auf die Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten.

Hauptgruppe Haupttunnel

Die Anteile der einzelnen Untergruppen sind in der nachfolgenden Tabelle aufgelistet.

Kosten der Hauptgruppe Haupttunnel		Anteil an den betrachteten Kosten	Anteil an den betrachteten Teilkosten
Untergruppen	Kosten		
Lohnkosten Gewerbliches Personal [LG]	24.172.740 €	22,9%	25,6%
Lohnkosten Bauleitung [LB]	5.430.000 €	5,2%	5,7%
Geräte [G]	14.170.000 €	13,5%	15,0%
Stützmittel [S]	42.911.164 €	40,7%	45,4%
Ausbruch [A]	7.852.287 €	7,5%	8,3%
Betrachtete Teilkosten	94.536.191 €	89,7%	100,0%

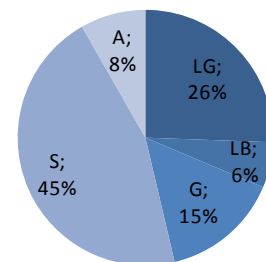


Tabelle 64: Hauptgruppe Haupttunnel Pfänder „Elf“ (kont.)

Abbildung 103: Haupttunnel Pfänder „Elf“ (kont.)

Der Anteil der Untergruppe Lohnkosten des gewerblichen Personals liegt bei rund 26 % der Hauptgruppe Haupttunnel (betrachtete Teilkosten). Für die Lohnkosten der Bauleitung sind nur etwa sechs Prozent kalkuliert. Die Gerätekosten ergeben einen Anteil von zirka 15 %. Für Stützmittel ergibt sich der größte Kostenanteil mit etwa 45 %. Die Ausbruchskosten belaufen sich auf zirka acht Prozent.

Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten

Die Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten macht etwa zehn Prozent der Gesamtkosten aus. Im Vergleich zum ursprünglichen Projekt bleiben die Anteile der Untergruppen an der Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten unverändert. In Relation zu den betrachteten Kosten sinken jedoch die Anteile der Untergruppen im Vergleich zum ursprünglichen Projekt (siehe Kapitel 5.1.2.2). Die Gliederung der Untergruppen ist nachfolgend angegeben.

Kosten der Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten		Anteil an den betrachteten Kosten	Anteil an den betrachteten Teilkosten
Untergruppen	Kosten		
Lohnkosten Gewerbliches Personal [VLG]	4.525.200 €	4,3%	41,9%
Lohnkosten Bauleitung [VLB]	2.320.000 €	2,2%	21,5%
Geräte [VG]	3.625.000 €	3,4%	33,5%
Stützmittel [VS]	252.000 €	0,2%	2,3%
Ausbruch [VA]	85.000 €	0,1%	0,8%
Betrachtete Teilkosten	10.807.200 €	10,3%	100,0%

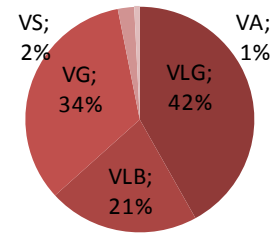


Abbildung 104: Vor- und Nacharb. Perschling „Elf“

Tabelle 65: Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten Perschling „Elf“

5.2.4.2.3 Gegenüberstellung zyklischer und kontinuierlicher Vortrieb

Beim Projekt Perschling „Elf“ ist der kontinuierliche Vortrieb wirtschaftlicher als der zyklische Vortrieb (zykl.: ~115 Mio-€ / kont.: ~105 Mio-€).

Im Vergleich zum ursprünglichen Projekt (6,3 km) weist der kontinuierliche Vortrieb geringere Kosten als der zyklische Vortrieb auf (ursprüngliches Projekt: zykl.: ~ 66 Mio-€ / kont.: ~ 75 Mio-€). Die Hauptgruppe Haupttunnel verursacht bei dieser Kostenschätzung beim kontinuierlichen Vortrieb rund 21 Millionen Euro weniger Kosten (zykl.: ~115 Mio-€ / kont.: ~ 94 Mio-€). Beim kontinuierlichen Vortrieb ist aber noch die Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten (~ 11 Mio-€) vorhanden.

Die Betrachtung der Hauptgruppe Haupttunnel zeigt, dass beim zyklischen Vortrieb der Anteil der Lohnkosten sowohl des gewerblichen Personals (zykl.: ~31 % / kont.: ~26 %) als auch der Bauleitung (zykl.: ~9 % / kont.: ~6 %) höher sind. Die Anteile der Geräte (zykl.: ~12 % / kont.: ~15 %) bzw. der Stützmittel (zykl.: ~36 % / kont.: ~45 %) sind beim zyklischen Vortrieb geringer als beim kontinuierlichen. Die Kosten für die Untergruppe Ausbruch (zykl.: ~12 % / kont.: ~8 %) sind beim zyklischen Vortrieb im Vergleich zum kontinuierlichen höher.

6 Kostenanalyse

Die Ergebnisse der drei Projekte werden in den folgenden Kapiteln analysiert. Es werden die Randbedingungen der Projekte beschrieben und deren Auswirkungen auf die Kosten betrachtet.

Bei der Analyse der einzelnen Kostengruppe wird unterschieden zwischen:

- Einmalige Kosten
- Zeitgebundene Kosten
- Längenabhängige Kosten

6.1 Tunnel Pfänder

6.1.1 Zyklischer Vortrieb – Pfänder

Die Tabelle 67 zeigt eine Kostenübersicht über die Auswertungen beim Projekt Pfänder. Für die weiteren Betrachtungen wird das Projekt „Null“ nicht mehr behandelt. In der Tabelle sind auch Mittelwerte der Anteile und deren Standardabweichungen angegeben. Die Mittelwerte und die Standardabweichungen werden immer über die drei untersuchten Projekte (Pfänder „Drei“; Pfänder; Pfänder „Elf“) gebildet.

Für die Betrachtung der zeitgebundenen Kosten werden die durchschnittlichen Vortriebsgeschwindigkeiten der einzelnen Projektuntersuchungen angeführt:

	Vortriebslänge	Vortriebsdauer	Durchschnittliche Vortriebsgeschwindigkeiten	
	[m]	[AT]	[m/AT]	
Pfänder „Drei“	3.000	606	4,95	(siehe Anlage 6)
Pfänder	6.531	1.296	5,04	(siehe Anlage 1)
Pfänder „Elf“	10.649	2.104	5,06	(siehe Anlage 8)
		Mittelwert:	5,02	

Tabelle 66: Durchschnittliche Vortriebsgeschwindigkeiten Pfänder (zyklisch)

Der Mittelwert der Vortriebsgeschwindigkeit der Projektuntersuchungen liegt bei rund fünf Meter pro Arbeitstag. Die Unterschiede in den durchschnittlichen Vortriebsgeschwindigkeiten verursacht die Einarbeitung (siehe Kapitel 2.7.1.2). Diese hat beim zyklischen Vortrieb weniger Einfluss als beim kontinuierlichen Vortrieb.

<u>Zyklischer Vortrieb</u>		Pfänder „Drei“		Pfänder		Pfänder „Elf“		Mittelwerte der Anteile	Standardabweichung
		[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]		
Haupttunnel	Lohn	13,79	46%	29,16	47%	47,37	48%	47%	0,8%
	Geräte	5,36	18%	8,80	14%	13,20	13%	15%	2,0%
	Stützmittel	6,44	22%	14,03	23%	22,87	23%	22%	0,7%
	Ausbruch	4,35	15%	9,46	15%	15,43	16%	15%	0,5%
Zusatzangriff		0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	0%	0,0%
Betrachtete Kosten:		29,94	100%	61,45	100%	98,87	100%		

Tabelle 67: Kostenübersicht zyklischer Vortrieb – Pfänder

6.1.1.1 Lohnkosten

<u>Zyklischer Vortrieb</u>	Pfänder „Drei“		Pfänder		Pfänder „Elf“		Mittelwerte der Anteile	Standardabweichung
	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]		
Lohn	13,79	46 %	29,16	47 %	47,37	48 %	47 %	0,8 %
Betrachtete Kosten:		29,94	100 %	61,45	100 %	98,87	100 %	

Tabelle 68: Lohnkosten zyklischer Vortrieb – Pfänder

Beim Projekt Pfänder erfolgt der Vortrieb von zwei Seiten aus. Der Nord- Süd vortrieb wird jeweils von einer Vortriebsmannschaft durchgeführt. Der Mittelwert aus den Anteilen der Lohnkosten der drei untersuchten Projektängen errechnet sich zu 47 Prozent der betrachteten Kosten und die Standardabweichung zu 0,8 %. Die Lohnkosten sind zeitgebundene Kosten, welche über die Vortriebsdauer eingehen. Die Vortriebsdauer errechnet sich aus der jeweiligen Tunnellänge und der Vortriebsgeschwindigkeit (beim Projekt Pfänder ca. 5 m/AT). **Die Anteile der Lohnkosten bleiben mit zunehmender Tunnellänge annähernd gleich.**

6.1.1.2 Gerätekosten

<u>Zyklischer Vortrieb</u>	Pfänder „Drei“		Pfänder		Pfänder „Elf“		Mittelwerte der Anteile	Standardabweichung
	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]		
Geräte	5,36	18 %	8,80	14 %	13,20	13 %	15 %	2,0 %
Betrachtete Kosten:		29,94	100 %	61,45	100 %	98,87	100 %	

Tabelle 69: Gerätekosten zyklischer Vortrieb – Pfänder

Der Mittelwert der Gerätekosten aus den drei Projektuntersuchungen liegt bei 15 % der betrachteten Kosten. Die Anteile schwanken zwischen 13 und 18 %. Die Standardabweichung ist 2,0 %.

Die Gerätekosten setzen sich aus den einmaligen Kosten (Investitionskosten: ~2 Mio-€) und den zeitgebundenen Kosten (durchschnittliche Vortriebsgeschwindigkeit: 5,0 m/AT) zusammen. Die einmaligen Kosten teilen sich auf die Tunnellänge auf.

Die Anteile der Gerätekosten an den betrachteten Kosten nehmen mit zunehmender Tunnellänge ab.

6.1.1.3 Stützmittel

<u>Zyklischer Vortrieb</u>	Pfänder „Drei“		Pfänder		Pfänder „Elf“		Mittelwerte der Anteile	Standardabweichung
	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]		
Stützmittel	6,44	22 %	14,03	23 %	22,87	23 %	22 %	0,7 %
Betrachtete Kosten:	29,94	100 %	61,45	100 %	98,87	100 %		

Tabelle 70: Stützmittelkosten zyklischer Vortrieb – Pfänder

Die Stützmittelkosten schwanken zwischen 22 und 23 Prozent. Der Mittelwert aus den drei Projektuntersuchungen ist 22 Prozent der betrachteten Kosten. Die Standardabweichung errechnet sich zu 0,7 %. Im Vergleich zum kontinuierlichen Vortrieb ändern sich die Einzelkosten der Stützmittel des zyklischen Vortriebes nicht über die Tunnellänge (siehe Kapitel 5.1.3.2). Die Stützmittelkosten sind längenabhängige Kosten.

Die Anteile der Stützmittelkosten bleiben in etwa über die Änderung der Tunnellänge gleich.

6.1.1.4 Ausbruch

<u>Zyklischer Vortrieb</u>	Pfänder „Drei“		Pfänder		Pfänder „Elf“		Mittelwerte der Anteile	Standardabweichung
	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]		
Ausbruch	4,35	15 %	9,46	15 %	15,43	16 %	15 %	0,5 %
Betrachtete Kosten:	29,94	100 %	61,45	100 %	98,87	100 %		

Tabelle 71: Ausbruchskosten zyklischer Vortrieb – Pfänder

Der Mittelwert der Ausbruchskosten der drei Projektuntersuchungen liegt bei 15 % der betrachteten Kosten. Die Standardabweichung errechnet sich zu 0,5 %. Die Ausbruchskosten sind längenabhängige Kosten.

Die Anteile der Ausbruchskosten bleiben in etwa gleich über die Tunnellänge.

6.1.1.5 Zusatzangriff

Ein Zusatzangriff wird beim ursprünglichen Projekt nicht ausgeführt und daher bei den fiktiven Projekten auch nicht behandelt.

6.1.1.6 Betrachtete Kosten

Die betrachteten Kosten über die Tunnellänge sind schon in Tabelle 67 angegeben. In der Tabelle 72 sind die Projektuntersuchungen Pfänder des zyklischen Vortriebes aufgelistet. Dabei sind neben den betrachteten Kosten (aus den Kapiteln 5.1.1.1, 5.2.2.1 und 5.2.4.1.1) noch die Tunnellänge und die Querschnittfläche angegeben. Die betrachteten Kosten pro Meter Tunnellänge ergeben sich aus der Division der betrachteten Kosten durch die jeweilige Tunnellänge. Dividiert man die betrachteten Kosten durch die Querschnittfläche des zyklischen Vortriebes (105 m²), so ergeben sich die betrachteten Kosten pro Quadratmeter Querschnittfläche.

	Tunnellänge	Querschnittfläche	Betrachtete Kosten	Betrachtete Kosten pro Meter Tunnellänge	Betrachtete Kosten pro m ² Querschnittfläche
	[m]	[m ²]	[€]	[€/m]	[€/m ²]
Pfänder „Drei“	3000	105	29.941.572	9.981	285.158
Pfänder	6531	105	61.450.087	9.409	585.239
Pfänder „Elf“	10649	105	98.874.846	9.285	941.665

Tabelle 72: Übersicht Kosten – Pfänder (zyklischer Vortrieb)

Die in Tabelle 72 enthaltenen betrachteten Kosten pro Meter Tunnellänge sinken mit zunehmender Tunnellänge, da sich die einmaligen Kosten (wie z.B. die Geräteinvestitionen) auf die Tunnellänge aufteilen.

6.1.2 Kontinuierlicher Vortrieb – Pfänder

In der Tabelle 74 ist eine Übersicht über die Kosten der Projekte der kontinuierlichen Vortriebe dargestellt. Zusätzlich zu den Projektkosten und den dazugehörigen Prozentwerten sind wiederum die Mittelwerte der einzelnen Kostengruppen über die drei Projektuntersuchungen angegeben. Die Untersuchung Pfänder „Null“ wird dabei nicht berücksichtigt, da dort nur Kosten für Geräte und Vorarbeiten berücksichtigt wurden.

Für die Betrachtung der zeitgebundenen Kosten werden die durchschnittlichen Vortriebsgeschwindigkeiten der einzelnen Projektuntersuchungen angeführt:

	Vortriebslänge	Vortriebsdauer	Durchschnittliche Vortriebsgeschwindigkeiten	
	[m]	[AT]	[m/AT]	
Pfänder „Drei“	3.000	204	14,71	(siehe Anlage 6)
Pfänder	6.413	387	16,57	(siehe Anlage 1)
Pfänder „Elf“	10.735	616	17,43	(siehe Anlage 8)
Mittelwert:			16,23	

Tabelle 73: Durchschnittliche Vortriebsgeschwindigkeiten Pfänder (kontinuierlich)

Der Mittelwert der Vortriebsgeschwindigkeit der Projektuntersuchungen liegt bei rund 16 Meter pro Arbeitstag. Die Unterschiede in den durchschnittlichen Vortriebsgeschwindigkeiten verursacht die Einarbeitung (siehe Kapitel 2.7.1.3). Diese hat beim zyklischen Vortrieb weniger Einfluss als beim kontinuierlichen Vortrieb.

<u>Kontinuierlicher Vortrieb</u>		Pfänder „Drei“		Pfänder		Pfänder „Elf“		Mittelwerte der Anteile	Standardabweichung
		[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]		
Haupttunnel	Lohn	5,59	12 %	10,59	17 %	16,82	19 %	16 %	2,9 %
	Geräte	13,47	30 %	13,89	22 %	14,42	17 %	23 %	5,4 %
	Stützmittel	14,04	31 %	24,70	39 %	38,72	45 %	38 %	5,6 %
	Ausbruch	1,73	4 %	3,70	6 %	6,20	7 %	6 %	1,4 %
Vor- und Nacharbeiten		10,21	23 %	10,21	16 %	10,21	12 %	17 %	4,5 %
Betrachtete Kosten:		45,04	100 %	63,09	100 %	86,37	100 %		

Tabelle 74: Kostenübersicht kontinuierlicher Vortrieb – Pfänder

Nachfolgend werden die einzelnen Kostengruppen untersucht. Die Mittelwerte und die Standardabweichungen werden immer für die drei untersuchten Projekte (Pfänder „Drei“; Pfänder; Pfänder „Elf“) ermittelt.

6.1.2.1 Lohnkosten

<u>Kontinuierlicher Vortrieb</u>		Pfänder „Drei“		Pfänder		Pfänder „Elf“		Mittelwerte der Anteile	Standardabweichung
		[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]		
Lohn		5,59	12 %	10,59	17 %	16,82	19 %	16 %	2,9 %
Betrachtete Kosten:		45,04	100 %	63,09	100 %	86,37	100 %		

Tabelle 75: Lohnkosten kontinuierlicher Vortrieb – Pfänder

Der Vortrieb erfolgt mit einer Tunnelbohrmaschine. Die Anteile der Lohnkosten an den Gesamtkosten steigen mit zunehmender Tunnellänge und betragen im Mittel 16 Prozent der betrachteten Kosten. Die Werte schwanken von 12 bis 19 Prozent. Die Standardabweichung liegt bei 2,9 %. Die Lohnkosten sind zeitgebundene Kosten, welche über die Vortriebsdauer eingehen. Die Vortriebsdauer errechnet sich aus der jeweiligen Tunnellänge und der Vortriebsgeschwindigkeit (bei diesen Projektuntersuchungen rund 16 m/AT).

Die Anteile der Lohnkosten steigen mit zunehmender Tunnellänge.

6.1.2.2 Gerätekosten

<i>Kontinuierlicher Vortrieb</i>	Pfähder „Drei“		Pfähder		Pfähder „Elf“		Mittelwerte der Anteile	Standardabweichung
	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]		
Geräte	13,47	30 %	13,89	22 %	14,42	17 %	23 %	5,4 %

Tabelle 76: Gerätekosten kontinuierlicher Vortrieb – Pfänder

Der Mittelwert liegt bei rund 23 % der betrachteten Kosten. Der Wert der Standardabweichung errechnet sich zu 5,4 %. Die Anteile der Gerätekosten schwanken zwischen 17 und 30 %. Die Gerätekosten setzen sich aus den einmaligen Kosten (Investitionskosten: ~13 Mio-€) und den zeitgebundenen Kosten (durchschnittliche Vortriebsgeschwindigkeit: 16,0 m/AT) zusammen.

Da sich die einmaligen Kosten auf die Vortriebslänge aufteilen, nehmen die Anteile der Gerätekosten an den betrachteten Kosten mit zunehmender Vortriebslänge ab.

6.1.2.3 Stützmittel

<i>Kontinuierlicher Vortrieb</i>	Pfähder „Drei“		Pfähder		Pfähder „Elf“		Mittelwerte der Anteile	Standardabweichung
	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]		
Stützmittel	14,04	31 %	24,70	39 %	38,72	45 %	38 %	5,6 %

Betrachtete Kosten: 45,04 100 % 63,09 100 % 86,37 100 %

Tabelle 77: Stützmittelkosten kontinuierlicher Vortrieb – Pfänder

Der Mittelwert der Stützmittelkosten errechnet sich zu 38 % der betrachteten Kosten. Die Standardabweichung liegt bei 5,6 %. Die Anteile schwanken zwischen 31 und 45 %. Im Vergleich zum zyklischen Vortrieb ändern sich die Einzelkosten der Stützmittel des kontinuierlichen Vortriebes über die Tunnellänge (siehe Kapitel 5.1.3.2). Die Stützmittelkosten sind längenabhängige Kosten.

Die Anteile der Stützmittel an den betrachteten Kosten steigen mit zunehmender Tunnellänge.

6.1.2.4 Ausbruch

<u>Kontinuierlicher Vortrieb</u>	Pfänder „Drei“		Pfänder		Pfänder „Elf“		Mittelwerte der Anteile	Standardabweichung
	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]		
Ausbruch	1,73	4 %	3,70	6 %	6,20	7 %	6 %	1,4 %
Betrachtete Kosten:	45,04	100 %	63,09	100 %	86,37	100 %		

Tabelle 78: Ausbruchskosten kontinuierlicher Vortrieb – Pfänder

Der Mittelwert beläuft sich auf sechs Prozent der betrachteten Kosten. Die Standardabweichung errechnet sich zu rund 1,4 %. Die Werte schwanken zwischen zirka vier und sieben Prozent. Die Ausbruchskosten sind längenabhängige Kosten.

Die Anteile der Ausbruchskosten an den betrachteten Kosten steigen leicht mit zunehmender Tunnellänge.

6.1.2.5 Vor- und Nacharbeiten

<u>Kontinuierlicher Vortrieb</u>	Pfänder „Drei“		Pfänder		Pfänder „Elf“		Mittelwerte der Anteile	Standardabweichung
	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]		
Vor- und Nacharbeiten	10,21	23 %	10,21	16 %	10,21	12 %	17 %	4,5 %
Betrachtete Kosten:	45,04	100 %	63,09	100 %	86,37	100 %		

Tabelle 79: Kosten Vor- und Nacharbeiten kontinuierlicher Vortrieb – Pfänder

Für diesen Bereich ergeben sich im Mittel Kosten von rund 17 Prozent der betrachteten Kosten. Die Standardabweichung errechnet sich zu 4,5 %. Die Kosten der Vor- und Nacharbeiten sind in den Kostenschätzungen einmalige Kosten.

Die Kostenanteile nehmen mit zunehmender Tunnellänge ab, da sich die einmaligen Kosten auf die Tunnellänge aufteilen.

6.1.2.6 Betrachtete Kosten

Die betrachteten Kosten über die Tunnellänge sind schon in Tabelle 74 angegeben. Dabei sind neben den betrachteten Kosten (aus den Kapiteln 5.1.1.2, 5.2.2.1.2 und 5.2.4.1.2) noch die Tunnellänge und die Querschnittfläche angegeben. Die betrachteten Kosten pro Meter Tunnellänge ergeben sich aus der Division der betrachteten Kosten durch die jeweilige Tun-

nellänge. Dividiert man die betrachteten Kosten durch die Querschnittfläche des zyklischen Vortriebes (105 m²), so ergeben sich die betrachteten Kosten pro Quadratmeter Querschnittfläche.

	Tunnellänge	Querschnittfläche	Betrachtete Kosten	Betrachtete Kosten pro Meter Tunnellänge	Betrachtete Kosten pro m ² Querschnittfläche
	[m]	[m ²]	[€]	[€/m]	[€/m ²]
Pfänder „Drei“	3118	105	45.040.680	14.445	428.959
Pfänder	6531	105	63.086.376	9.660	600.823
Pfänder „Elf“	10853	105	86.365.782	7.958	822.531

Tabelle 80: Übersicht Kosten – Pfänder (kontinuierlicher Vortrieb)

Die Kosten pro Meter Tunnel nehmen mit zunehmender Tunnellänge ab, da sich die einmaligen Kosten (wie z.B. die Geräteinvestitionen) auf die Tunnellänge aufteilen.

6.1.3 Gegenüberstellung zyklischer und kontinuierlicher Vortrieb – Pfänder

In den folgenden Diagrammen (Abbildung 105 und Abbildung 106) sind die Anteile der Kosten der Hauptgruppen an den betrachteten Kosten des tatsächlichen und der fiktiven Projekte dargestellt. Sie zeigen die Entwicklung der Anteile über die verschiedenen Tunnellängen.

Der Anteil der Gerätekosten sinkt mit zunehmender Tunnellänge beim **zyklischen Vortrieb**. Die anderen Kostengruppen steigen mit zunehmender Tunnellänge. Aus den Abbildungen ist zu erkennen, dass beim zyklischen Vortrieb im Vergleich zum kontinuierlichen Vortrieb die Anteile für den *Lohn* und den *Ausbruch* deutlich höher sind.

Beim **kontinuierlichen Vortrieb** sinken die Anteile der Gerätekosten und der Vor- und Nacharbeiten mit steigender Tunnellänge. Die Anteile der anderen Kostengruppen steigen mit zunehmender Tunnellänge an. Beim kontinuierlichen Vortrieb überwiegen die Kosten für *Stützmittel* und die *Vor- und Nacharbeiten*. Die Gerätekosten sind beim kontinuierlichen Vortrieb zu Beginn wesentlich höher, nähern sich aber mit zunehmender Tunnellänge den des zyklischen Vortriebes an.

Die Kostenanteile beim zyklischen Vortrieb bleiben über die Tunnellänge annähernd gleich. Im Vergleich dazu verändern sich die Kostenanteile beim kontinuierlichen Vortrieb mit zunehmender Tunnellänge deutlich.

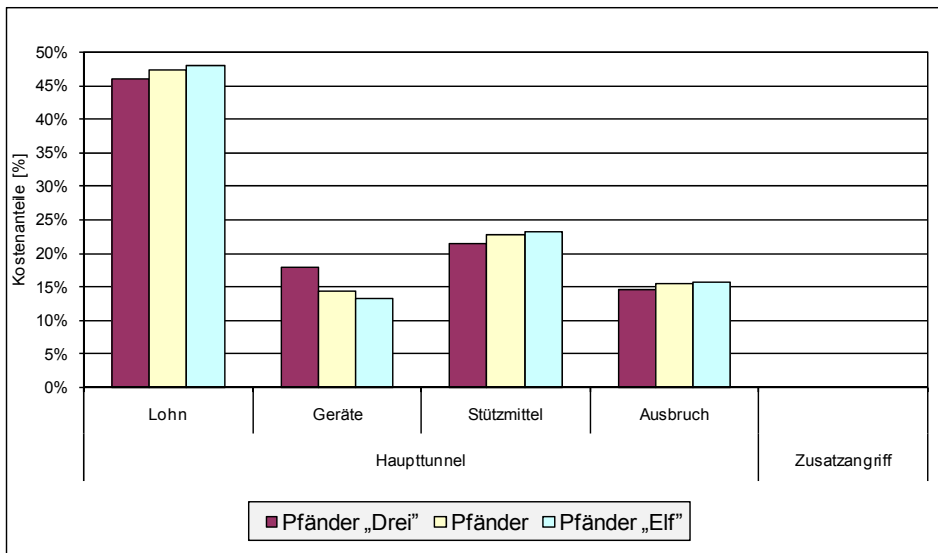


Abbildung 105: Übersicht über die Kostengruppen Pfänder (zyklisch)

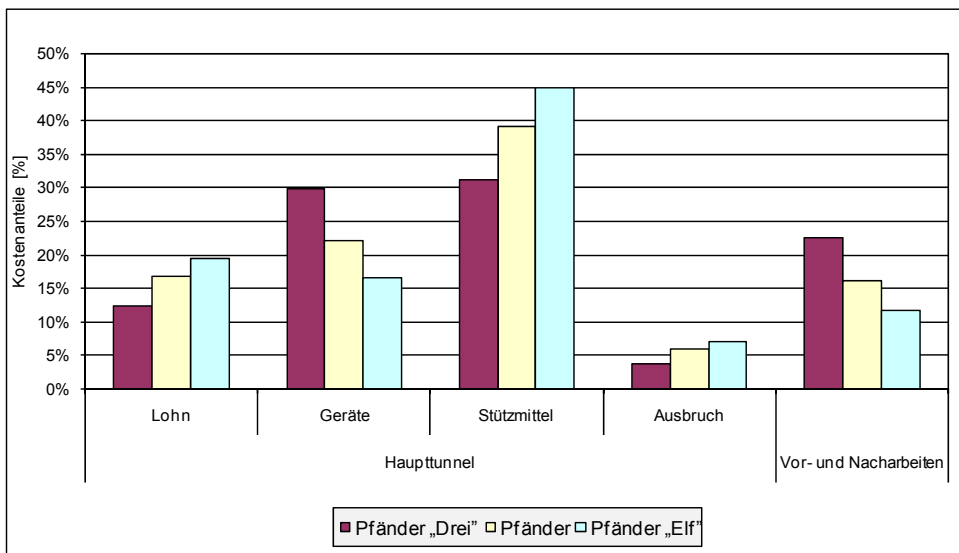


Abbildung 106: Übersicht über die Kostengruppen Pfänder (kontinuierlich)

6.2 Tunnelkette Perschling

6.2.1 Zyklischer Vortrieb – Perschling

Eine Zusammenfassung der einzelnen Untersuchungen der Tunnelkette Perschling ist in Tabelle 82 dargestellt. Die ganz rechte Spalte gibt wieder die Mittelwerte (Ohne die Kostenuntersuchung Perschling „Null“ zu beinhalten, da diese ohnehin keine Werte besitzt.) der Kostenanteile der betrachteten Kosten an. Die Mittelwerte der betrachteten Kosten und die Standardabweichung werden immer über die drei untersuchten Projekte (Perschling „Drei“; Perschling; Perschling „Elf“) gebildet.

Für die Betrachtung der zeitgebundenen Kosten werden die durchschnittlichen Vortriebsgeschwindigkeiten der einzelnen Projektuntersuchungen angeführt:

	Vortriebslänge	Vortriebsdauer	Durchschnittliche Vortriebsgeschwindigkeiten	
	[m]	[AT]	[m/AT]	
Perschling „Drei“	3.000	758	3,96	(siehe Anlage 6)
Perschling	6.061	1.515	4,00	(siehe Anlage 1)
Perschling „Elf“	10.649	2.630	4,05	(siehe Anlage 8)
		Mittelwert:	4,00	

Tabelle 81: Durchschnittliche Vortriebsgeschwindigkeiten Perschling (zyklisch)

Der Mittelwert der Vortriebsgeschwindigkeit der Projektuntersuchungen liegt bei rund vier Meter pro Arbeitstag. Die Unterschiede in den durchschnittlichen Vortriebsgeschwindigkeiten verursacht die Einarbeitung (siehe Kapitel 2.7.1.2). Diese hat beim zyklischen Vortrieb weniger Einfluss als beim kontinuierlichen Vortrieb.

<u>Zyklischer Vortrieb</u>		Perschling „Drei“		Perschling		Perschling „Elf“		Mittelwerte der Anteile	Standardabweichung
		[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]		
Haupttunnel	Lohn	13,42	41%	26,72	40%	46,47	40%	40%	0,2%
	Geräte	4,08	12%	8,00	12%	14,00	12%	12%	0,1%
	Stützmittel	11,69	35%	23,61	36%	41,48	36%	36%	0,2%
	Ausbruch	3,82	12%	7,71	12%	13,55	12%	12%	0,1%
Zusatzangriff		0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	0%	0,0%
Betrachtete Kosten:		33,00	100%	66,04	100%	115,50	100%		

Tabelle 82: Kostenübersicht zyklischer Vortrieb – Perschling

Im Fall Perschling „Null“ treten keine Kosten auf. Einerseits ist kein Zusatzangriff vorgesehen und andererseits sind keine Geräteinvestitionen notwendig. Der Bedarf eines Zusatzangriffes ist aufgrund der Zugänglichkeit aller Portale und der vorhandenen Tunnellängen nicht notwendig. Investitionen sind aufgrund von vorhandenem Gerät nicht erforderlich.

6.2.1.1 Lohnkosten

<u>Zyklischer Vortrieb</u>	Perschling „Drei“		Perschling		Perschling „Elf“		Mittelwerte der Anteile	Standardabweichung
	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]		
Lohn	13,42	41 %	26,72	40 %	46,47	40 %	40 %	0,2 %
Betrachtete Kosten:	33,00	100 %	66,04	100 %	115,50	100 %		

Tabelle 83: Übersicht Lohnkosten Perschling - zyklisch

Für die drei Tunnelbauwerke sind vier Vortrieb vorgesehen. Beim Stierschweifeldtunnel sind zwei und beim Raingrubentunnel und beim Reiserbergtunnel je ein Angriff geplant. Die Personalstärke ist von der Vortriebslänge unabhängig. Die Personalausgaben belaufen sich im Mittel auf 40 % der betrachteten Kosten. Der Wert bewegt sich zwischen 40 und 41 Prozent. Die Anteile der Lohnkosten besitzen nur eine geringe Schwankungsbreite bei unterschiedlicher Tunnellänge ab. Die Standardabweichung ist 0,2 %. Die Lohnkosten sind zeitgebundene Kosten, welche über die Vortriebsdauer eingehen. Die Vortriebsdauer errechnet sich aus der jeweiligen Tunnellänge und der Vortriebsgeschwindigkeit (bei diesen Projektuntersuchungen rund 4 m/AT).

Die Anteile der Lohnkosten bleiben mit zunehmender Tunnellänge gleich.

6.2.1.2 Gerätekosten

<u>Zyklischer Vortrieb</u>	Perschling „Drei“		Perschling		Perschling „Elf“		Mittelwerte der Anteile	Standardabweichung
	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]		
Geräte	4,08	12 %	8,00	12 %	14,00	12 %	12 %	0,1 %
Betrachtete Kosten:	33,00	100 %	66,04	100 %	115,50	100 %		

Tabelle 84: Übersicht Gerätekosten Perschling - zyklisch

Die Ausgaben für Geräte machen knapp über ein Zehntel der Gesamtkosten aus. Dieser Wert schwankt nur gering über die Tunnellänge (Mittelwert der betrachteten Kosten ist zwölf Prozent, Standardabweichung 0,1 %). Eine Änderung der Kostenanteile über die Tunnellänge ist kaum vorhanden, da bei diesem Projekt keine Investitionskosten vorhanden sind. Die Gerätekosten setzen sich bei dieser Projektuntersuchung nur aus zeitgebundenen Kosten zusammen. Es sind hier keine einmaligen Kosten vorhanden (siehe Kapitel 5.1.2.1).

Die Anteile der Gerätekosten bleiben mit zunehmender Tunnellänge gleich.

6.2.1.3 Stützmittel

<u>Zyklischer Vortrieb</u>	Perschling „Drei“		Perschling		Perschling „Elf“		Mittelwerte der Anteile	Standardabweichung
	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]		
Stützmittel	11,69	35 %	23,61	36 %	41,48	36 %	36 %	0,2 %
Betrachtete Kosten:	33,00	100 %	66,04	100 %	115,50	100 %		

Tabelle 85: Übersicht Stützmittelkosten Perschling - zyklisch

Die Kosten für Stützmittel belaufen sich im Mittel auf 36 Prozent (Standardabweichung 0,2 %). Im Vergleich zum kontinuierlichen Vortrieb ändern sich die Einzelkosten der Stützmittel des zyklischen Vortriebes Die Stützmittelkosten sind längenabhängige Kosten.

Die Anteile der Stützmittel bleiben mit zunehmender Tunnellänge gleich.

6.2.1.4 Ausbruch

<u>Zyklischer Vortrieb</u>	Perschling „Drei“		Perschling		Perschling „Elf“		Mittelwerte der Anteile	Standardabweichung
	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]		
Ausbruch	3,82	12 %	7,71	12 %	13,55	12 %	12 %	0,1 %
Betrachtete Kosten:	33,00	100 %	66,04	100 %	115,50	100 %		

Tabelle 86: Übersicht Ausbruchskosten Perschling - zyklisch

Der Mittelwert der betrachteten Kosten liegt bei zwölf Prozent bei einer Standardabweichung von 0,1 Prozent. Die Ausbruchskosten sind längenabhängige Kosten.

Die Anteile der Ausbruchskosten bleiben mit zunehmender Tunnellänge gleich.

6.2.1.5 Zusatzangriff

Ein Zusatzangriff wird beim ursprünglichen Projekt nicht ausgeführt und daher bei den fiktiven Projekten auch nicht behandelt.

6.2.1.6 Betrachtete Kosten

Die betrachteten Kosten über die Tunnellänge sind schon in Tabelle 82 angegeben. Die betrachteten Kosten (aus den Kapiteln 5.1.2.1, 5.2.2.2.1 und 5.2.4.2.1) sowie die Tunnellänge und die Querschnittfläche sind in Tabelle 87 angegeben. Die betrachteten Kosten pro Meter Tunnellänge ergeben sich aus der Division der betrachteten Kosten durch die jeweilige Tunnellänge. Dividiert man die betrachteten Kosten durch die Querschnittfläche des zyklischen

Vortriebes (120 m²), so ergeben sich die betrachteten Kosten pro Quadratmeter Querschnittsfläche.

	Tunnellänge	Querschnittsfläche	Betrachtete Kosten	Betrachtete Kosten pro Meter Tunnellänge	Betrachtete Kosten pro m ² Querschnittsfläche
	[m]	[m ²]	[€]	[€/m]	[€/m ²]
Perschling „Drei“	3000	120	33.002.250	11.001	275.019
Perschling	6272	120	66.039.687	10.529	550.331
Perschling „Elf“	10649	120	115.497.096	10.846	962.476

Tabelle 87: Übersicht Kosten – Perschling (zyklischer Vortrieb)

Die in Tabelle 87 betrachteten Kosten pro Meter Tunnellänge haben hier keine eindeutige Tendenz, da sich keine einmaligen Kosten über die Tunnellänge aufteilen und die Vortriebsdauer aufgrund der Einarbeitungszeit schwankt.

6.2.2 Kontinuierlicher Vortrieb – Perschling

Die Tabelle 89 zeigt die Übersicht über die abgeschätzten Kosten der verschiedenen Längen. Zusätzlich zu den betrachteten Kosten sind jeweils die Mittelwerte und die Standardabweichungen der einzelnen Kostengruppen angegeben. Diese Werte inkludieren das Projekt „Null“ nicht, da dort nur Kosten für Geräte und Vorarbeiten vorhanden sind. Die Mittelwerte und die Standardabweichung werden immer über die drei untersuchten Projekte (Perschling „Drei“; Perschling; Perschling „Elf“) gebildet.

Für die Betrachtung der zeitgebundenen Kosten werden die durchschnittlichen Vortriebsgeschwindigkeiten der einzelnen Projektuntersuchungen angeführt.

	Vortriebslänge	Vortriebsdauer	Durchschnittliche Vortriebsgeschwindigkeiten	
	[m]	[AT]	[m/AT]	
Perschling „Drei“	3.000	294	10,20	(siehe Anlage 6)
Perschling	6.212	555	11,19	(siehe Anlage 1)
Perschling „Elf“	10.735	921	11,66	(siehe Anlage 8)
	Mittelwert:		11,02	

Tabelle 88: Durchschnittliche Vortriebsgeschwindigkeiten Perschling (kontinuierlich)

Der Mittelwert der Vortriebsgeschwindigkeit der Projektuntersuchungen liegt bei rund elf Metern pro Arbeitstag. Die Unterschiede in den durchschnittlichen Vortriebsgeschwindigkeiten verursacht die Einarbeitung (siehe Kapitel 2.7.1.3). Diese hat beim zyklischen Vortrieb weniger Einfluss als beim kontinuierlichen Vortrieb.

<u>Kontinuierlicher Vortrieb</u>		Perschling „Drei“		Perschling		Perschling „Elf“		Mittelwerte der Anteile	Standardabweichung
		[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]		
Haupttunnel	Lohn	9,47	19 %	17,72	24 %	29,60	28 %	23 %	3,9 %
	Geräte	12,70	25 %	13,30	18 %	14,17	13 %	19 %	4,8 %
	Stützmittel	15,56	31 %	28,88	38 %	42,91	41 %	37 %	4,3 %
	Ausbruch	2,19	4 %	4,54	6 %	7,85	7 %	6 %	1,3 %
Vor- und Nacharbeiten		10,81	21 %	10,81	14 %	10,81	10 %	15 %	4,6 %

Betrachtete Kosten: 50,73 100 % 75,24 100 % 105,34 100 %

Tabelle 89: Kostenübersicht kontinuierlicher Vortrieb – Perschling

6.2.2.1 Lohnkosten

<u>Kontinuierlicher Vortrieb</u>	Perschling „Drei“		Perschling		Perschling „Elf“		Mittelwerte der Anteile	Standardabweichung
	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]		
Lohn	9,47	19 %	17,72	24 %	29,60	28 %	23 %	3,9 %

Betrachtete Kosten: 50,73 100 % 75,24 100 % 105,34 100 %

Tabelle 90: Lohnkosten kontinuierlicher Vortrieb – Perschling

Die drei Vortriebe der Tunnelkette Perschling werden mit einer Tunnelbohrmaschine durchgeführt. Der Mittelwert der betrachteten Kosten liegt bei 23 Prozent bei einer Standardabweichung von 3,9 %. Die Lohnkosten sind zeitgebundene Kosten, welche über die Vortriebsdauer eingehen. Die Vortriebsdauer errechnet sich aus der jeweiligen Tunnellänge und der Vortriebsgeschwindigkeit (bei diesen Projektuntersuchungen rund 11 m/AT).

Die Anteile der Lohnkosten steigen mit zunehmender Tunnellänge.

6.2.2.2 Gerätekosten

<u>Kontinuierlicher Vortrieb</u>	Perschling „Drei“		Perschling		Perschling „Elf“		Mittelwerte der Anteile	Standardabweichung
	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]		
Geräte	12,70	25 %	13,30	18 %	14,17	13 %	19 %	4,8 %

Betrachtete Kosten: 50,73 100 % 75,24 100 % 105,34 100 %

Tabelle 91: Gerätekosten kontinuierlicher Vortrieb – Perschling

Die Investitionskosten für Geräte werden vor allem von den Kosten der Tunnelbohrmaschine bestimmt. Beim ursprünglichen Projekt sind rund 18 Prozent der betrachteten Kosten für Geräte vorhanden. Der Mittelwert der betrachteten Kosten der Untergruppe Geräte liegt bei 19 Prozent mit einer Standardabweichung von 4,8 %. Die Gerätekosten setzen sich aus den einmaligen Kosten (Investitionskosten: ~12 Mio-€) und den zeitgebundenen Kosten (durchschnittliche Vortriebsgeschwindigkeit: 11,0 m/AT) zusammen.

Die Anteile der Gerätekosten nehmen mit zunehmender Tunnellänge ab, da sich die Geräteinvestitionen auf die Vortriebslänge aufteilen.

6.2.2.3 Stützmittel

<u>Kontinuierlicher Vortrieb</u>	Perschling „Drei“		Perschling		Perschling „Elf“		Mittelwerte der Anteile	Standardabweichung
	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]		
Stützmittel	15,56	31 %	28,88	38 %	42,91	41 %	37 %	4,3 %

Betrachtete Kosten: 50,73 100 % 75,24 100 % 105,34 100 %

Tabelle 92: Stützmittelkosten kontinuierlicher Vortrieb – Perschling

Für Stützmittel sind rund ein Drittel der Gesamtkosten notwendig. Der Mittelwert der Gerätekosten ergibt sich aus den drei Untersuchungen am Projekt Perschling zu 37 Prozent. Die Standardabweichung beträgt 4,3 %.

Der Ausbau der kontinuierlichen Variante erfolgt als zweischaliges System mit Tübbing und anschließender Innenschale. Die einmaligen Kosten der Tübbingherstellung und die damit verbundenen Kosten teilen sich auf die Vortriebslänge auf. Die Stützmittelkosten wurden wie beim Projekt Pfänder mit der Tunnellänge verändert, da sich die einmaligen Kosten der Tübbingherstellung auf der Stückzahl der Tübbinge umlegen. Der Querschnittumfang besitzt eine Länge von 41 m und die Kosten belaufen sich im ursprünglichen Projekt auf 113,4 €/m² (siehe Anlage 3). Die Stützmittelkosten sind längenabhängige Kosten.

Die Anteile der Stützmittel steigen mit zunehmender Tunnellänge.

6.2.2.4 Ausbruch

<u>Kontinuierlicher Vortrieb</u>	Perschling „Drei“		Perschling		Perschling „Elf“		Mittelwerte der Anteile	Standardabweichung
	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]		
Ausbruch	2,19	4 %	4,54	6 %	7,85	7 %	6 %	1,3 %

Betrachtete Kosten: 50,73 100 % 75,24 100 % 105,34 100 %

Tabelle 93: Ausbruchskosten kontinuierlicher Vortrieb – Perschling

Dieses Projekt weist unter den betrachteten Tunnelprojekten den größten Querschnitt mit 133 m² auf. Die Kosten pro Kubikmeter Ausbruch sind bei allen drei Projekten in etwa gleich. Beim Projekt Perschling sind 5,5 €/m³ kalkuliert. Der Mittelwert der Ausbruchskosten liegt bei diesem Projekt bei sechs Prozent. Die Standardabweichung errechnet sich zu 1,3 Prozent. Die Ausbruchskosten sind längenabhängige Kosten.

Die Anteile der Ausbruchskosten steigen mit zunehmender Tunnellänge.

6.2.2.5 Vor- und Nacharbeiten

<u>Kontinuierlicher Vortrieb</u>	Perschling „Drei“		Perschling		Perschling „Elf“		Mittelwerte der Anteile	Standardabweichung
	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]		
Vor- und Nacharbeiten	10,81	21 %	10,81	14 %	10,81	10 %	15 %	4,6 %

Betrachtete Kosten: 50,73 100 % 75,24 100 % 105,34 100 %

Tabelle 94: Vor- und Nacharbeiten kontinuierlicher Vortrieb – Perschling

Die Vor- und Nacharbeiten verursachen im Mittel Kosten von 15 Prozent. Die Standardabweichung beträgt 4,6 Prozent. Der erhöhte Aufwand ist begründbar durch die Notwendigkeit des zweimaligen Umsetzens der TBM. Die Kosten für die Vor- und Nacharbeiten sind in den Kostenschätzungen einmalige Kosten.

Die Anteile der Vor- und Nacharbeiten sinken mit zunehmender Tunnellänge, da sich die einmaligen Kosten der Vor- und Nacharbeiten auf die Vortriebslänge aufteilen.

6.2.2.6 Betrachtete Kosten

Die betrachteten Kosten über die Tunnellänge sind schon in Tabelle 89 angegeben. Dabei sind neben den betrachteten Kosten (aus den Kapiteln 5.1.2.2, 5.2.2.2.2 und 5.2.4.2.2) noch die Tunnellänge und die Querschnittfläche angegeben. Die betrachteten Kosten pro Meter Tunnellänge ergeben sich aus der Division der betrachteten Kosten durch die jeweilige Tunnellänge. Dividiert man die betrachteten Kosten durch die Querschnittfläche des zyklischen

Vortriebes (120 m²; zyklische Querschnittfläche um dem Überprofil des kontinuierlichen Vortriebes Rechnung zu tragen, siehe Kapitel 5.1.4.3), so ergeben sich die betrachteten Kosten pro Quadratmeter Querschnittfläche.

	Tunnellänge	Querschnittfläche	Betrachtete Kosten	Betrachtete Kosten pro Meter Tunnellänge	Betrachtete Kosten pro m ² Querschnittfläche
	[m]	[m ²]	[€m]	[€/m]	m ²
Perschling „Drei“	3060	120	50.727.580	16.578	422.730
Perschling	6272	120	75.244.986	11.997	627.042
Perschling „Elf“	10795	120	105.343.391	9.759	877.862

Tabelle 95: Übersicht Kosten – Perschling (kontinuierlicher Vortrieb)

Die in Tabelle 89 betrachteten Kosten pro Meter Tunnellänge sinken mit zunehmender Tunnellänge, da sich die einmaligen Kosten über die Tunnellänge aufteilen.

6.2.3 Gegenüberstellung zyklischer und kontinuierlicher Vortrieb – Perschling

Die folgenden Diagramme (Abbildung 107 und Abbildung 108) zeigen die Anteile der Kostengruppen der einzelnen Projekte. Darin sind die Anteile über die verschiedenen Tunnellängen aufgetragen.

Bei diesem Projekt ändern sich die Anteile der einzelnen Kostengruppen beim **zyklischen Vortrieb** kaum. Der Grund dafür ist, dass keine einmaligen Kosten bei diesem Projekt vorhanden sind. Der Vergleich der beiden Vortriebsarten zeigt, dass beim zyklischen Vortrieb die *Lohnkosten* und die Ausgaben für *Ausbruch* deutlich höher sind.

Beim **kontinuierlichen Vortrieb** sinken Kostenanteile der Geräte und die der Vor- und Nacharbeiten mit zunehmender Tunnellänge. Die anderen Anteile (Lohn, Stützmittel, Ausbruch) steigen mit zunehmender Tunnellänge. Die Gerätekosten des kontinuierlichen Vortriebes nähern sich mit steigender Tunnellänge den Anteilen des zyklischen Vortriebes an. Der Anteil der Stützmittelkosten ist zunächst beim zyklischen Vortrieb größer als beim kontinuierlichen Vortrieb, übersteigt aber mit zunehmender Tunnellänge die Anteile der Stützmittelkosten.

Die Kostenanteile beim zyklischen Vortrieb bleiben über die Tunnellänge annähernd gleich. Im Vergleich dazu verändern sich die Kostenanteile beim kontinuierlichen Vortrieb mit zunehmender Tunnellänge deutlich.

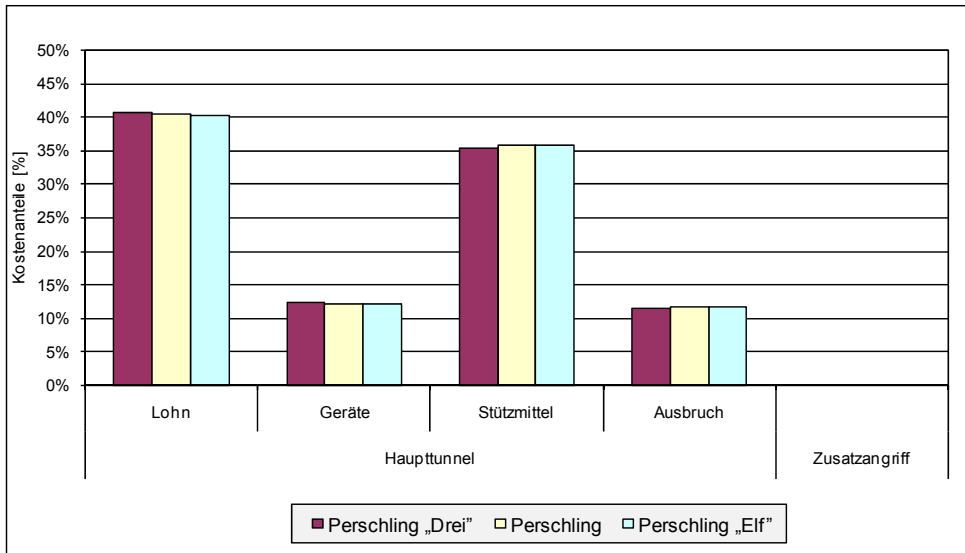


Abbildung 107: Übersicht über die Kostengruppen Perschling (zyklisch)

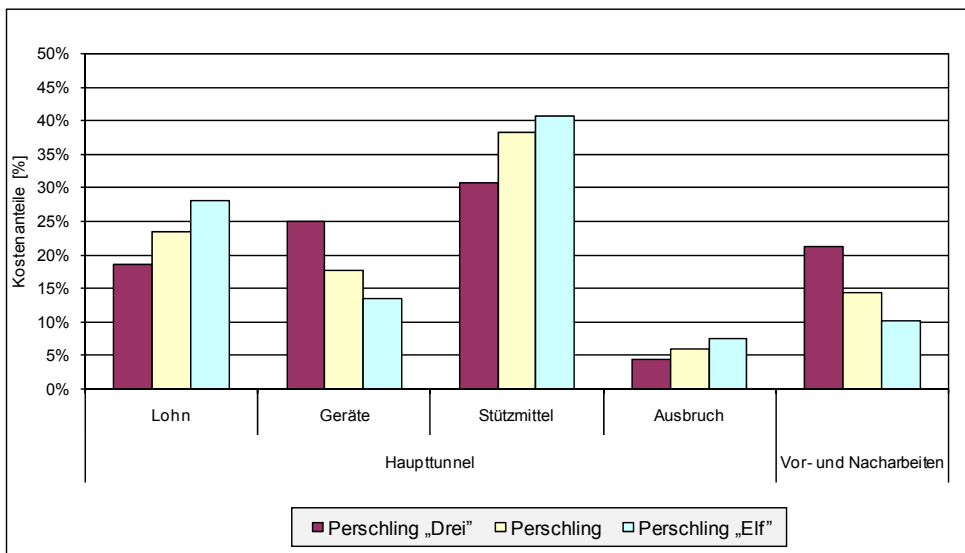


Abbildung 108: Übersicht über die Kostengruppen Perschling (kontinuierlich)

6.3 Wienerwald

6.3.1 Zyklischer Vortrieb - Wienerwald

Die Tabelle 97 zeigt die Übersicht über die Kosten der untersuchten Tunnellängen für eine Röhre ergänzt um einen Mittelwert und die Standardabweichung (Das Projekt Wienerwald „Null“ ist dabei nicht berücksichtigt.). Die Mittelwerte und die Standardabweichung werden immer über die drei untersuchten Projekte (Wienerwald „Drei“; Wienerwald „Sechs“; Wienerwald) gebildet.

Für die Betrachtung der zeitgebundenen Kosten werden die durchschnittlichen Vortriebsgeschwindigkeiten der einzelnen Projektuntersuchungen angeführt:

	Vortriebslänge	Vortriebsdauer	Durchschnittliche Vortriebsgeschwindigkeiten
	[m]	[AT]	[m/AT]
Wienerwald „Drei“	6.000	1.316	4,56
Wienerwald „Sechs“	12.122	2.656	4,56
Wienerwald	21.298	4.640	4,59
	Mittelwert:		4,57

Tabelle 96: Durchschnittliche Vortriebsgeschwindigkeiten Wienerwald (zyklisch)

Der Mittelwert der Vortriebsgeschwindigkeit der Projektuntersuchungen liegt bei rund 4,6 m/AT. Die Unterschiede in den durchschnittlichen Vortriebsgeschwindigkeiten verursacht die Einarbeitung (siehe Kapitel 2.7.1.2). Diese hat beim zyklischen Vortrieb weniger Einfluss als beim kontinuierlichen Vortrieb.

<u>Zyklischer Vortrieb</u>		Wienerwald „Drei“		Wienerwald „Sechs“		Wienerwald		Mittelwerte der Anteile	Standardabweichung
		[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]		
Haupttunnel	Lohn	10,74	42 %	21,71	40 %	37,81	35 %	39 %	3,0 %
	Geräte	2,71	11 %	7,90	14 %	13,27	12 %	12 %	1,6 %
	Stützmittel	9,44	37 %	19,81	36 %	33,51	31 %	35 %	2,7 %
	Ausbruch	2,45	10 %	5,14	9 %	8,69	8 %	9 %	0,7 %
Zusatzangriff		0,00	0 %	0,00	0 %	14,25	13 %	4 %	6,2 %
Betrachtete Kosten:		25,33	100 %	54,55	100 %	107,52	100 %		

Tabelle 97: Kostenübersicht zyklischer Vortrieb – Wienerwald

6.3.1.1 Lohnkosten

<u>Zyklischer Vortrieb</u>	Wienerwald „Drei“		Wienerwald „Sechs“		Wienerwald		Mittelwerte der Anteile	Standardab- weichung
	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]		
Lohn	10,74	42 %	21,71	40 %	37,81	35 %	39 %	3,0 %
Betrachtete Kosten:	25,33	100 %	54,55	100 %	107,52	100 %		

Tabelle 98: Lohnkosten zyklischer Vortrieb – Wienerwald

Beim ursprünglichen Projekt wird der Vortrieb von drei Angriffsstellen pro Röhre aus durchgeführt. Dabei startet ein Vortrieb vom Westportal und zwei Vortriebe sind als Zusatzangriffe vorhanden, die vom Ende des Zugangstunnels aus starten. Bei den fiktiven Projekten („Drei“ und „Sechs“) wird jeweils ein Vortrieb vom Westportal aus in den Kostenschätzungen betrachtet. Im Mittel sind über ein Drittel der betrachteten Kosten für Lohn notwendig. Der Mittelwert der Lohnkosten liegt bei 39 Prozent der betrachteten Kosten mit einer Standardabweichung von rund 3,0 %. Die Lohnkosten sind zeitgebundene Kosten, welche über die Vortriebsdauer eingehen. Die Vortriebsdauer errechnet sich aus der jeweiligen Tunnellänge und der Vortriebsgeschwindigkeit (bei diesen Projektuntersuchungen rund 4,6 m/AT).

Die Anteile der Lohnkosten sinken mit zunehmender Tunnellänge.

6.3.1.2 Gerätekosten

<u>Zyklischer Vortrieb</u>	Wienerwald „Drei“		Wienerwald „Sechs“		Wienerwald		Mittelwerte der Anteile	Standardab- weichung
	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]		
Geräte	2,71	11 %	7,90	14 %	13,27	12 %	12 %	1,6 %
Betrachtete Kosten:	25,33	100 %	54,55	100 %	107,52	100 %		

Tabelle 99: Gerätekosten zyklischer Vortrieb – Wienerwald

Der Mittelwert für die Geräteausgaben liegt bei zwölf Prozent. Die Standardabweichung liegt bei 1,6 %. Die Gerätekosten setzen sich aus einmaligen Kosten (Investitionskosten: ~4 Mio-€ beim ursprünglichen Projekt) und den zeitgebundenen Kosten (durchschnittliche Vortriebsgeschwindigkeit: 4,6 m/AT) zusammen. Für dieses Projekt sind hohe einmalige beim ursprünglichen Projekt vorhanden, da drei Vortriebe gleichzeitig aufgeföhren werden. Bei den fiktiven Projekten wird nur mehr ein Vortrieb von Westen aus berücksichtigt, da die Herstellung des Zugangstunnels nicht betrachtet wird (siehe Kapitel 5.2). Aus diesem Grund und den unterschiedlichen einmaligen Kosten bei den fiktiven Projekten im Vergleich zum ur-

sprünglichen Projekt ist bei den Anteilen der Gerätekosten keine eindeutige Tendenz zu erkennen.

Die anteiligen Gerätekosten bleiben mit zunehmender Tunnellänge etwa gleich (Es ist keine eindeutige Tendenz erkennbar.).

6.3.1.3 Stützmittel

<u>Zyklischer Vortrieb</u>	Wienerwald „Drei“		Wienerwald „Sechs“		Wienerwald		Mittelwerte der Anteile	Standardabweichung
	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]		
Stützmittel	9,44	37 %	19,81	36 %	33,51	31 %	35 %	2,7 %

Betrachtete Kosten: 25,33 100 % 54,55 100 % 107,52 100 %

Tabelle 100: Stützmittelkosten zyklischer Vortrieb – Wienerwald

Die Kosten für Stützmittel belaufen sich im Mittel auf 35 %. Die Standardabweichung errechnet sich zu 2,7 %. Im Vergleich zum kontinuierlichen Vortrieb ändern sich die Einzelkosten der Stützmittel des zyklischen Vortriebes nicht über die Tunnellänge (siehe Kapitel 5.1.3.2). Die Stützmittelkosten sind längenabhängige Kosten.

Die Anteile der Stützmittelkosten sinken mit zunehmender Tunnellänge.

6.3.1.4 Ausbruch

<u>Zyklischer Vortrieb</u>	Wienerwald „Drei“		Wienerwald „Sechs“		Wienerwald		Mittelwerte der Anteile	Standardabweichung
	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]		
Ausbruch	2,45	10 %	5,14	9 %	8,69	8 %	9 %	0,7 %

Betrachtete Kosten: 25,33 100 % 54,55 100 % 107,52 100 %

Tabelle 101: Ausbruchskosten zyklischer Vortrieb – Wienerwald

Der Querschnitt hat eine Fläche von 77 m² und ist für eine Röhre betrachtet der kleinste Querschnitt aller drei betrachteten Projekte. Der Mittelwert der Kosten liegt bei zehn Prozent bei einer Standardabweichung von zwei Prozent. Die Ausbruchskosten sind längenabhängige Kosten.

Die Anteile der Ausbruchkosten bleiben mit zunehmender Tunnellänge etwa gleich.

6.3.1.5 Zusatzangriff

<u>Zyklischer Vortrieb</u>	Wienerwald „Drei“		Wienerwald „Sechs“		Wienerwald		Mittelwerte der Anteile	Standardabweichung
	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]		
Zusatzangriff	0,00	0 %	0,00	0 %	14,25	13 %	4 %	6,2 %
Betrachtete Kosten:		25,33	100 %	54,55	100 %	107,52	100 %	

Tabelle 102: Zusatzangriff zyklischer Vortrieb – Wienerwald

Nur beim ursprünglichen Projekt wird die Hauptgruppe Zusatzangriff berücksichtigt. Die Aufwendungen für den Zugangstunnel sind für kürzere Tunnellängen nicht wirtschaftlich. Der Mittelwert über die Projekte beträgt vier Prozent. Die Standardabweichung ist 6,2 %.

Die Kosten für den Zusatzangriff sind einmalige Kosten.

Eine Tendenz ist nicht feststellbar, da ein Zusatzangriff nur beim ursprünglichen Projekt vorhanden ist.

6.3.1.6 Betrachtete Kosten

Die betrachteten Kosten (aus den Kapiteln 5.1.2.1, 5.2.2.2.1 und 5.2.4.2.1) sowie die Tunnellänge und die Querschnittfläche sind in Tabelle 103 angegeben. Die betrachteten Kosten pro Meter Tunnellänge ergeben sich aus der Division der betrachteten Kosten durch die jeweilige Tunnellänge. Dividiert man die betrachteten Kosten durch die Querschnittfläche des zyklischen Vortriebes (77 m²), so ergeben sich die betrachteten Kosten pro Quadratmeter Querschnittfläche.

	Tunnellänge	Querschnittfläche	Betrachtete Kosten	Betrachtete Kosten pro Meter Tunnellänge	Betrachtete Kosten pro m ² Querschnittfläche
	[m]	[m ²]	[€]	[€/m]	[€/m ²]
Wienerwald „Drei“	3000	77	25.331.194	8.444	328.977
Wienerwald „Sechs“	6313	77	54.551.772	8.642	708.465
Wienerwald	10755	77	107.524.052	9.998	1.396.416

Tabelle 103: Übersicht Kosten – Wienerwald (zyklischer Vortrieb)

Beide betrachteten Kosten pro Meter Tunnellänge steigen mit zunehmender Tunnellänge.

6.3.2 Kontinuierlicher Vortrieb – Wienerwald

Eine Übersicht über die erstellten Projekte ist in Tabelle 105 dargestellt. Ergänzend sind noch die Mittelwerte und die Standardabweichungen angegeben. Diese Werte beinhalten das Projekt „Null“ aber nicht, da dort nur Kosten für Geräte und Vorarbeiten vorhanden sind.

Die Mittelwerte und die Standardabweichung werden immer über die drei untersuchten Projekte (Wienerwald „Drei“; Wienerwald „Sechs“; Wienerwald) gebildet.

Für die Betrachtung der zeitgebundenen Kosten werden die durchschnittlichen Vortriebsgeschwindigkeiten der einzelnen Projektuntersuchungen angeführt:

	Vortriebslänge	Vortriebsdauer	Durchschnittliche Vortriebsgeschwindigkeiten	
	[m]	[AT]	[m/AT]	
Wienerwald „Drei“	6.000	400	15,00	(siehe Anlage 6)
Wienerwald „Sechs“	12.625	746	16,92	(siehe Anlage 7)
Wienerwald	21.469	1.200	17,89	(siehe Anlage 1)
	Mittelwert:		16,60	

Tabelle 104: Durchschnittliche Vortriebsgeschwindigkeiten Wienerwald (kontinuierlich)

Der Mittelwert der Vortriebsgeschwindigkeiten der Projektuntersuchungen liegt bei rund 17 Metern pro Arbeitstag. Die Unterschiede in den durchschnittlichen Vortriebsgeschwindigkeiten verursacht die Einarbeitung (siehe Kapitel 2.7.1.3). Diese hat beim zyklischen Vortrieb weniger Einfluss als beim kontinuierlichen Vortrieb.

<u>Kontinuierlicher Vortrieb</u>		Wienerwald „Drei“		Wienerwald „Sechs“		Wienerwald		Mittelwerte der Anteile	Standardabweichung
		[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]		
Haupttunnel	Lohn	5,57	16 %	10,38	20 %	16,69	23 %	20 %	2,8 %
	Geräte	10,44	30 %	10,41	20 %	11,30	16 %	22 %	6,2 %
	Stützmittel	12,75	37 %	23,29	46 %	35,17	49 %	44 %	4,8 %
	Ausbruch	1,44	4 %	3,03	6 %	5,16	7 %	6 %	1,2 %
Vor- und Nacharbeiten		4,06	12 %	4,06	8 %	4,06	6 %	8 %	2,6 %
Betrachtete Kosten:		34,26	100 %	51,17	100 %	72,37	100 %		

Tabelle 105: Kostenübersicht kontinuierlicher Vortrieb – Wienerwald

6.3.2.1 Lohnkosten

<i>Kontinuierlicher Vortrieb</i>	Wienerwald „Drei“		Wienerwald „Sechs“		Wienerwald		Mittelwerte der Anteile	Standardab- weichung
	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]		
Lohn	5,57	16 %	10,38	20 %	16,69	23 %	20 %	2,8 %
Betrachtete Kosten:	34,26	100 %	51,17	100 %	72,37	100 %		

Tabelle 106: Lohnkosten kontinuierlicher Vortrieb – Wienerwald

Der Mittelwert der Aufwendungen liegt bei 20 Prozent (Standardabweichung: 2,8 %). Der Vortrieb erfolgt mit einer Tunnelbohrmaschine je Tunnelröhre. Die Lohnkosten sind zeitgebundene Kosten, welche über die Vortriebsdauer eingehen. Die Vortriebsdauer errechnet sich aus der jeweiligen Tunnellänge und der Vortriebsgeschwindigkeit (bei diesen Projektuntersuchungen rund 17 m/AT).

Die Anteile der Lohnkosten steigen mit zunehmender Tunnellänge.

6.3.2.2 Gerätekosten

<i>Kontinuierlicher Vortrieb</i>	Wienerwald „Drei“		Wienerwald „Sechs“		Wienerwald		Mittelwerte der Anteile	Standardab- weichung
	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]		
Geräte	10,44	30 %	10,41	20 %	11,30	16 %	22 %	6,2 %
Betrachtete Kosten:	34,26	100 %	51,17	100 %	72,37	100 %		

Tabelle 107: Gerätekosten kontinuierlicher Vortrieb – Wienerwald

Beim ursprünglichen Projekt entfallen rund 16 % der betrachteten Kosten auf Geräte. Der Mittelwert der Ausgaben liegt bei 22 Prozent mit einer Standardabweichung von 6,2 %. Die Gerätekosten setzen sich aus einmaligen Kosten (Investitionskosten: ~10 Mio-€ pro Tunnelröhre) und den zeitgebundenen Kosten (durchschnittliche Vortriebsgeschwindigkeit: ~17 m/AT) zusammen.

Mit zunehmender Tunnellänge werden die Anteile der Gerätekosten an den betrachteten Kosten geringer, da sich diese auf die Vortriebslänge verteilen.

6.3.2.3 Stützmittel

<u>Kontinuierlicher Vortrieb</u>	Wienerwald „Drei“		Wienerwald „Sechs“		Wienerwald		Mittelwerte der Anteile	Standardab- weichung
	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]		
Stützmittel	12,75	37 %	23,29	46 %	35,17	49 %	44 %	4,8 %
Betrachtete Kosten:	34,26	100 %	51,17	100 %	72,37	100 %		

Tabelle 108: Stützmittelkosten kontinuierlicher Vortrieb – Wienerwald

Beim ursprünglichen Projekt sind für die Stützmittel etwa 49 % der betrachteten Kosten notwendig. Der Mittelwert der Stützmittelkosten ist mit 44 % der höchste aller drei Projekte. Die Standardabweichung beträgt 4,8 %. Der Ausbau der kontinuierlichen Variante erfolgt als zweischaliges System mit Tübbing und anschließender Innenschale. Die einmaligen Kosten der Tübbingherstellung legen sich auf die Vortriebslänge um. Deshalb wurden die Stützmittelkosten an die Tunnellänge angepasst. Wie zuvor erwähnt hat der Querschnitt einen Umfang von 33,6 m. Die Kosten pro Quadratmeter belaufen sich im ursprünglichen Projekt auf 97,5 €/m². Die Stützmittelkosten sind längenabhängige Kosten.

Die Anteile der Stützmittel steigen mit zunehmender Tunnellänge.

6.3.2.4 Ausbruch

<u>Kontinuierlicher Vortrieb</u>	Wienerwald „Drei“		Wienerwald „Sechs“		Wienerwald		Mittelwerte der Anteile	Standardab- weichung
	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]		
Ausbruch	1,44	4 %	3,03	6 %	5,16	7 %	6 %	1,2 %
Betrachtete Kosten:	34,26	100 %	51,17	100 %	72,37	100 %		

Tabelle 109: Ausbruchskosten kontinuierlicher Vortrieb – Wienerwald

Der Ausbruchquerschnitt einer Tunnelröhre besitzt eine Fläche von 89 m². Dies der kleinste Querschnitt der drei Projekte ist.

Bei allen drei Projekten sind die Kosten pro Kubikmeter Ausbruch etwa gleich. Für dieses Projekt belaufen sich die Kosten auf 5,4 €/m³. Der Mittelwert der Ausbruchskosten liegt bei sechs Prozent. Die Standardabweichung beträgt 1,2 Prozent. Die Ausbruchskosten sind längenabhängige Kosten.

Die Anteile der Ausbruchskosten an den betrachteten Kosten steigen mit zunehmender Tunnellänge.

6.3.2.5 Vor- und Nacharbeiten

<u>Kontinuierlicher Vortrieb</u>	Wienerwald „Drei“		Wienerwald „Sechs“		Wienerwald		Mittelwerte der Anteile	Standardabweichung
	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]	[Mio-€]	[%]		
Vor- und Nacharbeiten	4,06	12 %	4,06	8 %	4,06	6 %	8 %	2,6 %

Betrachtete Kosten: 34,26 100 % 51,17 100 % 72,37 100 %

Tabelle 110: Vor- und Nacharbeiten kontinuierlicher Vortrieb – Wienerwald

Für Vor- und Nacharbeiten sind im Mittel acht Prozent der betrachteten Kosten aufzubringen. Die Standardabweichung beträgt 2,6 %. Bei diesem Projekt kommt es zu keiner Umsetzung der Tunnelbohrmaschine. Es erfolgt lediglich eine Montage und Demontage jeder TBM. Die Kosten der Vor- und Nacharbeiten sind einmalige Kosten.

Die Anteile der Vor- und Nacharbeiten sinken mit zunehmender Tunnellänge.

6.3.2.6 Betrachtete Kosten

Eine Übersicht über die Kosten ist schon in Tabelle 105 dargestellt. Dabei sind neben den betrachteten Kosten (aus den Kapiteln 5.1.3.2, 5.2.2.3.1 und 5.2.3.1.2) noch die Tunnellänge und die Querschnittfläche (des zyklischen Vortriebes) angegeben. Die betrachteten Kosten pro Meter Tunnellänge ergeben sich aus der Division der betrachteten Kosten durch die jeweilige Tunnellänge. Dividiert man die betrachteten Kosten durch die Querschnittfläche des zyklischen Vortriebes (77 m², um dem Überprofil des kontinuierlichen Vortriebes Rechnung zu tragen), so ergeben sich die betrachteten Kosten pro Quadratmeter Querschnittfläche.

	Tunnellänge	Querschnittfläche	Betrachtete Kosten	Betrachtete Kosten pro Meter Tunnellänge	Betrachtete Kosten pro m ² Querschnittfläche
	[m]	[m ²]	[€]	[€/m]	[€/m ²]
Wienerwald „Drei“	3020	77	34.264.520	11.346	444.994
Wienerwald „Sechs“	6333	77	51.171.428	8.081	664.564
Wienerwald	10755	77	72.374.993	6.730	939.935

Tabelle 111: Übersicht Kosten – Wienerwald (kontinuierlicher Vortrieb)

Die Kosten pro Meter Tunnellänge sinken mit zunehmender Tunnellänge, da sich die einmaligen Kosten auf die Tunnellänge aufteilen. Die betrachteten Kosten bezogen auf die Querschnittfläche steigen mit zunehmender Tunnellänge.

6.3.3 Gegenüberstellung zyklischer und kontinuierlicher Vortrieb – Wienerwald

In den folgenden Diagrammen (Abbildung 109 und Abbildung 110) zeigen sich die Anteile der Kostengruppen der einzelnen Projekte. Die Entwicklungen dieser Anteile über die verschiedenen Tunnellängen sind in diesen Abbildungen dargestellt.

Bei diesem Projekt sinken die Anteile der Kostengruppen Lohn und Stützmittel beim **zyklischen Vortrieb**. Die Gerätekosten weisen keine eindeutige Differenz auf. Die Ausbruchskosten bleiben annähernd gleich. Der Vergleich der beiden Vortriebsarten zeigt, dass beim zyklischen Vortrieb die *Lohnkosten* und die Ausgaben für *Ausbruch* deutlich höher sind. Der Einfluss der Kostengruppe Zusatzangriff beim ursprünglichen Projekt ist eindeutig in der Abbildung 109 erkennbar.

Beim **kontinuierlichen Vortrieb** sinken Kostenanteile der Geräte und die der Vor- und Nacharbeiten mit zunehmender Tunnellänge. Die anderen Anteile (Lohn, Stützmittel, Ausbruch) steigen mit zunehmender Tunnellänge. Die Gerätekosten des kontinuierlichen Vortriebes nähern sich mit steigender Tunnellänge den Anteilen des zyklischen Vortriebes an.

Die Kostenanteile verändern sich bei beiden Vortriebsarten mit zunehmender Tunnellänge.

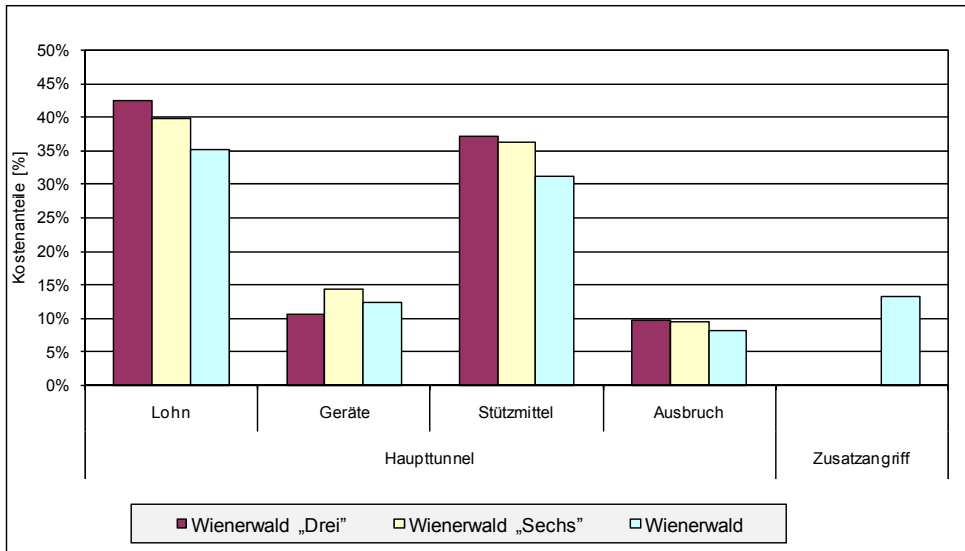


Abbildung 109: Übersicht über die Kostengruppen Wienerwald (zyklisch)

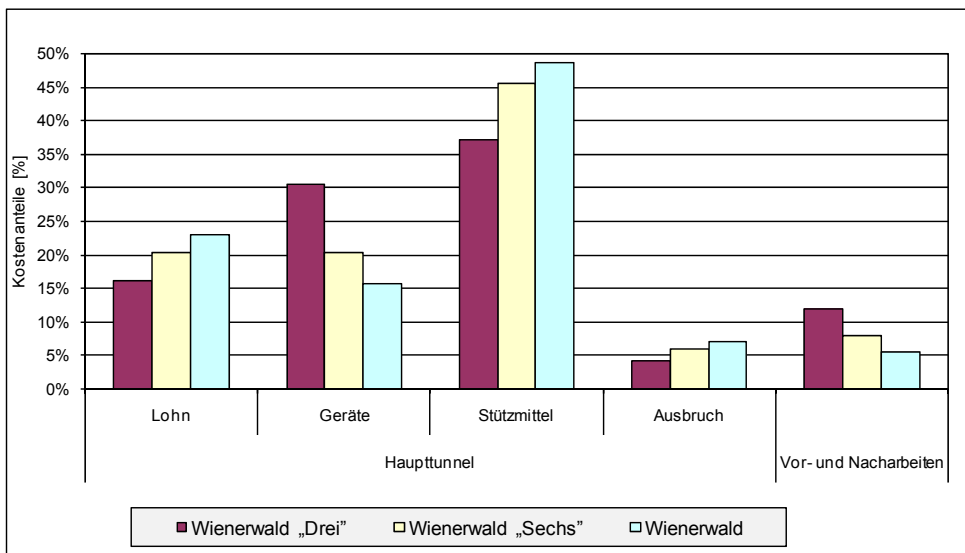


Abbildung 110: Übersicht über die Kostengruppen Wienerwald (kontinuierlich)

7 Gegenüberstellung

Das Ziel dieser Arbeit ist die Untersuchung der wirtschaftlichen Einsatzgrenzen im Wettbewerb von zyklischem mit kontinuierlichem Vortrieb. Dazu wurden bei den drei gewählten Projekten (Pfänder, Perschling und Wienerwald) Variantenuntersuchungen durchgeführt.

Es werden im Weiteren die Kosten pro Quadratmeter Querschnittfläche der einzelnen Projekte betrachtet, um die unterschiedlich großen Querschnitte der drei Projekte zu vereinheitlichen. Die Verwendung der zyklischen Querschnittflächen als Bezugsfläche erfolgt, um dem nicht notwendigen Mehrausbruch des kontinuierlichen Querschnittes Rechnung zu tragen.

Der kontinuierliche Vortrieb ist bei kurzen Tunnellängen unwirtschaftlich, da sehr hohe einmalige Kosten (wie z.B. Geräteinvestitionen) im Vergleich zum zyklischen Vortrieb auftreten. Aus diesem Grund wird der Bereich kleiner drei Kilometer nicht weiter betrachtet.

In diesem Abschnitt werden die Projekte nun miteinander verglichen.

7.1 Vergleich der Kostengruppen der Projekte

7.1.1 Zyklischer Vortrieb

Die Ergebnisse der Auswertungen (siehe Kapitel 5) des zyklischen Vortriebes sind in Tabelle 112 und in einem Diagramm (Abbildung 111) dargestellt.

Projekt	<i>Zyklischer Vortrieb</i>					Summe
	Lohn	Geräte	Sütmittel	Ausbruch	Zusatzangriff	
[]	[€/m ²]	[€/m ²]	[€/m ²]	[€/m ²]	[€/m ²]	[€/m ²]
Pfänder „Drei“	131.339	51.048	61.371	41.400	0	285.158
Perschling „Drei“	111.844	34.000	97.375	31.800	0	275.019
Wienerwald „Drei“	139.456	35.130	122.591	31.800	0	328.977
Pfänder	277.696	83.810	133.606	90.128	0	585.239
Perschling	222.688	66.667	196.730	64.247	0	550.331
Wienerwald „Sechs“	281.885	102.565	257.277	66.738	0	708.465
Pfänder „Elf“	451.147	125.714	217.848	146.956	0	941.665
Perschling „Elf“	387.281	116.667	345.649	112.879	0	962.476
Wienerwald	491.071	172.305	435.157	112.879	185.004	1.396.416

Tabelle 112: Übersicht Kostengruppen (zyklisch)

Wie in der Tabelle 112 ersichtlich ist, ist die Summe der betrachteten Kosten pro Quadratmeter beim Projekt Wienerwald bei allen Projektuntersuchungen am größten. Dies ist vor allem bedingt durch die hohen Kosten bei der Kostengruppe Stützmittel.

Die Summe der Kosten der Projekte Pfänder und Perschling sind annähernd gleich. Diese differieren zwischen zirka 10.000 bei Kilometer „Drei“ und 35.000 €/m² bei Kilometer „Elf“.

Beim Projekt Wienerwald überwiegen vor allem die Kosten für Stützmittel im Vergleich zu den anderen beiden Projekten und beim ursprünglichen Projekt die Kosten für den Zusatzangriff.

In der nachfolgenden Abbildung sind auch die betrachteten Kosten für das ursprüngliche Projekt ohne Berücksichtigung der Zusatzangriffe eingetragen (Wienerwald „ohne Zusatzangriff“). Die betrachteten Kosten der Projektuntersuchungen sind in der nachfolgenden Abbildung mit den Projektnamen gekennzeichnet.

Um die Bandbreite über die möglichen Projekte abzudecken, werden eine Ober- und Untergrenze errechnet. Die Berechnungen der Ober- und Untergrenze werden mittels polynomi-scher Regression (via Trendlinie) aus der Abbildung 111 (siehe Seite 145) durchgeführt.

Obergrenze

Die Gleichung der **Obergrenze** wird durch die Maximalwerte jeder untersuchten Projektlänge des zyklischen Vortriebes bestimmt. Diese Obergrenze wird aus den Kostenschätzungen des Projektes Wienerwald gebildet.

$$y = 5.762,8 \times x^2 + 60.896 \times x + 94.422$$

Das zugehörige Bestimmtheitsmaß ist:

$$R^2 = 1$$

Untergrenze

Die **Untergrenze** bilden die Minimumwerte jeder untersuchten Länge. Diese werden aus folgenden Projektabschätzungen gebildet:

- Perschling „Drei“
- Perschling
- Pfänder „Elf“

$$y = 932,01 \times x^2 + 74.434 \times x + 43.330$$

Das zugehörige Bestimmtheitsmaß ist:

$$R^2 = 1$$

Hervorgerufen durch die Randbedingungen der betrachteten Projekte ergibt sich eine mit der Tunnellänge steigende Bandbreite der betrachteten Kosten. Schließt man den Zusatzangriff aus der Betrachtung aus, so reduziert sich die Bandbreite ab Kilometer „Sechs“ (Die Obergrenze wird in diesem Fall aus der schwarz punktierten Linie ab Kilometer „Sechs“ in der Abbildung 111 gebildet.).

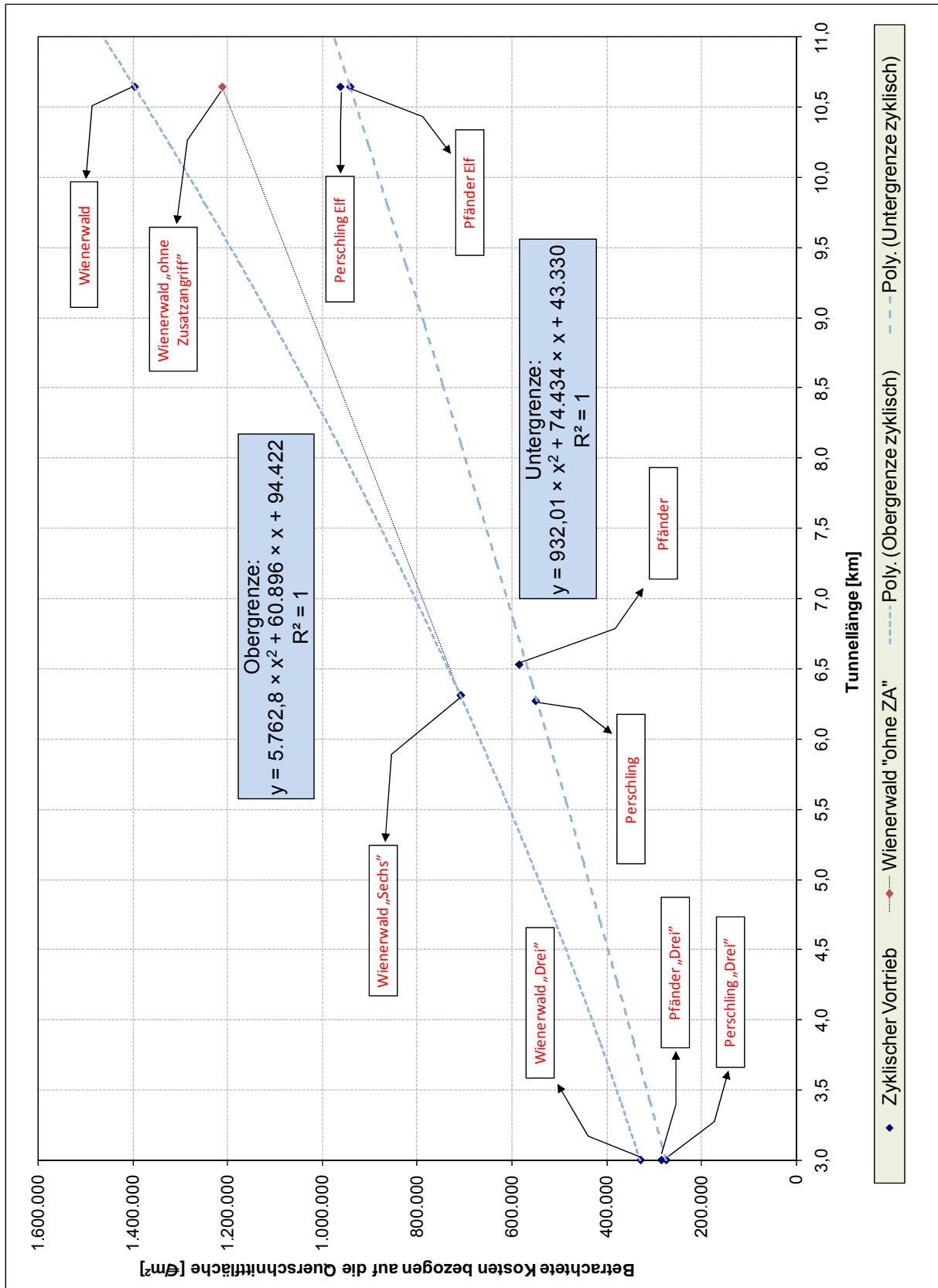


Abbildung 111: Kosten – Längendiagramm des zyklischen Vortriebes

7.1.2 Kontinuierlicher Vortrieb

Die Ergebnisse der Auswertungen des kontinuierlichen Vortriebes sind in Tabelle 113 und in einem Diagramm (Abbildung 112) dargestellt.

Projekt	<i>Kontinuierlicher Vortrieb</i>					
	Lohn	Geräte	Stützmittel	Ausbruch	Vor- und N.	Summe
[]	[€/m²]	[€/m²]	[€/m²]	[€/m²]	[€/m²]	[€/m²]
Pfänder „Drei“	53.253	128.295	133.729	16.491	97.190	428.959
Perschling „Drei“	78.886	105.833	129.663	18.288	90.060	422.730
Wienerwald „Drei“	72.351	135.568	165.600	18.725	52.750	444.994
Pfänder	100.837	132.295	235.247	35.253	97.190	600.823
Perschling	147.639	110.792	240.684	37.867	90.060	627.042
Wienerwald „Sechs“	134.819	135.146	302.449	39.400	52.750	664.564
Pfänder „Elf“	160.230	137.295	368.807	59.009	97.190	822.531
Perschling „Elf“	246.690	118.083	357.593	65.436	90.060	877.862
Wienerwald	216.727	146.753	456.704	67.000	52.750	939.935

Tabelle 113: Übersicht Kostengruppen (kontinuierlich)

Die Unterschiede der Summen der betrachteten Kosten aller kontinuierlichen Projektuntersuchungen sind Vergleich zu den zyklischen Projektuntersuchungen geringer (siehe Tabelle 113: Spalte Summe).

Die Differenzen der Kostengruppen Lohn, Geräte, Stützmittel und Ausbruch der Projektuntersuchten sind beim kontinuierlichen Vortrieb kleiner als beim zyklischen Vortrieb (siehe Tabelle 112).

Im Vergleich zum zyklischen Vortrieb differieren die Kosten der Stützmittel aufgrund der Anpassung der Einzelkosten der Stützmittel über die Tunnellänge weniger.

Die höheren Kosten der Kostengruppe Vor- und Nacharbeiten bei den Projekten Pfänder und Perschling im Vergleich zum Projekt Wienerwald sind auf die jeweils vorhandenen Randbedingungen der Projekte zurückzuführen. Beim Projekt Pfänder erklären sich die höheren Kosten durch die größere Länge der Startröhre (siehe Kapitel 5.1.1.2). Beim Projekt Perschling steigen die Kosten aufgrund der Umsetzungsvorgänge zwischen den Einzelbauwerken (siehe Kapitel 5.1.2.2).

Um die Bandbreite über die möglichen Projekte abzudecken, werden eine Ober- und Untergrenze errechnet. Die Berechnungen der Ober- und Untergrenze werden mittels polynomi-scher Regression (via Trendlinie) aus der Abbildung 112 (siehe Seite 148) durchgeführt.

Obergrenze

Die Gleichung der **Obergrenze** wird durch die Maximalwerte aller Punkte des kontinuierlichen Vortriebes bestimmt. Die Grenze wird wie beim zyklischen Vortrieb durch die Kostenschätzungen des Projektes Wienerwald festgelegt (wie in Tabelle 113 ersichtlich).

$$y = -518,77 \times x^2 + 71.137 \times x + 234.891$$

Das zugehörige Bestimmtheitsmaß ist:

$$R^2 = 1$$

Untergrenze

Die **Untergrenze** bilden die Minimumwerte jeder untersuchten Länge. Diese setzen sich aus folgenden Projektuntersuchungen zusammen:

- Perschling „Drei“
- Pfänder
- Pfänder „Elf“

$$y = -468,84 \times x^2 + 58.149 \times x + 251.397$$

Das zugehörige Bestimmtheitsmaß ist:

$$R^2 = 1$$

Die Kostengruppen des kontinuierlichen Vortriebes weisen geringere Unterschiede auf (siehe Tabelle 113) im Vergleich zum zyklischen Vortrieb (siehe Tabelle 112). Beim kontinuierlichen Vortrieb weist die Kostengruppe der Stützmittel (bedingt durch die Anpassung der Einzelkosten über die Tunnellänge, siehe Kapitel 5.1.3.2) im Vergleich zum zyklischen Vortrieb weniger Unterschied zwischen den einzelnen Projekten auf. Aus diesen Gründen ist, wie in der nachfolgenden Abbildung zu erkennen ist, die Bandbreite beim kontinuierlichen Vortrieb kleiner als beim zyklischen Vortrieb.

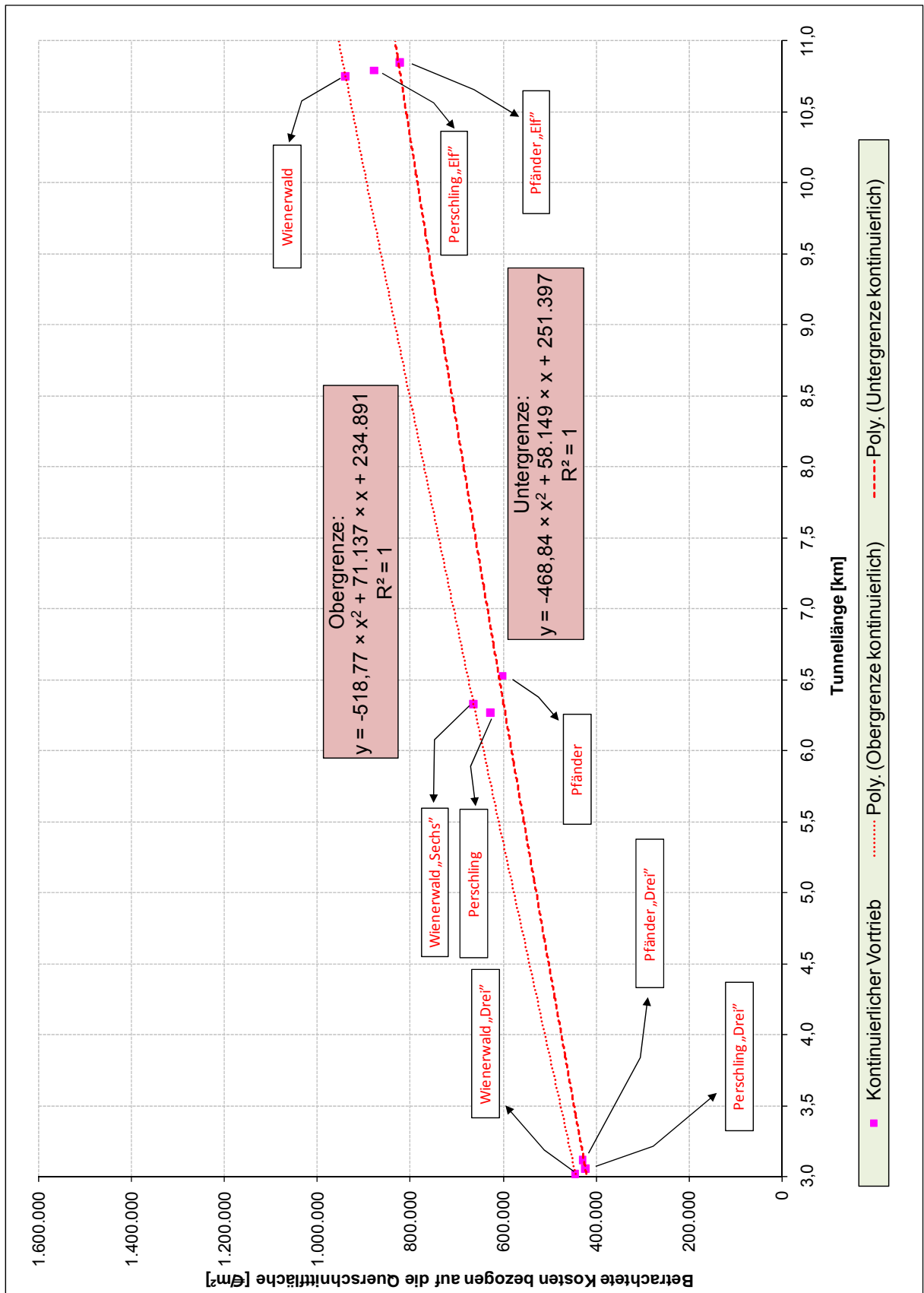


Abbildung 112: Kosten – Längendiagramm des kontinuierlichen Vortriebes

7.2 Vergleich der Kostengruppen der beiden Vortriebsarten

In der Tabelle 114, die sich aus der Tabelle 113 und der Tabelle 112 ableiten lässt, sind die Mittelwerte der drei Projekte nach den einzelnen Kostengruppen und verschiedenen Tunnel-längen aufgegliedert. Es wird dabei eine Differenz aus zyklischem und kontinuierlichem Vor-trieb gebildet. Eine negative Differenz weist den zyklischen Vortrieb als wirtschaftlicher aus.

Projektlänge	Haupttunnel					Vor- und Nacharbeiten
	Vortriebsart	Lohn	Geräte	Sütmittel	Ausbruch	
[]	[]	[€/m ²]	[€/m ²]	[€/m ²]	[€/m ²]	[€/m ²]
Drei	zyklisch	127.546	40.059	93.779	35.000	
Drei	kontinuierlich	68.163	123.232	142.997	17.835	80.000
Differenz:	-	59.383	-83.173	-49.218	17.165	
Sechs	zyklisch	260.756	84.347	195.871	73.704	
Sechs	kontinuierlich	127.765	126.078	259.460	37.507	80.000
Differenz:	-	132.991	-41.731	-63.589	36.197	
Elf	zyklisch	443.166	138.229	332.885	124.238	
Elf	kontinuierlich	207.882	134.044	394.368	63.815	80.000
Differenz:	-	235.284	4.185	-61.483	60.423	

... zyklischer Vortrieb wirtschaftlicher

Tabelle 114: Aufstellung maßgebende Kostenanteile

Hauptgruppe Haupttunnel

Lohnkosten

Bei der Untergruppe Lohn ist der kontinuierliche Vortrieb bei allen untersuchten Tunnellängen wirtschaftlicher als der zyklische Vortrieb. Die Differenz wird mit zunehmender Tunnel-länge (Bei Kilometer „Drei“: 59.383 €/m² und bei Kilometer „Elf“: 235.284 €/m²) aufgrund des größer werdenden Unterschiedes der Vortriebsdauer (Lohnkosten = zeitgebundenen Kosten) größer. Die Vortriebsgeschwindigkeiten sind bei den drei Projekten beim kontinuierlichen Vortrieb im Mittel um das dreifache höher als beim zyklischen Vortrieb (Mittelwerte: Pfänder: cykl.: ~5 m/AT / kont.: ~16 m/AT; Perschling: cykl.: ~4 m/AT / kont.: ~11 m/AT; Wienerwald: cykl.: ~5 m/AT / kont.: ~17 m/AT; siehe Kapitel 6).

Gerätekosten

Die Gerätekosten sind bei der Tunnellänge „Drei“ beim kontinuierlichen Vortrieb höher als beim zyklischen Vortrieb. Bei der Tunnellänge „Sechs“ reduziert sich die Differenz aus zykli-

schem und kontinuierlichem Vortrieb auf die zirka Hälfte (-83.173 €/m² auf -41.731 €/m²). Bei der Tunnellänge „Elf“ übersteigen die Gerätekosten beim zyklischen Vortrieb die des kontinuierlichen Vortriebes knapp (Differenz „Elf“: +4.185 €/m²).

Die Gerätekosten setzen sich aus einmaligen Kosten und zeitgebundenen Kosten zusammen (siehe Kapitel 6).

Die einmaligen Kosten sind bei den kontinuierlichen Vortrieben aufgrund der Anschaffung der Tunnelbohrmaschinen weitaus höher als beim zyklischen Vortrieb. Aus diesem Grund sind die Gerätekosten beim kontinuierlichen Vortrieb bei kürzeren Tunnellängen höher als beim zyklischen Vortrieb.

Die zeitgebundenen Kosten machen den zyklischen Vortrieb mit zunehmender Vortriebslänge aber unwirtschaftlich im Vergleich zum kontinuierlichen Vortrieb, da beim zyklischen Vortrieb die Vortriebsdauer größer ist und zusätzlich auch noch Grundkosten (€/Mo) der zeitgebundenen Kosten höher sind.

Stützmittel

Wie in der Tabelle 114 ersichtlich ist, steigt die Differenz zwischen zyklischem und kontinuierlichem Vortrieb der Kosten der Untergruppe Stützmittel zwischen Kilometer „Drei“ und „Sechs“. Zwischen Kilometer „Sechs“ und „Elf“ sinkt diese Differenz wieder. Grund dafür ist die Anpassung der Einzelkosten der Stützmittel beim kontinuierlichen Vortrieb im Vergleich zum zyklischen Vortrieb (siehe Kapitel 5.1.3.2).

Ausbruch

Die Differenz wird mit zunehmender Tunnellänge zu Gunsten des kontinuierlichen Vortriebes größer (Bei Kilometer „Drei“: 17.165 €/m² und bei Kilometer „Elf“: 60.423 €/m²). Grund dafür sind die beim zyklischen Vortrieb doppelt so hohen Einzelkosten der längenabhängigen Ausbruchskosten im Vergleich zum kontinuierlichen Vortrieb.

Vor- und Nacharbeiten

Der Mittelwert der Vor- und Nacharbeiten sind nur beim kontinuierlichen Vortrieb vorhanden und errechnen sich im Mittel zu 80.000 €/m². Diese einmaligen Kosten machen den kontinuierlichen Vortrieb bei kürzeren Tunnellängen unwirtschaftlich.

Zusatzangriff

Die Hauptgruppe Zusatzangriff ist nur beim ursprünglichen Projekt Wienerwald des zyklischen Vortriebes vorhanden. Da diese Hauptgruppe nur ebenda vorhanden ist, erfolgt keine Bildung eines Mittelwertes in der Tabelle 114.

7.3 Ermittlung der wirtschaftlichen Einsatzgrenzen

Für die Auswertung der Daten und die Beantwortung der Zielsetzung (die Ermittlung der wirtschaftlichen Einsatzgrenzen des zyklischen und des kontinuierlichen Vortriebes) werden die Unter- und Obergrenzen der beiden Vortriebsvarianten übereinander gelegt. Die Auswertungen der Gleichungen der Regressionen ergeben dann die Schnittpunkte des gesuchten Einsatzbereiches.

Ermittlung des oberen Schnittpunktes

Wie in der Abbildung 113 zu erkennen ist, errechnet sich der obere Schnittpunkt aus der Überlagerung der unteren Grenzen des zyklischen (Abbildung 111) und des kontinuierlichen (Abbildung 112) Vortriebes.

$$\text{Zyklischer Vortrieb: } y = 932,01 \times x^2 + 74.434 \times x + 43.330$$

$$\text{Kontinuierlicher Vortrieb: } y = -468,84 \times x^2 + 58.149 \times x + 251.397$$

Die Auflösung der beiden Gleichungen nach der Variable x ergibt einen Schnittpunkt bei einer Länge von rund 7,7 km.

Ermittlung des unteren Schnittpunktes

Wie in der Abbildung 113 zu erkennen ist, errechnet sich der untere Schnittpunkt aus der Überlagerung der oberen Grenzen des zyklischen (Abbildung 111) und des kontinuierlichen (Abbildung 112) Vortriebes.

$$\text{Zyklischer Vortrieb: } y = 5.762,8 \times x^2 + 60.896 \times x + 94.422$$

$$\text{Kontinuierlicher Vortrieb: } y = -518,77 \times x^2 + 71.137 \times x + 234.891$$

Die Auflösung der beiden Gleichungen nach der Variable x ergibt einen Schnittpunkt bei einer Länge von rund 5,6 km.

Diese errechneten wirtschaftlichen Einsatzgrenzen sind in der Abbildung 113 eingezeichnet. Für den zyklischen Vortrieb errechnet sich ein wirtschaftlicher Einsatz bis rund 5,6 km. Der Einsatz des kontinuierlichen Vortriebes ist ab rund 7,7 km wirtschaftlich. Im Bereich zwischen 5,6 und 7,7 km ist die Wirtschaftlichkeit der Vortriebsart von den Randbedingungen der betrachteten Projekte abhängig.

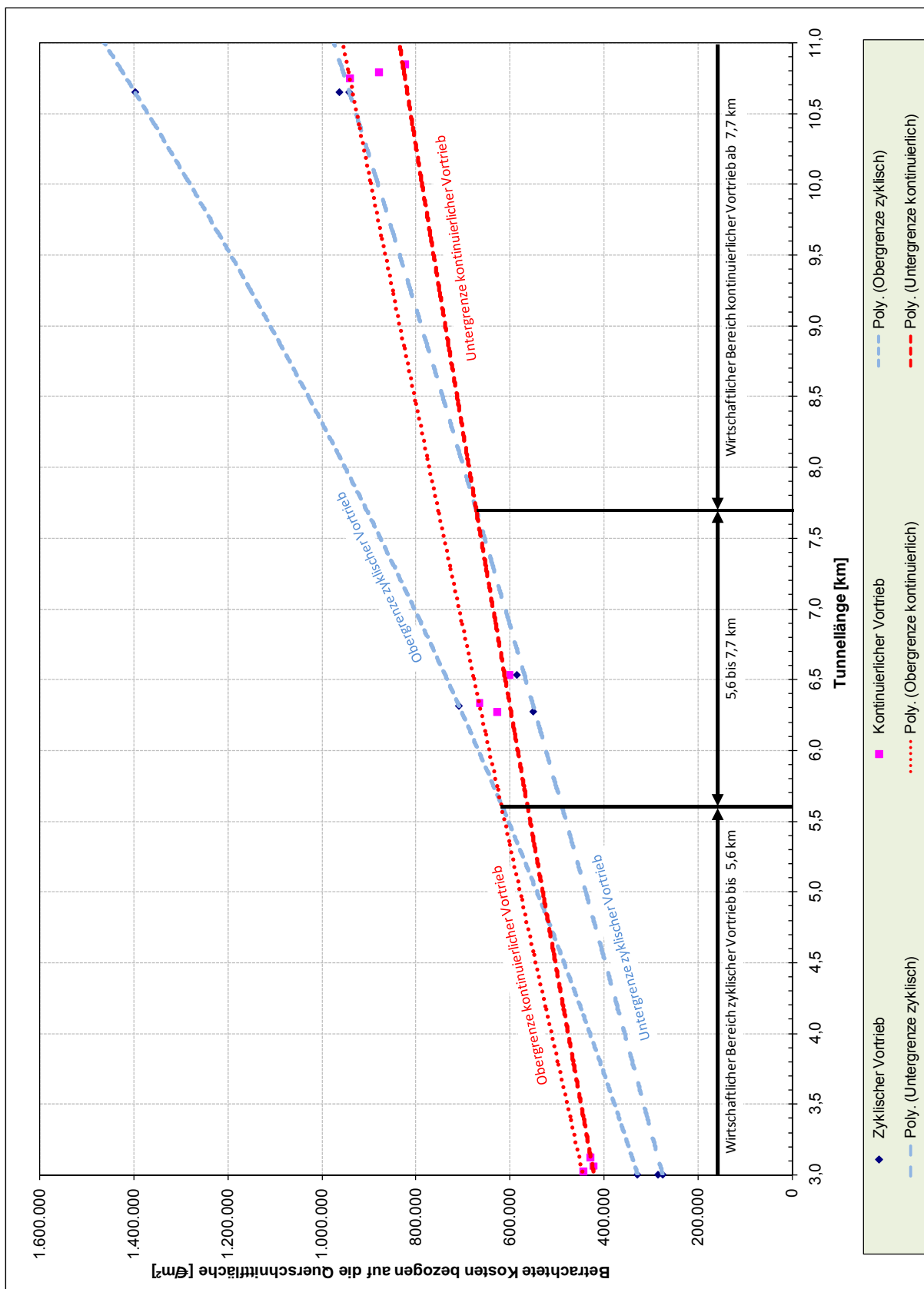


Abbildung 113: Kosten – Längendiagramm (Vergleich zyklisch – kontinuierlich)

8 Zusammenfassung

8.1 Allgemeines

Ziel dieser Arbeit war es, die wirtschaftlichen Einsatzgrenzen des zyklischen und des kontinuierlichen Vortriebes zu bestimmen. Anhand von Fragebögen wurden drei Projekte ausgewählt, die sowohl für den zyklischen als auch für den kontinuierlichen Vortrieb ausgeschrieben wurden. Die gewählten Projekte entsprechen den Einschränkungen der gewählten Randbedingungen (Geologie: Festgestein; Querschnitt: Verkehrstunnelbauwerke). Bei den ursprünglichen und fiktiv gewählten Tunnellängen wurden die Kostengruppen Haupttunnel, Zusatzangriff, Vor- und Nacharbeiten und Vorarbeiten Innenschalenherstellung (nur bei der ursprünglichen Tunnellänge) anhand der Daten aus den Fragebögen ermittelt. Diese erhaltenen Informationen stammen aus der vorgenommenen Entscheidungsfindung eines österreichischen Baukonzerns zwischen zyklischem und kontinuierlichem Vortrieb für die gewählten Projekte.

Diese Vorgehensweise ermöglicht den Vergleich der ausgewählten Projekte.

8.2 Schlussfolgerung

Aus der Überlagerung der Ergebnisse der ermittelten Kostenschätzungen auf der Grundlage der Daten der Fragebögen ergeben sich die gesuchten Einsatzgrenzen. Die Ermittlung der Schnittpunkte der Kosten des zyklischen und des kontinuierlichen Vortriebes erfolgte durch die Überlagerung der ermittelten Unter- und Obergrenzen der Kostenschätzungen der zyklischen und kontinuierlichen Vortriebe.

Die erhaltenen Schnittpunkte ergeben die Einsatzgrenzen für den zyklischen und den kontinuierlichen Vortrieb.

Für den zyklischen Vortrieb ergibt sich ein wirtschaftlicher Einsatzbereich bis zirka 5,6 km. Für den kontinuierlichen Vortrieb beginnt ein wirtschaftlicher Einsatz ab rund 7,7 km. Im Bereich von 5,6 bis 7,7 km ist die Wirtschaftlichkeit der Vortriebsart von den Randbedingungen der betrachteten Projekte eines Projektes abhängig.

Da die Randbedingungen bei jedem Projekt unterschiedlich sind, können die erzielten Ergebnisse nur bedingt auf andere Projekte angewendet werden. So können z.B. Fragen der Gerätebeschaffung oder die Frage nach der Notwendigkeit von Zusatzangriffen im zyklischen Fall die Wirtschaftlichkeit bei Tunnelbauprojekten stark beeinflussen.

Daher wird es auch in Zukunft für die anbietenden Baufirmen notwendig sein, für beide Vortriebsarten Kostenschätzungen für die Entscheidungsfindung zwischen zyklischem und kontinuierlichem Vortrieb durchzuführen.

Quellenverzeichnis

- ALPTRANSIT GOTTHARDBASISTUNNEL: Gotthard - Baufortschritt.
<http://www.alptransit.ch>, Stand April 2008
- ASFINAG BAU MANAGEMENT GMBH: A14 Rheintal Autobahn Pfändertunnel 2. Röhre.
<http://www.asfinag.at>, Stand: Juni 2008
- BENNING, Wilhelm: „Statistik in Geodäsie, Geoinformation und Bauwesen“, 1. Auflager – Heidelberg: Herbert Wichmann Verlag, 2001
- BETON- UND MONIERBAU: Datenblatt Pfändertunnel 2. Röhre. <http://www.bemo.net>, Stand Juni 2008
- BERGMEISTER, Konrad; MATOUSEK, Miroslav: „Tunnelsicherheit – Sicherheitskonzepte für Tunnel“, In: „Betonkalender 2005 – Teil 1“. Hg. Konrad Bergmeister / Johann-Dietrich Wörner, 1. Auflage – Berlin: Verlag Ernst & Sohn, 2005, S. 521 – 551
- BLS Alp Transit: „Lötschberg-Basistunnel; Von der Idee zum Durchschlag“, 2. unveränderter Nachdruck – Bern: Stämpfli Verlag AG, Bern, 2006
- BOSCH, Karl: „Elementare Einführung in die angewandte Statistik“, 8. Auflage – Stuttgart: Vieweg+Teubner, 2005
- BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ARBEIT: „Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft und Arbeit über Grenzwerte für Arbeitsstoffe und über krebserzeugende Arbeitsstoffe (Grenzwerteverordnung 2007 - GKV 2007)“, Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit – Wien, 2007
- DALLER, Josef: „Studienblätter zur Vorlesung Untertagebau im Verkehrswesen“, Ausgabe Sommersemester 2004 – Wien: TU WIEN, 2004
- F.A. BROCKHAUS GmbH: „Der Brockhaus – In drei Bänden“, Dritte, völlig neu bearbeitete Auflage – Leipzig: Weltbildverlag, 2005

- FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT STRASSE UND VERKEHR (FSV): „Richtlinie für Verkehr und Straße 9.251; Projektierungsrichtlinie: Bautechnische und geotechnische Arbeiten: Kontinuierlicher Vortrieb von Straßentunneln“, Ausgabe November 2003 – Wien: Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr, 2003
- FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT STRASSE UND VERKEHR (FSV): „Richtlinie für Verkehr und Straße 09.01.22; Projektierungsrichtlinie: Bauliche Gestaltung: Tunnelquerschnitt“, Ausgabe Juni 1994 – Wien: Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr, 1994
- GIRMSCHIED, Gernot: „Tunnelbohrmaschine – Vortriebsmethoden und Logistik“, In: „Betonkalender 2005 – Teil 1“. Hg. Konrad Bergmeister / Johann-Dietrich Wörner, 1. Auflage – Berlin: Verlag Ernst & Sohn, 2005, S. 119 - 256
- HERRENKNECHT AG: Maschinentechnik Gripper – TBM.
<http://www.herrenknecht.de>, Stand Mai 2008
- HERZ, Raimund; SCHLICHTER, Georg; SIEGENER, Wilfried: „Angewandte Statistik für Verkehrs- und Regionalplanung“, 2., neubearbeitete und erweiterte Auflage – Düsseldorf: Werner Verlag, 1992
- HL-AG; ÖBB; BRENNER EISENBAHN GMBH: „Richtlinien für das Entwerfen von Bahnanlagen – Hochleistungsstrecken; Anlage 3: Tunnel- und Wannenschnitte“, Ausgabe Mai 2002 – Wien: 2002
- JODL, Hans Georg; ALTINGER, Gernot; BICHLER, Martina: „Vortriebsmethoden und Ausbau von Tunnels“, In: „Betonkalender 2005 – Teil 1“. Hg. Konrad Bergmeister / Johann-Dietrich Wörner, 1. Auflage – Berlin: Verlag Ernst&Sohn, 2005, S. 19 – 118
- JODL, Hans Georg: „Studienblätter zur Vorlesung Bauverfahrenstechnik“, Ausgabe Wintersemester 2001/02 – Wien: TU Wien, 2001
- LIEBHERR-INTERNATIONAL DEUTSCHLAND GMBH: Technische Beschreibung R 944 C Litronic. <http://www.liebherr.com>, Stand April 2008
- MAIDL, Bernhard: „Handbuch des Tunnel- und Stollenbaus – Band 1 Konstruktionen und Verfahren“, 3. Auflage – Essen: Verlag Glück Auf GmbH, 2004

- MAIDL, Bernhard: „Tunnelbau im Sprengvortrieb“, 1. Auflage – Berlin: Springer Verlag, 1997
- MAIDL, Bernhard; SCHMID, Leonhard; RITZ, Willy: „Tunnelbohrmaschinen im Hartgestein“, 1. Auflage – Berlin: Verlag Ernst & Sohn, 2001
- MONKA, Michael; VOß, Werner: „Statistik am PC – Lösungen mit Excel“, 3. Überarbeitete und aktualisierte Auflage – München: Carl Hanser Verlag, 2002
- ÖBB INFRASTRUKTUR BAU AG: Projektbeschreibung Neubaustrecke Wien-St.Pölten. <http://www.oebb.at>, Stand Juli 2008
- ÖSTERREICHISCHE GESELLSCHAFT FÜR GEOMECHANIK: „Richtlinie für die Geomechanische Planung von Untertagebauwerken mit zyklischem Vortrieb“, Ausgabe Oktober 2001 – Salzburg: Österreichische Gesellschaft für Geomechanik, 2001
- ÖSTERREICHISCHE VEREINIGUNG FÜR BETON- UND BAUTECHNIK: „Richtlinie Innenschalenbeton“, Ausgabe September 2003 – Wien: Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik, 2003
- „ÖNORM B 2061 Preisermittlung für Bauleistungen – Verfahrensnorm“, Ausgabe: 1999-09-01 – Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 1999
- „ÖNORM B 2203 Untertagbauarbeiten – Werkvertragsnorm; Teil 1: Zyklischer Vortrieb“, Ausgabe: 2001-12-01 – Wien; Österreichisches Normungsinstitut, 2001
- „ÖNORM B 2203 Untertagbauarbeiten – Werkvertragsnorm; Teil 2: Kontinuierlicher Vortrieb“, Ausgabe: 2005-01-01 – Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2005
- PLÖDERL, Roman; NEUMAYR, Thomas: „Oberösterreich – „Straßen für die Zukunft“ – Der Tunnel Grünburg, In: Felsbau, Rock and Soil Engineering, 24. Jahrgang Ausgabe Nr. 1 – Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technischen Wissenschaften GmbH & Co. KG, 2006, S. 31 - 39
- SACHS, Lothar: „Statistische Methoden, Planung und Auswertung“, Siebente Auflage – Kiel: Springer Verlag, 1993

- STAHN, Christian; GRIMM Karsten: „Der Wienerwaldtunnel – eine tunnelbautechnische Herausforderung“. In: Taschenbuch für den Tunnelbau 2007. Hg. Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V., 31. Jahrgang – Essen: VGE Verlag GmbH, 2006, S. 129 - 146
- STEMPKOWSKI, Rainer: „Kosten- und Leistungsanalysen im maschinellen Tunnelbau“, Dissertation TU Wien, 1996
- STRABAG AG: Tunnelkette Perschling: Beschreibung der Tunnelkette Perschling. <http://www.tk-perschling.at>, Stand Mai 2008
- WACHTER, Robert: „Der Einarbeitungseffekt bei mechanischen Tunnelvortrieben: Datenerfassung, Datenauswertung und Modellierung des Einarbeitungseffektes“, 1. Ausgabe – Innsbruck: Innsbruck university press, 2003
- WACHTER, Robert; SCHNEIDER, Eckart: „Produktivitätssteigerung bei mechanischen Tunnelvortrieben“, In: Tagungsband des österreichischen Tunneltages. Hg. Österreichischen Gesellschaft für Geomechanik, Eigenverlag, 2000, S. 129 – 137
- WACHTER, Robert: „Vorgefertigte Segmente im Tunnel- und Stollenbau“, Diplomarbeit TU Wien, 1997
- ZBINDEN, Peter: „Erfahrungen nach 15 Jahren Planung und Bau der neuen Gotthardbahn“, In: Tagungsbeiträge Internationales Symposium Brenner Basistunnel und Zulaufstrecken, BBT 2007. Hg. Schneider Eckart / John Max / Brandner Rainer, 1. Auflage – Innsbruck: Innsbruck university press, 2007, S. 53 - 67

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Belgische Bauweise.....	3
Abbildung 2: Deutsche Bauweise	4
Abbildung 3: (Alte) Österreichische Bauweise.....	4
Abbildung 4: Englische Bauweise.....	5
Abbildung 5: Tunnelbohrmaschine von Charles Wilson	6
Abbildung 6: Übersichtsbild Sprengvortrieb.....	9
Abbildung 7: Tunnelbagger.....	9
Abbildung 8: Arbeitsbereich Tunnelbagger.....	9
Abbildung 9: Übersichtsbild Teilschnittmaschinenvortrieb.....	10
Abbildung 10: Einteilung Tunnelbohrmaschinen	11
Abbildung 11: Ansicht einer Gripper – TBM	12
Abbildung 12: Nachläufer einer Gripper-TBM.....	12
Abbildung 13: Offene TBM	12
Abbildung 14: TBM mit Haube.....	13
Abbildung 15: TBM mit Teilschild	13
Abbildung 16: TBM mit Bohrkopfschild.....	13
Abbildung 17: Schnitt durch eine TBM – S	14
Abbildung 18: Schnitt durch eine TBM – DS	14
Abbildung 19: Vortriebsklassenmatrix	22
Abbildung 20: Vortriebsklassenmatrix der Sohle	22
Abbildung 21: Tunnelsystem von zwei eingleisigen Tunnelröhren (zyklisch).....	26
Abbildung 22: Tunnelsystem von zwei eingleisigen Tunnelröhren (kontinuierlich).....	26
Abbildung 23: Variante A der neuen Gotthardbahn.....	27
Abbildung 24: Variante B der neuen Gotthardbahn.....	27
Abbildung 25: Variante C der neuen Gotthardbahn.....	28
Abbildung 26: Variante D der neuen Gotthardbahn.....	28
Abbildung 27: Querschnittvergleich TBM – Sprengvortrieb.....	30
Abbildung 28: Regelquerschnitt zyklischer Vortrieb	31
Abbildung 29: Regelquerschnitt kontinuierlicher Vortrieb	32
Abbildung 30: Regelquerschnitt Zweigleisiger Tunnel.....	33
Abbildung 31: Regelquerschnitt zweigleisiger Tunnel mit Kastennischen.....	34
Abbildung 32: Querschnitt Tunnel Grünburg	35
Abbildung 33: Regelquerschnitt Straßentunnel	35
Abbildung 34: Regelquerschnitt ohne Zwischendecke.....	37
Abbildung 35: Regelquerschnitt mit Zwischendecke	37
Abbildung 36: Gegenüberstellung des ein- und zweischaligen Ausbaues	38

Abbildung 37: Stahlübbling.....	39
Abbildung 38: Stahlbetontübbinge.....	39
Abbildung 39: Gusseisentübbinge.....	39
Abbildung 40: Prinzipdarstellung Kurvenfahrt.....	40
Abbildung 41: Zweischaliger Ausbau.....	41
Abbildung 42: Variante für einen zweischaligen Ausbau – Tübbingauskleidung.....	41
Abbildung 43: Varianten für einen einschaligen Ausbau.....	42
Abbildung 44: Formen der gewählten Lernkurven (zyklischer Vortrieb).....	44
Abbildung 45: Formen der Lernkurven (kontinuierlicher Vortrieb).....	47
Abbildung 46: Regelquerschnitt Pfändertunnel.....	57
Abbildung 47: Schema Pfändertunnel.....	58
Abbildung 48: Querschnitt Tunnelkette Perschling.....	61
Abbildung 49: Querschnitt eingleisiger Tunnel.....	63
Abbildung 50: Pfänder (zyklisch, inkl. IS).....	68
Abbildung 51: Haupttunnel Pfänder (zykl.).....	68
Abbildung 52: Pfänder (kontinuierlich, inkl. IS).....	69
Abbildung 53: Haupttunnel Pfänder (zyklisch).....	70
Abbildung 54: Vor- und Nacharbeiten Pfänder.....	70
Abbildung 55: Perschling (zyklisch, inkl. IS).....	72
Abbildung 56: Haupttunnel Perschling (zyklisch).....	72
Abbildung 57: Perschling (kontinuierlich, inkl. IS).....	73
Abbildung 58: Haupttunnel Perschling (kontinuierlich).....	73
Abbildung 59: Vor- und Nacharbeiten Perschling.....	74
Abbildung 60: Wienerwald (zyklisch, 1 Röhre).....	76
Abbildung 61: Haupttunnel Wienerwald (zyklisch).....	76
Abbildung 62: Zusatzangriff Wienerwald.....	77
Abbildung 63: Einsatzgrenze Fertigteilwerk vor Ort.....	78
Abbildung 64: Längenabhängige Einzelkosten der Stützmittel.....	79
Abbildung 65: Wienerwald.....	80
Abbildung 66: Haupttunnel Wienerwald (kont.).....	80
Abbildung 67: Vor- und Nacharbeiten Wienerwald.....	81
Abbildung 68: Übersicht über die betrachteten Kosten.....	84
Abbildung 69: Übersicht Datenanalyse bezogen auf die Querschnittfläche [T-€/m ²].....	86
Abbildung 70: Pfänder „Null“ (zykl.).....	88
Abbildung 71: Pfänder „Null“ (kont.).....	89
Abbildung 72: Perschling „Null“ (kont.).....	90
Abbildung 73: Wienerwald „Null“ (zykl.).....	91

Abbildung 74: Wienerwald „Null“ (kont.)	91
Abbildung 75: Pfänder „Drei“ (zyklisch)	93
Abbildung 76: Haupttunnel Pfänder „Drei“	94
Abbildung 77: Pfänder „Drei“	95
Abbildung 78: Haupttunnel Pfänder „Drei“ (kont.).....	95
Abbildung 79: Vor- und Nacharb. Pfänder „Drei“	96
Abbildung 80: Perschling „Drei“ (zyklisch).....	97
Abbildung 81: Haupttunnel Perschling „Drei“ (zyklisch).....	97
Abbildung 82: Perschling „Drei“ (kont.).....	98
Abbildung 83: Haupttunnel Perschling „Drei“ (kontinuierlich)	99
Abbildung 84: Vor- und Nacharbeiten Perschling „Drei“	99
Abbildung 85: Wienerwald „Drei“ (zyklisch)	101
Abbildung 86: Haupttunnel Wienerwald „Drei“ (zykl.).....	101
Abbildung 87: Wienerwald „Drei“	102
Abbildung 88: Haupttunnel Wienerwald „Drei“ (kont.)	103
Abbildung 89: Vor- und Nacharbeiten Wienerwald „Drei“	103
Abbildung 90: Wienerwald „Sechs“	105
Abbildung 91: Haupttunnel Wienerwald „Sechs“ (zykl.).....	105
Abbildung 92: Wienerwald „Sechs“ (kont.)	106
Abbildung 93: Haupttunnel Wienerwald „Sechs“	106
Abbildung 94: Vor- und Nacharbeiten Wienerwald „Sechs“	107
Abbildung 95: Pfänder „Elf“ (zyklisch).....	108
Abbildung 96: Haupttunnel Pfänder „Elf“ (zyklisch)	109
Abbildung 97: Pfänder „Elf“ (kont.)	109
Abbildung 98: Haupttunnel Pfänder „Elf“ (kont.).....	110
Abbildung 99: Vor- und Nacharbeiten Pfänder „Elf“	110
Abbildung 100: Perschling „Elf“ (zykl.).....	112
Abbildung 101: Haupttunnel Perschling „Elf“ (zykl.)	112
Abbildung 102: Perschling „Elf“	113
Abbildung 103: Haupttunnel Pfänder „Elf“ (kont.).....	113
Abbildung 104: Vor- und Nacharb. Perschling „Elf“	114
Abbildung 105: Übersicht über die Kostengruppen Pfänder (zyklisch).....	123
Abbildung 106: Übersicht über die Kostengruppen Pfänder (kontinuierlich)	123
Abbildung 107: Übersicht über die Kostengruppen Perschling (zyklisch)	132
Abbildung 108: Übersicht über die Kostengruppen Perschling (kontinuierlich)	132
Abbildung 109: Übersicht über die Kostengruppen Wienerwald (zyklisch)	142
Abbildung 110: Übersicht über die Kostengruppen Wienerwald (kontinuierlich).....	142

Abbildung 111: Kosten – Längendiagramm des zyklischen Vortriebes	145
Abbildung 112: Kosten – Längendiagramm des kontinuierlichen Vortriebes	148
Abbildung 113: Kosten – Längendiagramm (Vergleich zyklisch – kontinuierlich).....	152

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über die ausgewählten Tunnelbauwerke	2
Tabelle 2: Übersicht Gebirgsverhaltenstypen	20
Tabelle 3: Einsatzbereich von Tunnelbohrmaschinen	24
Tabelle 4: Vergleich der erforderlichen Querschnittflächen	29
Tabelle 5: Übersicht Daten Tunnel Pfänder	59
Tabelle 6: TBM - Daten Pfänder	60
Tabelle 7: Übersicht Daten Tunnelkette Perschling	62
Tabelle 8: TBM - Daten Tunnelkette Perschling	62
Tabelle 9: Übersicht Daten Tunnel Wienerwald	64
Tabelle 10: TBM - Daten Wienerwald	64
Tabelle 11: Hauptgruppen Pfänder (zyklisch)	68
Tabelle 12: Hauptgruppe Haupttunnel Pfänder (zyklisch)	68
Tabelle 13: Hauptgruppen Pfänder (kontinuierlich)	69
Tabelle 14: Hauptgruppe Haupttunnel Pfänder (kontinuierlich)	70
Tabelle 15: Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten Pfänder	70
Tabelle 16: Hauptgruppen Perschling (zyklisch)	72
Tabelle 17: Hauptgruppe Haupttunnel Perschling (zyklisch)	72
Tabelle 18: Hauptgruppen Perschling (kontinuierlich)	73
Tabelle 19: Hauptgruppe Haupttunnel Perschling (kontinuierlich)	73
Tabelle 20: Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten Perschling	74
Tabelle 21: Hauptgruppen Wienerwald (zyklisch)	76
Tabelle 22: Hauptgruppe Haupttunnel Wienerwald (zyklisch)	76
Tabelle 23: Hauptgruppe Zusatzangriff Wienerwald	77
Tabelle 24: Längenabhängige Kosten der Auskleidung (kontinuierlicher Vortrieb)	78
Tabelle 25: Berechnung der Stützmittelkosten für alle Projekte	79
Tabelle 26: Hauptgruppen Wienerwald (kontinuierlich)	80
Tabelle 27: Hauptgruppe Haupttunnel Wienerwald (kontinuierlich)	80
Tabelle 28: Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten Wienerwald	81
Tabelle 29: Zusammenfassung der betrachteten Kosten	84
Tabelle 30: Zusammenfassung der betrachtete Kosten (bezogen auf die Querschnittfläche)	86
Tabelle 31: Hauptgruppen Pfänder „Null“ (zyklisch)	88
Tabelle 32: Hauptgruppen Pfänder „Null“ (kontinuierlich)	89
Tabelle 33: Hauptgruppen Perschling „Null“ (kontinuierlich)	90
Tabelle 34: Hauptgruppen Wienerwald „Null“ (zyklisch)	91

Tabelle 35: Hauptgruppen Wienerwald „Null“ (kontinuierlich)	91
Tabelle 36: Hauptgruppen Pfänder „Drei“ (zyklisch).....	93
Tabelle 37: Hauptgruppe Haupttunnel Pfänder „Drei“ (zyklisch)	94
Tabelle 38: Hauptgruppen Pfänder „Drei“ (kontinuierlich)	95
Tabelle 39: Hauptgruppe Haupttunnel Pfänder „Drei“ (kont.).....	95
Tabelle 40: Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten Pfänder „Drei“	96
Tabelle 41: Hauptgruppen Perschling „Drei“ (zyklisch)	97
Tabelle 42: Hauptgruppe Haupttunnel Perschling „Drei“ (zyklisch).....	97
Tabelle 43: Hauptgruppen Perschling „Drei“ (kontinuierlich).....	98
Tabelle 44: Hauptgruppe Haupttunnel Perschling „Drei“ (kont.).....	99
Tabelle 45: Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten Perschling „Drei“	99
Tabelle 46: Hauptgruppen Wienerwald „Drei“ (zyklisch)	101
Tabelle 47: Hauptgruppe Haupttunnel Wienerwald „Drei“ (zykl.)	101
Tabelle 48: Hauptgruppen Wienerwald „Drei“ (kontinuierlich).....	102
Tabelle 49: Hauptgruppe Haupttunnel Wienerwald „Drei“ (kont.).....	103
Tabelle 50: Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten Wienerwald „Drei“	103
Tabelle 51: Hauptgruppen Wienerwald „Sechs“ (zyklisch).....	105
Tabelle 52: Hauptgruppe Haupttunnel Wienerwald „Sechs“ (zykl.).....	105
Tabelle 53: Hauptgruppen Wienerwald „Sechs“ (kontinuierlich).....	106
Tabelle 54: Hauptgruppe Haupttunnel Wienerwald „Sechs“ (kont.)	106
Tabelle 55: Hauptgruppe Vor- und Nacharb. Wienerwald „Sechs“	107
Tabelle 56: Hauptgruppen Pfänder „Elf“ (zyklisch).....	108
Tabelle 57: Hauptgruppe Haupttunnel Pfänder „Elf“ (zyklisch).....	109
Tabelle 58: Hauptgruppen Pfänder „Elf“ (kontinuierlich).....	109
Tabelle 59: Hauptgruppe Haupttunnel Pfänder „Elf“ (kont.)	110
Tabelle 60: Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten Pfänder „Elf“	110
Tabelle 61: Hauptgruppen Perschling „Elf“ (zykl.)	112
Tabelle 62: Hauptgruppe Haupttunnel Perschling „Elf“ (zykl.).....	112
Tabelle 63: Hauptgruppen Perschling „Elf“ (kont.).....	113
Tabelle 64: Hauptgruppe Haupttunnel Pfänder „Elf“ (kont.)	113
Tabelle 65: Hauptgruppe Vor- und Nacharbeiten Perschling „Elf“	114
Tabelle 66: Durchschnittliche Vortriebsgeschwindigkeiten Pfänder (zyklisch)	115
Tabelle 67: Kostenübersicht zyklischer Vortrieb – Pfänder	116
Tabelle 68: Lohnkosten zyklischer Vortrieb – Pfänder	116
Tabelle 69: Gerätekosten zyklischer Vortrieb – Pfänder	116
Tabelle 70: Stützmittelkosten zyklischer Vortrieb – Pfänder.....	117
Tabelle 71: Ausbruchskosten zyklischer Vortrieb – Pfänder	117

Tabelle 72: Übersicht Kosten – Pfänder (zyklischer Vortrieb)	118
Tabelle 73: Durchschnittliche Vortriebsgeschwindigkeiten Pfänder (kontinuierlich).....	119
Tabelle 74: Kostenübersicht kontinuierlicher Vortrieb – Pfänder	119
Tabelle 75: Lohnkosten kontinuierlicher Vortrieb – Pfänder	119
Tabelle 76: Gerätekosten kontinuierlicher Vortrieb – Pfänder	120
Tabelle 77: Stützmittelkosten kontinuierlicher Vortrieb – Pfänder	120
Tabelle 78: Ausbruchskosten kontinuierlicher Vortrieb – Pfänder	121
Tabelle 79: Kosten Vor- und Nacharbeiten kontinuierlicher Vortrieb – Pfänder	121
Tabelle 80: Übersicht Kosten – Pfänder (kontinuierlicher Vortrieb).....	122
Tabelle 81: Durchschnittliche Vortriebsgeschwindigkeiten Perschling (zyklisch)	124
Tabelle 82: Kostenübersicht zyklischer Vortrieb – Perschling	124
Tabelle 83: Übersicht Lohnkosten Perschling - zyklisch.....	125
Tabelle 84: Übersicht Gerätekosten Perschling - zyklisch.....	125
Tabelle 85: Übersicht Stützmittelkosten Perschling - zyklisch.....	126
Tabelle 86: Übersicht Ausbruchskosten Perschling - zyklisch.....	126
Tabelle 87: Übersicht Kosten – Perschling (zyklischer Vortrieb)	127
Tabelle 88: Durchschnittliche Vortriebsgeschwindigkeiten Perschling (kontinuierlich).....	127
Tabelle 89: Kostenübersicht kontinuierlicher Vortrieb – Perschling.....	128
Tabelle 90: Lohnkosten kontinuierlicher Vortrieb – Perschling	128
Tabelle 91: Gerätekosten kontinuierlicher Vortrieb – Perschling	128
Tabelle 92: Stützmittelkosten kontinuierlicher Vortrieb – Perschling	129
Tabelle 93: Ausbruchskosten kontinuierlicher Vortrieb – Perschling	130
Tabelle 94: Vor- und Nacharbeiten kontinuierlicher Vortrieb – Perschling	130
Tabelle 95: Übersicht Kosten – Perschling (kontinuierlicher Vortrieb).....	131
Tabelle 96: Durchschnittliche Vortriebsgeschwindigkeiten Wienerwald (zyklisch)	133
Tabelle 97: Kostenübersicht zyklischer Vortrieb – Wienerwald	133
Tabelle 98: Lohnkosten zyklischer Vortrieb – Wienerwald	134
Tabelle 99: Gerätekosten zyklischer Vortrieb – Wienerwald	134
Tabelle 100: Stützmittelkosten zyklischer Vortrieb – Wienerwald	135
Tabelle 101: Ausbruchskosten zyklischer Vortrieb – Wienerwald	135
Tabelle 102: Zusatzangriff zyklischer Vortrieb – Wienerwald	136
Tabelle 103: Übersicht Kosten – Wienerwald (zyklischer Vortrieb)	136
Tabelle 104: Durchschnittliche Vortriebsgeschwindigkeiten Wienerwald (kontinuierlich)....	137
Tabelle 105: Kostenübersicht kontinuierlicher Vortrieb – Wienerwald.....	137
Tabelle 106: Lohnkosten kontinuierlicher Vortrieb – Wienerwald	138
Tabelle 107: Gerätekosten kontinuierlicher Vortrieb – Wienerwald	138
Tabelle 108: Stützmittelkosten kontinuierlicher Vortrieb – Wienerwald	139

Tabelle 109: Ausbruchskosten kontinuierlicher Vortrieb – Wienerwald	139
Tabelle 110: Vor- und Nacharbeiten kontinuierlicher Vortrieb – Wienerwald	140
Tabelle 111: Übersicht Kosten – Wienerwald (kontinuierlicher Vortrieb).....	140
Tabelle 112: Übersicht Kostengruppen (zyklisch)	143
Tabelle 113: Übersicht Kostengruppen (kontinuierlich)	146
Tabelle 114: Aufstellung maßgebende Kostenanteile	149

Anhang

Anlage 1: Fragebögen	167
Anlage 2: Auswertungen der Fragebögen – Projekt Pfänder	179
Anlage 3: Auswertungen der Fragebögen – Projekt Perschling	180
Anlage 4: Auswertungen der Fragebögen – Projekt Wienerwald	181
Anlage 5: Kostenschätzung der Tunnellänge „Null“	182
Anlage 6: Kostenschätzung der Tunnellänge „Drei“	185
Anlage 7: Kostenschätzung der Tunnellänge „Sechs“	208
Anlage 8: Kostenschätzung der Tunnellänge „Elf“	213

Anlage 1: Fragebögen

Zyklischer Vortrieb Tunnel Pfänder

1) Allgemeine Projektdaten

Projekt: Pfändertunnel (Variante zyklisch)
Verwendung: Straßenverkehr
Bauzeit: 2007 bis 2012
Vortriebszeit: 2008 bis 2009

2) Geologie

Vorkommen Gebirgsverhaltenstypen:

Gebirgsverhaltenstyp	Vorkommen	Länge [m]	Anteil [%]
GVT 1	<input type="checkbox"/>	0	0 %
GVT 2	<input checked="" type="checkbox"/>	3739	58 %
GVT 3	<input checked="" type="checkbox"/>	79	1 %
GVT 4	<input checked="" type="checkbox"/>	120	2 %
GVT 5	<input type="checkbox"/>	0	0 %
GVT 6	<input type="checkbox"/>	0	0 %
GVT 7	<input checked="" type="checkbox"/>	116	2 %
GVT 8	<input type="checkbox"/>	0	0 %
GVT 9	<input type="checkbox"/>	0	0 %
GVT 10	<input checked="" type="checkbox"/>	2477	39 %
GVT 11	<input type="checkbox"/>	0	0 %

3) Vortrieb

Anzahl der Vortriebe: 2

Gesamtvortriebslänge: 6531 m

Querschnittsfläche 105 m²

Querschnittsumfang 24 m

Anzahl der Röhren (Vortrieb):

einröhrig

zweiröhrig

Vortriebsart:

Baggervortrieb

Sprengvortrieb

Teilschnittmaschine

Stützmittel:

Spritzbeton

Bogen

Spieße

Baustahlgitter

Anker

Art der Schutterung:

Bandförderung

Pneubetrieb

Gleisbetrieb

Zusatzangriff:

ja Fläche: m²

Länge: m

Umfang: m

nein

4) Personal

			Gesamtanzahl	Aufwand
Haupttunnel	Bauleitung	Angestellte	21 Ma	452 MaMo
		Poliere, Meister	14 Ma	301 MaMo
	Gewerbliches Personal	Vortrieb	22 Ma	341.088 h
		Unproduktiv	18 Ma	139.536 h
Zusatzangriff	Bauleitung	Angestellte		
		Poliere, Meister		
	Gewerbliches Personal	Vortrieb		
		Unproduktiv		

5) Leistungsdaten

Mittlere angenommene Vortriebsleistung Haupttunnel: 5,04 m/AT

Mittlere angenommene Vortriebsleistung Zugangstunnel: 0,00 m/AT

6) Kosten

Allgemeines

Jahr der Kostenbasis: 2008

Personal

Mittellohnkosten (gewerbliches Personal): 45,0 €/h

Mittellohnkosten (Angestellte): 10.000 €/Mo

Geräte

Gesamtkosten Hauptvortrieb: 8.800.000 €

Gerätekosten pro Monat je Hauptvortrieb: 160.000 €/Mo

Einmalige Investitionen: 2.000.000 €

Stützmittel

(Spritzbeton, Baustahlgitter, Bogen, Anker, Spieße, Beton Überprofil)

Kosten pro Quadratmeter Sicherungsfläche: 89,5 €/m²

Stoffkosten Ausbruch

(Sprengmittel, Verschleiß, Energie Strom und Diesel)

Kosten pro Kubikmeter Ausbruch: 13,8 €/m³

Zusatzangriff

Geräte

Gesamtkosten: 0 €

Stützmittel

Gesamtkosten: 0 €

Ausbruch

Gesamtkosten: 0 €

Kosten Ausbau

(Sohlbeton, Tragschicht, Abdichtungsträger)

Gesamtkosten: 17.516.500 €

Kontinuierlicher Vortrieb Pfänder

1) Allgemeine Projektdaten

Projekt: Pfändertunnel (Variante kontinuierlich)
Verwendung: Straßenverkehr
Bauzeit: 2007 bis 2012
Vortriebszeit: 2008 bis 2009

2) Geologie

Vorkommen Gebirgsverhaltenstypen:

Gebirgsverhaltenstyp	Vorkommen	Länge [m]	Anteil [%]
GVT 1	<input type="checkbox"/>	0	0 %
GVT 2	<input checked="" type="checkbox"/>	3715	58 %
GVT 3	<input checked="" type="checkbox"/>	56	1 %
GVT 4	<input checked="" type="checkbox"/>	96	1 %
GVT 5	<input type="checkbox"/>	0	0 %
GVT 6	<input type="checkbox"/>	0	0 %
GVT 7	<input checked="" type="checkbox"/>	93	1 %
GVT 8	<input type="checkbox"/>	0	0 %
GVT 9	<input type="checkbox"/>	0	0 %
GVT 10	<input checked="" type="checkbox"/>	2453	38 %
GVT 11	<input type="checkbox"/>	0	0 %

3) Vortrieb

Anzahl der Vortriebe: 1

Gesamtvortriebslänge: 6413 m

Querschnittsfläche: 111 m²

Querschnittsumfang: 37 m

Anzahl der Röhren (Vortrieb):

einröhrig

zweiröhrig

Vortriebsart:

TBM - O

TBM - S

TBM - DS

Stützmittel:

Tübbingausbau

Konventioneller Ausbau

Art der Schutterung:

Bandförderung

Pneubetrieb

Gleisbetrieb

Zusatzangriff:

ja Fläche:

Länge:

Umfang:

nein

4) Personal

			Gesamtanzahl	Aufwand
Haupttunnel	Bauleitung	Angestellte	8 Ma	104 MaMo
		Poliere, Meister	7 Ma	91 MaMo
	Gewerbliches Personal	Vortrieb	14 Ma	130.032 h
		Unproduktiv	8 Ma	61.920 h
Arbeiten TBM	Bauleitung	Angestellte	24 Ma	80 MaMo
		Poliere, Meister	21 Ma	70 MaMo
	Gewerbliches Personal	Produktiv	6 Ma	21.600 h
		Unproduktiv	28 Ma	54.000 h

5) Leistungsdaten

Mittlere angenommene Vortriebsleistung Haupttunnel: 16,57 m/AT

Mittlere angenommene Vortriebsleistung Zugangstunnel: 0,00 m/AT

6) Kosten

Allgemeines

Jahr der Kostenbasis: 2008

Personal

Mittellohnkosten (gewerbliches Personal): 45,0 €/h

Mittellohnkosten (Angestellter): 10.000 €/Mo

Geräte

Gesamtkosten Hauptvortrieb: 13.891.000 €

Gerätekosten pro Monat: 70.000 €/Mo

Einmalige Investitionen: 12.981.000 €

Stützmittel

(Tübbingausbau, Ringspaltverfüllung)

Kosten pro Quadratmeter Sicherungsfläche: 104,1 €/m²

Stoffkosten Ausbruch

(Meißelverschleiß, Verschleiß, Energie Strom und Diesel)

Kosten pro Kubikmeter Ausbruch: 5,2 €/m³

Vor- und Nacharbeiten (Montage & Demontage der TBM, Herstellung Startröhre)

Geräte

Gesamtkosten: 4.715.000 €

Stützmittel

Gesamtkosten: 401.000 €

Ausbruch

Gesamtkosten: 187.000 €

Kosten Ausbau

(Sohlbeton, Tragschicht, Kosten Mehrausbruch, Zusatzkosten QS)

Gesamtkosten: 18.817.120 €

Zyklischer Vortrieb Perschling

1) Allgemeine Projektdaten

Projekt: Tunnelkette Perschling (Variante zyklisch)
Verwendung: Eisenbahntunnel
Bauzeit: 2004 bis 2009
Vortriebszeit: 2005 bis 2009

2) Geologie

Vorkommen Gebirgsverhaltenstypen:

Gebirgsverhaltenstyp	Vorkommen	Länge [m]	Anteil [%]
GVT 1	<input type="checkbox"/>	0	0 %
GVT 2	<input checked="" type="checkbox"/>	185	3 %
GVT 3	<input checked="" type="checkbox"/>	2402	40 %
GVT 4	<input checked="" type="checkbox"/>	3086	51 %
GVT 5	<input type="checkbox"/>	0	0 %
GVT 6	<input type="checkbox"/>	0	0 %
GVT 7	<input checked="" type="checkbox"/>	134	2 %
GVT 8	<input checked="" type="checkbox"/>	253	4 %
GVT 9	<input type="checkbox"/>	0	0 %
GVT 10	<input type="checkbox"/>	0	0 %
GVT 11	<input type="checkbox"/>	0	0 %

3) Vortrieb

Anzahl der Vortriebe: 4

Gesamtvortriebslänge: 6061 m

Querschnittsfläche 120 m²

Querschnittsumfang 38 m

Anzahl der Röhren (Vortrieb):

einröhrig

zweiröhrig

Vortriebsart:

Baggervortrieb

Sprengvortrieb

Teilschnittmaschine

Stützmittel:

Spritzbeton

Bogen

Spieße

Baustahlgitter

Anker

Art der Schutterung:

Bandförderung

Pneubetrieb

Gleisbetrieb

Zusatzangriff:

ja Fläche: m²

Länge: m

Umfang: m

nein

4) Personal

			Gesamtanzahl	Aufwand
Haupttunnel	Bauleitung	Angestellte	32 Ma	400 MaMo
		Poliere, Meister	16 Ma	200 MaMo
	Gewerbliches Personal	Vortrieb	40 Ma	361.200 h
		Unproduktiv	24 Ma	99.300 h
Zusatzangriff	Bauleitung	Angestellte		
		Poliere, Meister		
	Gewerbliches Personal	Vortrieb		
		Unproduktiv		

5) Leistungsdaten

Mittlere angenommene Vortriebsleistung Haupttunnel: 4,00 m/AT

Mittlere angenommene Vortriebsleistung Zugangstunnel: 0,00 m/AT

6) Kosten

Allgemeines

Jahr der Kostenbasis: 2008

Personal

Mittellohnkosten (gewerbliches Personal): 45,0 €/h

Mittellohnkosten (Angestellte): 10.000 €/Mo

Geräte

Gesamtkosten Hauptvortrieb: 8.000.000 €

Gerätekosten pro Monat je Hauptvortrieb: 160.000 €/Mo

Einmalige Investitionen: 0 €

Stützmittel

(Spritzbeton, Baustahlgitter, Bogen, Anker, Spieße, Beton Überprofil)

Kosten pro Quadratmeter Sicherungsfläche: 102,5 €/m²

Stoffkosten Ausbruch

(Sprengmittel, Verschleiß, Energie Strom und Diesel)

Kosten pro Kubikmeter Ausbruch: 10,6 €/m³

Zusatzangriff

Geräte

Gesamtkosten: 0 €

Stützmittel

Gesamtkosten: 0 €

Ausbruch

Gesamtkosten: 0 €

Kosten Ausbau

(Sohlfüllbeton, Abwasserrohr, Verlängerte offene Bauweise)

Gesamtkosten: 7.455.900 €

Kontinuierlicher Vortrieb Perschling

1) Allgemeine Projektdaten

Projekt: Tunnelkette Perschling (Variante kontinuierlich)
Verwendung: Eisenbahntunnel
Bauzeit: 2004 bis 2009
Vortriebszeit: 2005 bis 2009

2) Geologie

Vorkommen Gebirgsverhaltenstypen:

Gebirgsverhaltenstyp	Vorkommen	Länge [m]	Anteil [%]
GVT 1	<input type="checkbox"/>	0	0 %
GVT 2	<input checked="" type="checkbox"/>	199	3 %
GVT 3	<input checked="" type="checkbox"/>	2497	41 %
GVT 4	<input checked="" type="checkbox"/>	3129	52 %
GVT 5	<input type="checkbox"/>	0	0 %
GVT 6	<input type="checkbox"/>	0	0 %
GVT 7	<input checked="" type="checkbox"/>	137	2 %
GVT 8	<input checked="" type="checkbox"/>	251	4 %
GVT 9	<input type="checkbox"/>	0	0 %
GVT 10	<input type="checkbox"/>	0	0 %
GVT 11	<input type="checkbox"/>	0	0 %

3) Vortrieb

Anzahl der Vortriebe: 3

Gesamtvortriebslänge: 6212 m

Querschnittsfläche 133 m²

Querschnittsumfang 41 m

Anzahl der Röhren (Vortrieb):

einröhrig

zweiröhrig

Vortriebsart:

TBM - O

TBM - S

TBM - DS

Stützmittel:

Tübbingausbau

Konventioneller Ausbau

Art der Schutterung:

Bandförderung

Pneubetrieb

Gleisbetrieb

Zusatzangriff:

ja Fläche:

Länge:

Umfang:

nein

4) Personal

			Gesamtanzahl	Aufwand
Haupttunnel	Bauleitung	Angestellte	36 Ma	222 MaMo
		Poliere, Meister	15 Ma	93 MaMo
	Gewerbliches Personal	Vortrieb	48 Ma	212.846 h
		Unproduktiv	30 Ma	110.857 h
Arbeiten TBM	Bauleitung	Angestellte	58 Ma	162 MaMo
		Poliere, Meister	25 Ma	70 MaMo
	Gewerbliches Personal	Produktiv	6 Ma	12.960 h
		Unproduktiv	52 Ma	87.600 h

5) Leistungsdaten

Mittlere angenommene Vortriebsleistung Haupttunnel: 11,19 m/AT

Mittlere angenommene Vortriebsleistung Zugangstunnel: 0,00 m/AT

6) Kosten

Allgemeines

Jahr der Kostenbasis: 2008

Personal

Mittellohnkosten (gewerbliches Personal): 45,0 €/h

Mittellohnkosten (Angestellte): 10.000 €/Mo

Geräte

Gesamtkosten Hauptvortrieb: 13.295.000 €

Gerätekosten pro Monat: 70.000 €/Mo

Einmalige Investitionen: 12.000.000 €

Stützmittel

(Tübbingausbau, Ringspaltverfüllung)

Kosten pro Quadratmeter Sicherungsfläche: 113,4 €/m²

Stoffkosten Ausbruch

(Meißelverschleiß, Verschleiß, Energie Strom und Diesel)

Kosten pro Kubikmeter Ausbruch: 5,5 €/m³

Vor- und Nacharbeiten (Montage & Demontage der TBM, Herstellung Startröhre)

Geräte

Gesamtkosten: 3.625.000 €

Stützmittel

Gesamtkosten: 252.000 €

Ausbruch

Gesamtkosten: 85.000 €

Kosten Ausbau

(Zusätzliche Sohlauffüllung, Sauberkeitsschicht, Rohrleitungen)

Gesamtkosten: 10.660.200 €

Zyklischer Vortrieb Wienerwald

1) Allgemeine Projektdaten

Projekt: Wienerwaldtunnel (Variante zyklisch)
Verwendung: Eisenbahntunnel
Bauzeit: 2004 bis 2009
Vortriebszeit: 2005 bis 2007

2) Geologie

Vorkommen Gebirgsverhaltenstypen:

Gebirgsverhaltenstyp	Vorkommen	Länge [m]	Anteil [%]
GVT 1	<input checked="" type="checkbox"/>	724	3 %
GVT 2	<input checked="" type="checkbox"/>	10417	49 %
GVT 3	<input checked="" type="checkbox"/>	7211	34 %
GVT 4	<input checked="" type="checkbox"/>	2812	13 %
GVT 5	<input type="checkbox"/>	0	0 %
GVT 6	<input type="checkbox"/>	0	0 %
GVT 7	<input checked="" type="checkbox"/>	134	1 %
GVT 8	<input type="checkbox"/>	0	0 %
GVT 9	<input type="checkbox"/>	0	0 %
GVT 10	<input type="checkbox"/>	0	0 %
GVT 11	<input type="checkbox"/>	0	0 %

3) Vortrieb

Anzahl der Vortriebe: 6

Gesamtvortriebslänge: 21298 m

Querschnittsfläche 77 m²

Querschnittsumfang 29 m

Anzahl der Röhren (Vortrieb):

einröhrig

zweiröhrig

Vortriebsart:

Baggervortrieb

Sprengvortrieb

Teilschnittmaschine

Stützmittel:

Spritzbeton

Bogen

Spieße

Baustahlgitter

Anker

Art der Schutterung:

Bandförderung

Pneubetrieb

Gleisbetrieb

Zusatzangriff:

ja Fläche: 75 m²

Länge: 1400 m

Umfang: 31 m

nein

4) Personal

			Gesamtanzahl	Aufwand
Haupttunnel	Bauleitung	Angestellte	22 Ma	737 MaMo
		Poliere, Meister	21 Ma	571 MaMo
	Gewerbliches Personal	Vortrieb	54 Ma	1.146.888 h
		Unproduktiv	21 Ma	243.000 h
Zusatzangriff	Bauleitung	Angestellte	10 Ma	138 MaMo
		Poliere, Meister	5 Ma	69 MaMo
	Gewerbliches Personal	Vortrieb	6 Ma	70.848 h
		Unproduktiv	4 Ma	23.616 h

5) Leistungsdaten

Mittlere angenommene Vortriebsleistung Haupttunnel: 4,59 m/AT

Mittlere angenommene Vortriebsleistung Zugangstunnel: 2,40 m/AT

6) Kosten

Allgemeines

Jahr der Kostenbasis: 2008

Personal

Mittellohnkosten (gewerbliches Personal): 45,0 €/h

Mittellohnkosten (Angestellter): 10.000 €/Mo

Geräte

Gesamtkosten Hauptvortrieb: 26.535.000 €

Gerätekosten pro Monat je Hauptvortrieb: 155.000 €/Mo

Einmalige Investitionen: 4.000.000 €

Stützmittel

(Spritzbeton, Baustahlgitter, Bogen, Anker, Spieße, Beton Überprofil)

Kosten pro Quadratmeter Sicherungsfläche: 108,5 €/m²

Stoffkosten Ausbruch

(Sprengmittel, Verschleiß, Energie Strom und Diesel)

Kosten pro Kubikmeter Ausbruch: 10,6 €/m³

Zusatzangriff

Geräte

Gesamtkosten: 2.102.500 €

Stützmittel

Gesamtkosten: 85.000 €

Ausbruch

Gesamtkosten: 700.000 €

Kosten Ausbau

Keine zusätzlichen Kosten vorhanden.

Kontinuierlicher Vortrieb Wienerwald

1) Allgemeine Projektdaten

Projekt: Wienerwaldtunnel (Variante kontinuierlich)
Verwendung: Eisenbahntunnel
Bauzeit: 2004 bis 2009
Vortriebszeit: 2005 bis 2007

2) Geologie

Vorkommen Gebirgsverhaltenstypen:

Gebirgsverhaltenstyp	Vorkommen	Länge [m]	Anteil [%]
GVT 1	<input checked="" type="checkbox"/>	724	3 %
GVT 2	<input checked="" type="checkbox"/>	10551	49 %
GVT 3	<input checked="" type="checkbox"/>	7248	34 %
GVT 4	<input checked="" type="checkbox"/>	2812	13 %
GVT 5	<input type="checkbox"/>	0	0 %
GVT 6	<input type="checkbox"/>	0	0 %
GVT 7	<input checked="" type="checkbox"/>	134	1 %
GVT 8	<input type="checkbox"/>	0	0 %
GVT 9	<input type="checkbox"/>	0	0 %
GVT 10	<input type="checkbox"/>	0	0 %
GVT 11	<input type="checkbox"/>	0	0 %

3) Vortrieb

Anzahl der Vortriebe: 2

Gesamtvortriebslänge: 21469 m

Querschnittsfläche: 89 m²

Querschnittsumfang: 33,6 m

Anzahl der Röhren (Vortrieb):

einröhrig

zweiröhrig

Vortriebsart:

TBM - O

TBM - S

TBM - DS

Stützmittel:

Tübbingausbau

Konventioneller Ausbau

Art der Schutterung:

Bandförderung

Pneubetrieb

Gleisbetrieb

Zusatzangriff:

ja Fläche:

Länge:

Umfang:

nein

4) Personal

			Gesamtanzahl	Aufwand
Haupttunnel	Bauleitung	Angestellte	16 Ma	320 MaMo
		Poliere, Meister	4 Ma	80 MaMo
	Gewerbliches Personal	Vortrieb	32 Ma	460.800 h
		Unproduktiv	16 Ma	192.000 h
Arbeiten TBM	Bauleitung	Angestellte	34 Ma	75 MaMo
		Poliere, Meister	19 Ma	43 MaMo
	Gewerbliches Personal	Produktiv	6 Ma	6.192 h
		Unproduktiv	42 Ma	61.720 h

5) Leistungsdaten

Mittlere angenommene Vortriebsleistung Haupttunnel: 17,89 m/AT

Mittlere angenommene Vortriebsleistung Zugangstunnel: 0,00 m/AT

6) Kosten

Allgemeines

Jahr der Kostenbasis: 2008

Personal

Mittellohnkosten (gewerbliches Personal): 45,0 €/h

Mittellohnkosten (Angestellter): 10.000 €/Mo

Geräte

Gesamtkosten Hauptvortrieb: 22.600.000 €

Gerätekosten pro Monat: 130.000 €/Mo

Einmalige Investitionen: 20.000.000 €

Stützmittel

(Tübbingausbau, Ringspaltverfüllung)

Kosten pro Quadratmeter Sicherungsfläche: 84,8 €/m²

Stoffkosten Ausbruch

(Meißelverschleiß, Verschleiß, Energie Strom und Diesel)

Kosten pro Kubikmeter Ausbruch: 5,4 €/m³

Vor- und Nacharbeiten (Montage & Demontage der TBM, Herstellung Startröhre)

Geräte

Gesamtkosten: 3.717.500 €

Stützmittel

Gesamtkosten: 130.000 €

Ausbruch

Gesamtkosten: 40.000 €

Kosten Ausbau

Keine zusätzlichen Kosten vorhanden.

Anlage 2: Auswertungen der Fragebögen – Projekt Pfänder

Kostenaufstellung Pfänder – Zyklischer Vortrieb

			Aufwand		Einzelkosten	=	Kosten
Haupttunnel	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	480.624 h	×	45 €/h	=	21.628.080 €
		Bauleitung	753 MaMo	×	10.000 €/Mo	=	7.530.000 €
	Geräte					=	8.800.000 €
	Stützmittel	(Länge × Umfang)	156.744 m ²	×	89,5 €/m ²	=	14.028.588 €
	Ausbruch	(Länge × Querschnitt)	685.755 m ³	×	13,8 €/m ³	=	9.463.419 €
							61.450.087 €
Zusatzangriff	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	0 h	×	45 €/h	=	0 €
		Bauleitung	0 MaMo	×	10.000 €/Mo	=	0 €
	Geräte					=	0 €
	Stützmittel		0 m ²	×	89,5 €/m ²	=	0 €
	Ausbruch		0 m ³	×	13,8 €/m ³	=	0 €
							0 €
Vorarbeiten Innenschalenherstellung							17.516.500 €
							17.516.500 €
							78.966.587 €

Kostenaufstellung Pfänder – Kontinuierlicher Vortrieb

			Aufwand		Einzelkosten	=	Kosten
Haupttunnel	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	191.952 h	×	45 €/h	=	8.637.840 €
		Bauleitung	195 MaMo	×	10.000 €/Mo	=	1.950.000 €
	Geräte					=	13.891.000 €
	Stützmittel	(Länge × Umfang)	237.281 m ²	×	104,1 €/m ²	=	24.700.952 €
	Ausbruch	(Länge × Querschnitt)	711.843 m ³	×	5,2 €/m ³	=	3.701.584 €
							52.881.376 €
Vor- & Nacharbeiten	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	75.600 h	×	45 €/h	=	3.402.000 €
		Bauleitung	150 MaMo	×	10.000 €/Mo	=	1.500.000 €
	Geräte					=	4.715.000 €
	Stützmittel					=	401.000 €
	Ausbruch					=	187.000 €
							10.205.000 €
Vorarbeiten Innenschalenherstellung							18.817.120 €
							18.817.120 €
							81.903.496 €

Anlage 3: Auswertungen der Fragebögen – Projekt Perschling

Kostenaufstellung Perschling – Zyklischer Vortrieb

			Aufwand		Einzelkosten	=	Kosten
Haupttunnel	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	460.500 h	×	45 €/h	=	20.722.500 €
		Bauleitung	600 MaMo	×	10.000 €/Mo	=	6.000.000 €
	Geräte					=	8.000.000 €
	Stützmittel	(Länge × Umfang)	230.318 m ²	×	102,5 €/m ²	=	23.607.595 €
	Ausbruch	(Länge × Querschnitt)	727.320 m ³	×	10,6 €/m ³	=	7.709.592 €
							66.039.687 €
Zusatzangriff	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	0 h	×	45 €/h	=	0 €
		Bauleitung	0 MaMo	×	10.000 €/Mo	=	0 €
	Geräte					=	0 €
	Stützmittel		0 m ²	×	102,5 €/m ²	=	0 €
	Ausbruch		0 m ³	×	10,6 €/m ³	=	0 €
							0 €
Vorarbeiten Innenschalenherstellung							7.455.900 €
							7.455.900 €
							73.495.587 €

Kostenaufstellung Perschling – Kontinuierlicher Vortrieb

			Aufwand		Einzelkosten	=	Kosten
Haupttunnel	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	323.703 h	×	45 €/h	=	14.566.635 €
		Bauleitung	315 MaMo	×	10.000 €/Mo	=	3.150.000 €
	Geräte					=	13.295.000 €
	Stützmittel		254.692 m ²	×	113,4 €/m ²	=	28.882.073 €
	Ausbruch		826.196 m ³	×	5,5 €/m ³	=	4.544.078 €
							64.437.786 €
Vor- & Nacharbeiten	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	100.560 h	×	45 €/h	=	4.525.200 €
		Bauleitung	232 MaMo	×	10.000 €/Mo	=	2.320.000 €
	Geräte					=	3.625.000 €
	Stützmittel					=	252.000 €
	Ausbruch					=	85.000 €
							10.807.200 €
Vorarbeiten Innenschalenherstellung							10.660.200 €
							10.660.200 €
							85.905.186 €

Anlage 4: Auswertungen der Fragebögen – Projekt Wienerwald

Kostenaufstellung Wienerwald – Zyklischer Vortrieb

			Aufwand	Einzelkosten	Kosten (2 Röhren)	Kosten (1 Röhre)	
Haupttunnel	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	1.389.888 h	× 45 €/h	= 62.544.960 €	31.272.480 €	
		Bauleitung	1.308 MaMo	× 10.000 €/Mo	= 13.080.000 €	6.540.000 €	
	Geräte				= 26.535.000 €	13.267.500 €	
	Stützmittel	(Länge × Umfang)	617.642 m ²	× 108,5 €/m ²	= 67.014.157 €	33.507.079 €	
	Ausbruch	(Länge × Querschnitt)	1.639.946 m ³	× 10,6 €/m ³	= 17.383.428 €	8.691.714 €	
						186.557.545 €	93.278.772 €
Zusatzangriff	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	94.464 h	× 45 €/h	= 4.250.880 €	4.250.880 €	
		Bauleitung	207 MaMo	× 10.000 €/Mo	= 2.070.000 €	2.070.000 €	
	Geräte				= 2.102.500 €	2.102.500 €	
	Stützmittel		43.400 m ²	× 108,5 €/m ²	= 4.708.900 €	4.708.900 €	
	Ausbruch		105.000 m ³	× 10,6 €/m ³	= 1.113.000 €	1.113.000 €	
						14.245.280 €	14.245.280 €
Vorarbeiten Innenschalenherstellung						0 €	0 €
						0 €	0 €
						200.802.825 €	107.524.052 €

Kostenaufstellung Wienerwald – Kontinuierlicher Vortrieb

			Aufwand	Einzelkosten	Kosten (2 Röhren)	Kosten (1 Röhre)	
Haupttunnel	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	652.800 h	× 45 €/h	= 29.376.000 €	14.688.000 €	
		Bauleitung	400 MaMo	× 10.000 €/Mo	= 4.000.000 €	2.000.000 €	
	Geräte				= 22.600.000 €	11.300.000 €	
	Stützmittel	(Länge × Umfang)	721.358 m ²	× 97,5 €/m ²	= 70.332.444 €	35.166.222 €	
	Ausbruch	(Länge × Querschnitt)	1.910.741 m ³	× 5,4 €/m ³	= 10.318.001 €	5.159.001 €	
						136.626.445 €	68.313.223 €
Vor- & Nacharbeiten	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	67.912 h	× 45 €/h	= 3.056.040 €	1.528.020 €	
		Bauleitung	118 MaMo	× 10.000 €/Mo	= 1.180.000 €	590.000 €	
	Geräte				= 3.717.500 €	1.858.750 €	
	Stützmittel				= 130.000 €	65.000 €	
	Ausbruch				= 40.000 €	20.000 €	
						8.123.540 €	4.061.770 €
Vorarbeiten Innenschalenherstellung						0 €	0 €
						0 €	0 €
						144.749.985 €	72.374.993 €

Anlage 5: Kostenschätzung der Tunnellänge „Null“

Auswertung zyklischer Vortrieb Pfänder - Nullpunkt

			Aufwand		Einzelkosten	=	Kosten
Haupttunnel	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	0 h	×	45 €/h	=	0 €
		Bauleitung	0 MaMo	×	10.000 €/Mo	=	0 €
	Geräte				=	2.000.000 €	
	Stützmittel	(Länge × Umfang)	0 m ²	×	89,5 €/m ²	=	0 €
	Ausbruch	(Länge × Querschnitt)	0 m ³	×	13,8 €/m ³	=	0 €
Zusatzangriff	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	0 h	×	45 €/h	=	0 €
		Bauleitung	0 MaMo	×	10.000 €/Mo	=	0 €
	Geräte				=	0 €	
	Stützmittel		0 m ²	×	89,5 €/m ²	=	0 €
	Ausbruch		0 m ³	×	13,8 €/m ³	=	0 €
							2.000.000 €

Auswertung kontinuierlicher Vortrieb Pfänder – Nullpunkt

			Aufwand		Einzelkosten	=	Kosten	Kosten (Vor.)
Haupttunnel	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	0 h	×	45 €/h	=	0 €	0 €
		Bauleitung	0 MaMo	×	10.000 €/Mo	=	0 €	0 €
	Geräte				=	12.981.000 €	12.981.000 €	
	Stützmittel	(Länge × Umfang)	0 m ²	×	104,1 €/m ²	=	0 €	0 €
	Ausbruch	(Länge × Querschnitt)	0 m ³	×	5,2 €/m ³	=	0 €	0 €
								12.981.000 €
Vor- & Nacharbeiten	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	75.600 h	×	45 €/h	=	3.402.000 €	2.551.500 €
		Bauleitung	150 MaMo	×	10.000 €/Mo	=	1.500.000 €	1.125.000 €
	Geräte				=	4.715.000 €	3.536.250 €	
	Stützmittel				=	401.000 €	300.750 €	
	Ausbruch				=	187.000 €	140.250 €	
								10.205.000 €
							23.186.000 €	20.634.750 €

Auswertung zyklischer Vortrieb Perschling – Nullpunkt

Für diese Variante sind keine Kosten vorhanden.

Auswertung kontinuierlicher Vortrieb Perschling – Nullpunkt

			Aufwand		Einzelkosten	=	Kosten	Kosten (Vor.)
Haupttunnel	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	0 h	×	45 €/h	=	0 €	0 €
		Bauleitung	0 MaMo	×	10.000 €/Mo	=	0 €	0 €
	Geräte					=	12.000.000 €	12.000.000 €
	Stützmittel	(Länge × Umfang)	0 m ²	×	113,4 €/m ²	=	0 €	0 €
	Ausbruch	(Länge × Querschnitt)	0 m ³	×	5,5 €/m ³	=	0 €	0 €
							12.000.000 €	12.000.000 €
Vor- & Nacharbeiten	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	100.560 h	×	45 €/h	=	4.525.200 €	1.131.300 €
		Bauleitung	232 MaMo	×	10.000 €/Mo	=	2.320.000 €	580.000 €
	Geräte					=	3.625.000 €	906.250 €
	Stützmittel					=	252.000 €	63.000 €
	Ausbruch					=	85.000 €	21.250 €
							10.807.200 €	2.701.800 €
							22.807.200 €	14.701.800 €

Auswertung zyklischer Vortrieb Wienerwald – Nullpunkt

			Aufwand		Einzelkosten	=	Kosten (2 Röhren)	Kosten (1 R.&ohne Z.)
Haupttunnel	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	0 h	×	45 €/h	=	0 €	0 €
		Bauleitung	0 MaMo	×	10.000 €/Mo	=	0 €	0 €
	Geräte					=	4.000.000 €	1.000.000 €
	Stützmittel		0 m ²	×	108,5 €/m ²	=	0 €	0 €
	Ausbruch		0 m ³	×	10,6 €/m ³	=	0 €	0 €
							4.000.000 €	1.000.000 €
Zusatzangriff	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	94.464 h	×	45 €/h	=	4.250.880 €	0 €
		Bauleitung	207 MaMo	×	10.000 €/Mo	=	2.070.000 €	0 €
	Geräte					=	2.102.500 €	0 €
	Stützmittel		43.400 m ²	×	108,5 €/m ²	=	4.708.900 €	0 €
	Ausbruch		105.000 m ³	×	10,6 €/m ³	=	1.113.000 €	0 €
							14.245.280 €	0 €
							18.245.280 €	1.000.000 €

Auswertung kontinuierlicher Vortrieb Wienerwald – Nullpunkt

			Aufwand		Einzelkosten	=	Kosten (2 Röhren)	Kosten (1 R. & Vor.)
Haupttunnel	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	0 h	×	45 €/h	=	0 €	0 €
		Bauleitung	0 MaMo	×	10.000 €/Mo	=	0 €	0 €
	Geräte					=	20.000.000 €	10.000.000 €
	Stützmittel		0 m ²	×	84,8 €/m ²	=	0 €	0 €
	Ausbruch		0 m ³	×	5,4 €/m ³	=	0 €	0 €
							20.000.000 €	10.000.000 €
Vor- & Nacharbeiten	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	67.912 h	×	45 €/h	=	3.056.040 €	1.680.822 €
		Bauleitung	118 MaMo	×	10.000 €/Mo	=	1.180.000 €	649.000 €
	Geräte					=	3.717.500 €	2.044.625 €
	Stützmittel					=	130.000 €	71.500 €
	Ausbruch					=	40.000 €	22.000 €
							8.123.540 €	4.467.947 €
							28.123.540 €	14.467.947 €

Anlage 6: Kostenschätzung der Tunnellänge „Drei“

Auswertung zyklischer Vortrieb Pfänder – Kilometer „Drei“

Berechnung der Vortriebsdauer

Die Vortriebsdauer wird unter Berücksichtigung der Einarbeitung berechnet. Die Lernkurve wird auf die kalkulierte Leistung kalibriert:

Es wird die Summe der Aufwandswerte ($1 \div A(n)$) der Lernkurve berechnet, wie es in Kapitel 2.7.1.2 beschrieben wurde.

Die Abschätzung der Abschlagslänge erfolgt nach einer Vorgangsweise, die auf den Angaben von Hr. DI Kopecky beruht: Im Mittel kann man von drei bis vier Abschlügen mit einer Abschlagslänge von einem bis drei Metern ausgehen. Mit der vorhandenen mittleren Vortriebsleistung von 5,04 m/AT wird die Anzahl der Abschlüge mit zirka 3,5 angenommen. Daraus ergibt sich:

$$\text{Abschlagslänge} \approx \frac{5,04 \left[\frac{m}{AT} \right]}{3,5 \left[\frac{\text{Abschläge}}{AT} \right]} = 1,44 \Rightarrow \text{Annahme: } 1,50 \text{ m/Abschlag}$$

Aus dieser Abschätzung berechnet sich die Gesamtanzahl der Abschlüge zu (Die Vortriebslänge ist die Halbe Tunnellänge, da zwei Vortriebe vorhanden sind.):

$$i = \frac{6.531 \text{ m}}{2} \times \frac{1}{1,50 \text{ m/Abs.}} = 2.177 \text{ Abschlüge pro Vortrieb}$$

Für die kürzere Bauzeit ergibt sich die Formel (siehe Kapitel 2.7.1.2) zu:

$$AW = \sum_{n=0}^i \frac{1}{A(n)} = \sum_{n=0}^{2.177} \left(\frac{1}{2,5 + (1 - 2,5) \times e^{-0,1 \times n}} \right) = 875,18 \text{ h}$$

Vortriebsdauer des ursprünglichen Projektes:

Tunnellänge: 6.531 m

Mittlere Vortriebsgeschwindigkeit: 5,04 m/AT

$$VD = \frac{6.531 \text{ m}/2 \times 24 \frac{h}{AT}}{5,04 \frac{m}{AT}} = 15.550 \text{ h (= 648 AT)}$$

Die ursprüngliche Vortriebsdauer eines Vortriebes beträgt 15.550 h.

Der Faktor f für die Kalibrierung ergibt sich daher zu:

$$f = \frac{AW}{VD} = \frac{875,18 \text{ h}}{15.550,00 \text{ h}} = 0,056$$

Für die Berechnung der Dauer wird die ursprüngliche Kurve mit dem erhaltenen Faktor f durch Division angepasst.

Bei der Untersuchung Tunnellänge „Drei“ werden die drei Kilometer Vortrieb von zwei Seiten aus aufgeföhren.

Daraus ergibt sich eine Vortriebslänge von 1.500 m (mit $i = 1.500 \text{ m} \div 1,50 \text{ m/Abschlag} = 1.000$ Abschlöße) je Vortrieb. Die Untergrenze der Vortriebsdauer errechnet sich mit den Parametern $\tau = 2,5$ und $c = 0,01$ zu:

$$\sum_{n=0}^i \frac{1}{A(n) \times f \times 24} = \sum_{n=0}^{1.000} \left(\frac{1}{(2,5 + (1 - 2,5) \times e^{-0,1 \times n}) \times f \times 24} \right) = 300 \text{ AT}$$

Für die Obergrenze der Vortriebsdauer ergibt sich mit demselben Ausgangswert $i (= 2.177)$ folgende Formel (mit $\tau = 1,5$ und $c = 0,01$ siehe Kapitel 2.7.1.2):

$$AW = \sum_{n=0}^i \frac{1}{A(n)} = \sum_{n=0}^{2.177} \left(\frac{1}{1,5 + (1 - 1,5) \times e^{-0,01 \times n}} \right) = 1.479,20 \text{ h}$$

Die ursprüngliche Vortriebsdauer beträgt 15.550 h (siehe Untergrenze).

Der Faktor f für die Kalibrierung ergibt sich daher zu:

$$f = \frac{AW}{VD} = \frac{1.479,20 \text{ h}}{15.550,00 \text{ h}} = 0,09513$$

Für die Berechnung der Dauer wird die ursprüngliche Kurve mit dem erhaltenen Faktor f durch Division angepasst.

Daraus ergibt sich für eine Vortriebslänge von 1.500 m mit 1.000 Abschlößen (siehe Untergrenze oben) folgende Vortriebsdauer (mit den Parametern $\tau = 2,5$ und $c = 0,01$):

$$\sum_{n=0}^i \frac{1}{A(n) \times f \times 24} = \sum_{n=0}^{1.000} \left(\frac{1}{(1,5 + (1 - 1,5) \times e^{-0,01 \times n}) \times 0,09513 \times 24} \right) = 305 \text{ AT}$$

Betrachtungen der mittleren Vortriebszeit aus der Ober- und Untergrenze:

Vortriebszeit aus der Abschätzung der Einarbeitung:

Die Vortriebsdauer beträgt 300 Arbeitstage für die Untergrenze und 305 Arbeitstage für die Obergrenze. Daraus ergibt sich ein Mittelwert der Vortriebszeit (aufgerundet auf volle Arbeitstage) zu:

$$\frac{300 \text{ AT} + 305 \text{ AT}}{2} = 303 \text{ AT}$$

Die Bauzeit in Monaten wird auf halbe Monate aufgerundet:

$$\frac{303 \text{ AT}}{7 \frac{\text{AT}}{\text{Mo}} \times 4,3 \frac{\text{Wo}}{\text{Mo}}} \approx 10,5 \text{ Mo}$$

Lohnkosten – Gewerbliches Personal

Da die Vortriebsmannschaften unverändert bleiben und daher auch der Aufwandswert (€/AT), wird der Aufwand im Verhältnis von ursprünglicher zu aktueller Vortriebszeit reduziert. Die ursprüngliche Vortriebszeit ergibt sich aus der Vortriebslänge dividiert durch die mittlere Vortriebsgeschwindigkeit des Hauptvortriebes.

Ursprünglicher Aufwand: 480.624 h (siehe Anlage 2)
 Ursprüngliche Vortriebszeit: 1.296 AT (= 2 × 648, siehe oben)
 Neue Vortriebszeit: 606 AT (= 2 × 303; siehe oben)
 Neuer Aufwand: = 480.624 h × 606 AT ÷ 1.296 AT = 224.736 h

Lohnkosten – Bauleitung

Ursprünglicher Aufwand: 753 MaMo (siehe Anlage 2)
 Ursprüngliche Vortriebszeit: 43 Mo (aus 1.296 ÷ (7 × 4,3))
 Neue Vortriebszeit: 21,0 Mo (= 2 × 10,5; siehe oben)
 Neuer Aufwand: = 753 MaMo × 21 Mo ÷ 43 Mo = 368 MaMo

Gerätekosten

Die Gerätekosten setzen sich aus den Investitionen und den zeitgebundenen Kosten zusammen (siehe Fragebogen Pfänder - Anlage 1). Die Berechnung der Dauer siehe oben. Die Gerätemiete in Euro pro Monat ist dem Fragebogen in Anlage 1.

Investitionen		=	2.000.000 €
Zeitgebundene Kosten	21,0 Mo × 160.000 €/Mo	=	3.360.000 €
			5.360.000 €

Stützmittel

Der Aufwand der Stützmittelkosten errechnet sich aus der Tunnellänge von drei Kilometern und dem vorhandenen Umfang des Tunnelquerschnittes (24 m; siehe Anlage 1). Die Einzelkosten für die Stützmittel bleiben unverändert.

Ausbruch

Der Aufwand der Kosten des Ausbruches errechnet sich aus der Tunnellänge von drei Kilometern und der vorhandenen Querschnittfläche des Tunnelquerschnittes (105 m²; siehe Anlage 1). Die Einzelkosten des Ausbruches bleiben im Vergleich zum ursprünglichen Projekt unverändert.

Zusammenfassung der Kosten

Auf der Grundlage der Angaben im Fragebogen (siehe Anlage 1) und der zugrunde Legung der neu ermittelten Lohn-, Geräte-, Stützmittel- und Ausbruchskosten wird im Folgenden eine Zusammenstellung der Kosten für das fiktive Projekt Pfänder angeführt.

			Aufwand		Einzelkosten	=	Kosten
Haupttunnel	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	224.736 h	×	45 €/h	=	10.113.130 €
		Bauleitung	368 MaMo	×	10.000 €/Mo	=	3.677.442 €
	Geräte					=	5.360.000 €
	Stützmittel	(Länge × Umfang)	72.000 m ²	×	89,5 €/m ²	=	6.444.000 €
	Ausbruch	(Länge × Querschnitt)	315.000 m ³	×	13,8 €/m ³	=	4.347.000 €
							29.941.572 €
Zusatzangriff	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	0 h	×	45 €/h	=	0 €
		Bauleitung	0 MaMo	×	10.000 €/Mo	=	0 €
	Geräte					=	0 €
	Stützmittel		0 m ²	×	89,5 €/m ²	=	0 €
	Ausbruch		0 m ³	×	13,8 €/m ³	=	0 €
							0 €
							29.941.572 €

Auswertung kontinuierlicher Vortrieb Pfänder – Kilometer „Drei“

Die notwendigen Vortriebstage lassen sich aus der Lernkurve, die am ursprünglich kalkulierten Vortriebsverlauf geeicht wird, ermitteln. Es wird zunächst eine Abschätzung über eine Ober- und eine Untergrenze der Kosten berechnet. Danach wird die weitere Kostenschätzung mit einem Mittelwert der Ober- und Untergrenze durchgeführt.

Vortriebsdauer – Einarbeitungszeit

Für den kontinuierlichen Vortrieb wird die Einarbeitung nach folgendem Schema durchgeführt:

Über die Formel die in Abschnitt 2.7.1.3 angegeben ist erfolgt die Abschätzung der oberen und unteren Vortriebszeit.

Die Vortriebsdauer errechnet sich beim Pfändertunnel zu 387 Arbeitstagen (6.413 m ÷ 16,57 m/AT). Der Faktor c wird für die Untergrenze mit 0,04 und für die Obergrenze mit 0,01 angenommen. Löst man die Summengleichung S(t) (siehe Kapitel 2.7.1.3) auf, so erhält man, nach dem in Kapitel 2.7.1.3 beschriebenen Ablauf, folgende Werte für a und b (b = 0,8 × a):

Vortriebszeit für die Untergrenze:

$c = 0,04$ (angenommener Wert)

$a = 17,47$

$b = 13,98$

Aus der Zielwertsuche über die Summengleichung ergibt sich für die Vortriebslänge von 3.000 m eine Bauzeit von 192 Arbeitstagen.

Vortriebszeit für die Obergrenze:

$c = 0,01$ (angenommener Wert)

$a = 20,77$

$b = 16,62$

Aus der Zielwertsuche über die Summengleichung ergibt sich für die Vortriebslänge von 3.000 m eine Bauzeit von 216 Arbeitstagen.

Betrachtung des Mittelwertes der Vortriebsdauer aus der Unter- und Obergrenze

Vortriebszeit aus der Abschätzung mittels der Lernkurve:

Die Vortriebsdauer beträgt 192 Arbeitstage für die Untergrenze und 216 Arbeitstage für die Obergrenze. Daraus ergibt sich ein Mittelwert der Vortriebszeit zu:

$$\frac{192 \text{ AT} + 216 \text{ AT}}{2} = 204 \text{ AT}$$

Die Bauzeit in Monaten wird auf halbe Monate aufgerundet:

$$\frac{204 \text{ AT}}{7 \frac{\text{AT}}{\text{Mo}} \times 4,3 \frac{\text{Wo}}{\text{Mo}}} \approx 7,0 \text{ Mo}$$

Lohnkosten – Gewerbliches Personal

Die Größe der Vortriebsmannschaft verändert sich nicht und daher wird der Aufwand im Verhältnis von ursprünglicher zu aktueller Vortriebszeit angepasst.

Ursprünglicher Aufwand: 191.952 h (siehe Anlage 2)

Ursprüngliche Vortriebszeit: 388 AT (siehe oben)

Neue Vortriebszeit: 204 AT (siehe oben)

Neuer Aufwand: = $191.952 \text{ h} \times 204 \text{ AT} \div 388 \text{ AT} = 100.924 \text{ h}$

Lohnkosten – Bauleitung

Ursprünglicher Aufwand: 195 MaMo (siehe Anlage 2)

Ursprüngliche Vortriebszeit: 13 Mo (aus $387 \div (7 \times 4,3)$)

Neue Vortriebszeit: 7,0 Mo (siehe oben)

Neuer Aufwand: = $195 \text{ MaMo} \times 7 \text{ Mo} \div 13 \text{ Mo} = 105 \text{ MaMo}$

Gerätekosten

Der große Anteil der Investitionen bleibt unverändert zur ursprünglichen Variante. Die zeitgebundenen Kosten werden aber der geänderten Bauzeit angepasst. Wie zuvor angeführt, beträgt die Vortriebsdauer sieben Monate. Die Gerätekosten belaufen sich auf 70.000 €/Mo (siehe Anlage 2).

Investitionen			=	12.981.000 €
Zeitgebundene Kosten	7,0 Mo	×	70.000 €/Mo	= 490.000 €
				13.471.000 €

Stützmittel

Der Aufwand der Stützmittelkosten errechnet sich aus der Tunnellänge von drei Kilometern und dem vorhandenen Umfang des Tunnelquerschnittes (37 m; siehe Anlage 1). Die Einzelkosten für die Stützmittel belaufen sich für die Tunnellänge von drei Kilometern auf 126,5 €/m² (siehe Kapitel 5.1.3.2).

Ausbruch

Der Aufwand der Kosten des Ausbruches errechnet sich aus der Tunnellänge von drei Kilometern und der vorhandenen Querschnittfläche des Tunnelquerschnittes (111 m²; siehe Anlage 1). Die Einzelkosten des Ausbruches bleiben im Vergleich zum ursprünglichen Projekt unverändert.

Vor- und Nacharbeiten

Die Kosten für die Vor- und Nacharbeiten bleiben gleich, da der Aufwand nicht von der Tunnellänge abhängig ist.

Zusammenfassung der Kosten

Auf der Grundlage der Angaben im Fragebogen (siehe Anlage 1) und der zugrunde Legung der neu ermittelten Lohn-, Geräte-, Stützmittel- und Ausbruchskosten wird im Folgenden eine Zusammenstellung der Kosten für das fiktive Projekt Pfänder angeführt.

			Aufwand		Einzelkosten	=	Kosten
Haupttunnel	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	100.924 h	×	45 €/h	=	4.541.580 €
		Bauleitung	105 MaMo	×	10.000 €/Mo	=	1.050.000 €
	Geräte					=	13.471.000 €
	Stützmittel	(Länge × Umfang)	111.000 m ²	×	126,5 €/m ²	=	14.041.500 €
	Ausbruch	(Länge × Querschnitt)	333.000 m ³	×	5,2 €/m ³	=	1.731.600 €
							34.835.680 €
Vor- & Nacharbeiten	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	75.600 h	×	45 €/h	=	3.402.000 €
		Bauleitung	150 MaMo	×	10.000 €/Mo	=	1.500.000 €
	Geräte					=	4.715.000 €
	Stützmittel					=	401.000 €
	Ausbruch					=	187.000 €
							10.205.000 €
							45.040.680 €

Auswertung zyklischer Vortrieb Perschling – Kilometer „Drei“

Berechnung der Vortriebsdauer

Die Vortriebsdauer wird unter Berücksichtigung der Einarbeitung berechnet. Die Lernkurve wird auf die kalkulierte Leistung kalibriert:

Es wird die Summe der Aufwandswerte ($1 \div A(n)$) der Lernkurve berechnet, wie es in Kapitel 2.7.1.2 beschrieben wurde.

Die Abschätzung der Abschlagslänge erfolgt nach einer Vorgangsweise, die auf den Angaben von Hr. DI Kopecky beruht: Im Mittel kann man von drei bis vier Abschlügen mit einer Abschlagslänge von einem bis drei Metern ausgehen. Mit der vorhandenen mittleren Vortriebsleistung von 4,00 m/AT wird die Anzahl der Abschlüge mit zirka 3,0 (aufgrund des größeren Querschnittes) angenommen. Daraus ergibt sich:

$$\text{Abschlagslänge} \approx \frac{4,00 \left[\frac{m}{AT} \right]}{3,0 \left[\frac{\text{Abschlüge}}{AT} \right]} = 1,33 \Rightarrow \text{Annahme: } 1,35 \text{ m/Abschlag}$$

Stierschweiffeldtunnel

Aus dieser Abschätzung berechnet sich die Gesamtanzahl der Abschlüge zu (Die Vortriebslänge ist die halbe Tunnellänge des Stierschweiffeldtunnels des ursprünglichen Projektes):

$$i = \frac{2.646 \text{ m}}{2} \times \frac{1}{1,35 \text{ m/Abs.}} = 980 \text{ Abschlüge pro Vortrieb}$$

Für die kürzere Bauzeit ergibt sich die Formel (siehe Kapitel 2.7.1.2) zu:

$$AW = \sum_{n=0}^i \frac{1}{A(n)} = \sum_{n=0}^{980} \left(\frac{1}{2,5 + (1 - 2,5) \times e^{-0,1 \times n}} \right) = 396,38 \text{ h}$$

Vortriebsdauer des ursprünglichen Projektes:

Tunnellänge: 2.646 m

Mittlere Vortriebsgeschwindigkeit: 4,00 m/AT

$$VD = \frac{\frac{2.646 \text{ m}}{2} \times 24 \frac{h}{AT}}{4,00 \text{ m/AT}} = 7.938 \text{ h (= 331 AT)}$$

Die ursprüngliche Vortriebsdauer eines Vortriebes beträgt 7.938 h.

Der Faktor f für die Kalibrierung ergibt sich daher zu:

$$f = \frac{AW}{VD} = \frac{396,38 \text{ h}}{7.938,00 \text{ h}} = 0,0499$$

Für die Berechnung der Dauer wird die ursprüngliche Kurve mit dem erhaltenen Faktor f durch Division angepasst.

Bei der Untersuchung Tunnellänge „Drei“ wird der Stierschweifeldtunnel von einer Seite aus aufgeföhren. Die Vortriebslänge betröhgt 1.310 m (= $1.323 \times 2 \div 6.061 \times 3.000$) aus der Reduktion der Tunnellänge auf 3.000 m. Daraus ergibt sich eine Abschlagsanzahl von (mit $i = 1.310 \text{ m} \div 1,35 \text{ m/Abschlag} = 970$ Abschläge).

Die Untergrenze der Vortriebsdauer errechnet sich mit den Parametern $\tau = 2,5$ und $c = 0,01$ zu:

$$\sum_{n=0}^i \frac{1}{A(n) \times f \times 24} = \sum_{n=0}^{970} \left(\frac{1}{(2,5 + (1 - 2,5) \times e^{-0,1 \times n}) \times f \times 24} \right) = 328 \text{ AT}$$

Für die Obergrenze der Vortriebsdauer ergibt sich mit demselben Ausgangswert i (= 980) folgende Formel (mit $\tau = 1,5$ und $c = 0,01$ siehe Kapitel 2.7.1.2):

$$AW = \sum_{n=0}^i \frac{1}{A(n)} = \sum_{n=0}^{980} \left(\frac{1}{1,5 + (1 - 1,5) \times e^{-0,01 \times n}} \right) = 681,20 \text{ h}$$

Die ursprüngliche Vortriebsdauer betröhgt 331 AT (siehe Untergrenze), was umgerechnet eine Gesamtstundenanzahl von 7938 h ($h_{\text{gesamt}} = 331 \times 24$) ergibt. Der Faktor f für die Kalibrierung ergibt sich daher zu:

$$f = \frac{AW}{VD} = \frac{681,20 \text{ h}}{7938,00 \text{ h}} = 0,0858$$

Für die Berechnung der Dauer wird die ursprüngliche Kurve mit dem erhaltenen Faktor f durch Division angepasst. Daraus ergibt sich für eine Vortriebslänge von 1.310 m (siehe Untergrenze oben) folgende Vortriebsdauer:

$$\sum_{n=0}^i \frac{1}{A(n) \times f \times 24} = \sum_{n=0}^{970} \left(\frac{1}{(1,5 + (1 - 1,5) \times e^{-0,01 \times n}) \times 0,0858 \times 24} \right) = 328 \text{ AT}$$

Reiserbergtunnel

Aus dieser Abschätzung berechnet sich die Gesamtanzahl der Abschläge zu (Die Vortriebslänge ist die Tunnellänge des Reiserbergtunnels des ursprünglichen Projektes):

$$i = 1.307 \text{ m} \times \frac{1}{1,35 \text{ m/Abs.}} = 969 \text{ Abschläge}$$

Für die kürzere Bauzeit ergibt sich die Formel (siehe Kapitel 2.7.1.2) zu:

$$AW = \sum_{n=0}^i \frac{1}{A(n)} = \sum_{n=0}^{969} \left(\frac{1}{2,5 + (1 - 2,5) \times e^{-0,1 \times n}} \right) = 391,98 \text{ h}$$

Vortriebsdauer des ursprünglichen Projektes:

Tunnellänge: 1.307 m

Mittlere Vortriebsgeschwindigkeit: 4,00 m/AT

$$VD = \frac{1.307 \text{ m} \times 24 \frac{\text{h}}{\text{AT}}}{4,00 \text{ m/AT}} = 7.848 \text{ h} (= 327 \text{ AT})$$

Die ursprüngliche Vortriebsdauer des Vortriebes beträgt 7.848 h.

Der Faktor f für die Kalibrierung ergibt sich daher zu:

$$f = \frac{AW}{VD} = \frac{391,98 \text{ h}}{7.848,00 \text{ h}} = 0,0500$$

Für die Berechnung der Dauer wird die ursprüngliche Kurve mit dem erhaltenen Faktor f durch Division angepasst.

Bei der Untersuchung Tunnellänge „Drei“ wird der Reiserbergtunnel von einer Seite aus aufgefahen. Die Vortriebslänge beträgt 647 m (= 1.307 ÷ 6.061 × 3.000) aus der Reduktion der Tunnellänge auf 3.000 m. Daraus ergibt sich eine Abschlagsanzahl von (mit i = 647 m ÷ 1,35 m/Abschlag = 479 Abschlüge).

Die Untergrenze der Vortriebsdauer errechnet sich mit den Parametern $\tau = 2,5$ und $c = 0,01$ zu:

$$\sum_{n=0}^i \frac{1}{A(n) \times f \times 24} = \sum_{n=0}^{479} \left(\frac{1}{(2,5 + (1 - 2,5) \times e^{-0,1 \times n}) \times f \times 24} \right) = 164 \text{ AT}$$

Für die Obergrenze der Vortriebsdauer ergibt sich mit demselben Ausgangswert i (= 969) folgende Formel (mit $\tau = 1,5$ und $c = 0,1$ siehe Kapitel 2.7.1.2):

$$AW = \sum_{n=0}^i \frac{1}{A(n)} = \sum_{n=0}^{969} \left(\frac{1}{1,5 + (1 - 1,5) \times e^{-0,01 \times n}} \right) = 673,86 \text{ h}$$

Die ursprüngliche Vortriebsdauer beträgt 7.848 h. Der Faktor f für die Kalibrierung ergibt sich daher zu:

$$f = \frac{AW}{VD} = \frac{681,20 \text{ h}}{7.848,00 \text{ h}} = 0,0859$$

Für die Berechnung der Dauer wird die ursprüngliche Kurve mit dem erhaltenen Faktor f durch Division angepasst. Daraus ergibt sich für eine Vortriebslänge von 647 m (siehe Untergrenze oben) folgende Vortriebsdauer:

$$\sum_{n=0}^i \frac{1}{A(n) \times f \times 24} = \sum_{n=0}^{479} \left(\frac{1}{(1,5 + (1 - 1,5) \times e^{-0,01 \times n}) \times 0,0858 \times 24} \right) = 169 \text{ AT}$$

Raingrubentunnel

Aus dieser Abschätzung berechnet sich die Gesamtanzahl der Abschlüge zu (Die Vortriebslänge ist die Tunnellänge des Raingrubentunnel des ursprünglichen Projektes):

$$i = 2.108 \text{ m} \times \frac{1}{1,35 \text{ m/Abs.}} = 1.562 \text{ Abschlüge}$$

Für die kürzere Bauzeit ergibt sich die Formel (siehe Kapitel 2.7.1.2) zu:

$$AW = \sum_{n=0}^i \frac{1}{A(n)} = \sum_{n=0}^{1.562} \left(\frac{1}{2,5 + (1 - 2,5) \times e^{-0,1 \times n}} \right) = 629,18 \text{ h}$$

Vortriebsdauer des ursprünglichen Projektes:

Tunnellänge: 2.108 m

Mittlere Vortriebsgeschwindigkeit: 4,00 m/AT

$$VD = \frac{2.108 \text{ m} \times 24 \frac{\text{h}}{\text{AT}}}{4,00 \frac{\text{m}}{\text{AT}}} = 12.648 \text{ h} (= 527 \text{ AT})$$

Die ursprüngliche Vortriebsdauer eines Vortriebes beträgt 12.648 h.

Der Faktor f für die Kalibrierung ergibt sich daher zu:

$$f = \frac{AW}{VD} = \frac{629,18 \text{ h}}{12.648,00 \text{ h}} = 0,0497$$

Für die Berechnung der Dauer wird die ursprüngliche Kurve mit dem erhaltenen Faktor f durch Division angepasst.

Bei der Untersuchung Tunnellänge „Drei“ wird der Raingrubentunnel von einer Seite aus aufgeföhren. Die Vortriebslänge beträgt 1.043 m (= 2.108 ÷ 6.061 × 3.000) aus der Reduktion der Tunnellänge auf 3.000 m. Daraus ergibt sich eine Abschlagsanzahl von (mit i = 1.043 m ÷ 1,35 m/Abschlag = 773 Abschlüge).

Die Untergrenze der Vortriebsdauer errechnet sich mit den Parametern $\tau = 2,5$ und $c = 0,01$ zu:

$$\sum_{n=0}^i \frac{1}{A(n) \times f \times 24} = \sum_{n=0}^{773} \left(\frac{1}{(2,5 + (1 - 2,5) \times e^{-0,1 \times n}) \times f \times 24} \right) = 262 \text{ AT}$$

Für die Obergrenze der Vortriebsdauer ergibt sich mit demselben Ausgangswert i (= 1.562) folgende Formel (mit $\tau = 1,5$ und $c = 0,01$ siehe Kapitel 2.7.1.2):

$$AW = \sum_{n=0}^i \frac{1}{A(n)} = \sum_{n=0}^{1.562} \left(\frac{1}{1,5 + (1 - 1,5) \times e^{-0,01 \times n}} \right) = 1069,20 \text{ h}$$

Die ursprüngliche Vortriebsdauer beträgt 12.648 h (siehe Untergrenze).

Der Faktor f für die Kalibrierung ergibt sich daher zu:

$$f = \frac{AW}{VD} = \frac{1.069,20 \text{ h}}{12.648,00 \text{ h}} = 0,0845$$

Für die Berechnung der Dauer wird die ursprüngliche Kurve mit dem erhaltenen Faktor f durch Division angepasst. Daraus ergibt sich für eine Vortriebslänge von 647 m (siehe Untergrenze oben) folgende Vortriebsdauer:

$$\sum_{n=0}^i \frac{1}{A(n) \times f \times 24} = \sum_{n=0}^{773} \left(\frac{1}{(1,5 + (1 - 1,5) \times e^{-0,01 \times n}) \times 0,0845 \times 24} \right) = 264 \text{ AT}$$

Betrachtungen der mittleren Vortriebszeit aus den Ober- und Untergrenzen:

Vortriebszeit aus der Abschätzung der Einarbeitung:

Die Summe der einzelnen Vortriebsdauern beträgt 754 Arbeitstage (328 + 164 + 262) für die Untergrenze und 761 Arbeitstage (328 + 169 + 264) für die Obergrenze. Daraus ergibt sich ein Mittelwert der Vortriebszeit (aufgerundet auf ganze Arbeitstage) zu:

$$\frac{754 \text{ AT} + 761 \text{ AT}}{2} = 758 \text{ AT}$$

Die Bauzeit in Monaten wird auf halbe Monate aufgerundet:

$$\frac{758 \text{ AT}}{7 \frac{\text{AT}}{\text{Wo}} \times 4,3 \frac{\text{Wo}}{\text{Mo}}} \approx 25,5 \text{ Mo}$$

Lohnkosten – Gewerbliches Personal

Da die Vortriebsmannschaften unverändert bleiben und daher auch der Aufwandswert (€/AT), wird der Aufwand im Verhältnis von ursprünglicher zu aktueller Vortriebszeit reduziert. Die ursprüngliche Vortriebszeit ergibt sich aus der Vortriebslänge dividiert durch die mittlere Vortriebsgeschwindigkeit des Hauptvortriebes.

Ursprünglicher Aufwand: 460.500 h (siehe Anlage 3)
 Ursprüngliche Vortriebszeit: 1.516 AT (= 1.516, siehe oben)
 Neue Vortriebszeit: 758 AT (siehe oben)
 Neuer Aufwand: = $460.500 \text{ h} \times 758 \text{ AT} \div 1.516 \text{ AT} = 230.250 \text{ h}$

Lohnkosten – Bauleitung

Ursprünglicher Aufwand: 600 MaMo (siehe Anlage 3)
 Ursprüngliche Vortriebszeit: 50 Mo (siehe oben)
 Neue Vortriebszeit: 25,0 Mo (siehe oben)
 Neuer Aufwand: = $600 \text{ MaMo} \times 25 \text{ Mo} \div 50 \text{ Mo} = 300 \text{ MaMo}$

Gerätekosten

Die Gerätekosten setzen sich aus den Investitionen und den zeitgebundenen Kosten zusammen (siehe Fragebogen Perschling - Anlage 1). Die Berechnung der Dauer siehe oben. Die Gerätemiete in Euro pro Monat ist dem Fragebogen in Anlage 1 zu entnehmen.

Investitionen			=	0 €
Zeitgebundene Kosten	25,5 Mo	×	160.000 €/Mo	= 4.080.000 €
				4.080.000 €

Stützmittel

Der Aufwand der Stützmittelkosten errechnet sich aus der Tunnellänge von drei Kilometern und dem vorhandenen Umfang des Tunnelquerschnittes (38 m; siehe Anlage 1). Die Einzelkosten für die Stützmittel bleiben im Vergleich zum ursprünglichen Projekt unverändert.

Ausbruch

Der Aufwand der Kosten des Ausbruches errechnet sich aus der Tunnellänge von drei Kilometern und der vorhandenen Querschnittfläche des Tunnelquerschnittes (120 m²; siehe Anlage 1). Die Einzelkosten des Ausbruches bleiben im Vergleich zum ursprünglichen Projekt unverändert.

Zusammenfassung der Kosten

Auf der Grundlage der Angaben im Fragebogen (siehe Anlage 1) und der zugrunde Legung der neu ermittelten Lohn-, Geräte-, Stützmittel- und Ausbruchskosten wird im Folgenden eine Zusammenstellung der Kosten für das fiktive Projekt Perschling angeführt.

			Aufwand		Einzelkosten	=	Kosten
Haupttunnel	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	230.250 h	×	45 €/h	=	10.361.250 €
		Bauleitung	306 MaMo	×	10.000 €/Mo	=	3.060.000 €
	Geräte					=	4.080.000 €
	Stützmittel	(Länge × Umfang)	114.000 m ²	×	102,5 €/m ²	=	11.685.000 €
	Ausbruch	(Länge × Querschnitt)	360.000 m ³	×	10,6 €/m ³	=	3.816.000 €
							33.002.250 €
Zusatzangriff	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	0 h	×	45 €/h	=	0 €
		Bauleitung	0 MaMo	×	10.000 €/Mo	=	0 €
	Geräte					=	0 €
	Stützmittel		0 m ²	×	102,5 €/m ²	=	0 €
	Ausbruch		0 m ³	×	10,6 €/m ³	=	0 €
							0 €
							33.002.250 €

Auswertung kontinuierlicher Vortrieb Perschling – Kilometer „Drei“

Die notwendigen Vortriebstage lassen sich aus der Einarbeitungskurve, die am ursprünglich kalkulierten Vortriebsverlauf geeicht wird, ermitteln. Es wird zunächst eine Abschätzung über die Ober- und Untergrenzen der Kosten durchgeführt. Danach wird die weitere Kostenschätzung mit einem Mittelwert der Ober- und Untergrenze durchgeführt.

Vortriebsdauer – Einarbeitungszeit

Für den kontinuierlichen Vortrieb wird die Einarbeitung nach folgendem Schema durchgeführt:

Über die Formel die in Abschnitt 2.7.1.3 angegeben ist erfolgt die Abschätzung der oberen und unteren Vortriebszeit.

Stierschweiffeldtunnel

Die Vortriebsdauer errechnet sich beim Stierschweiffeldtunnel des Projektes Perschling zu 253 Arbeitstagen (2.834 m ÷ 11,19 m/AT). Der Faktor c wird für die Untergrenze mit 0,04 und für die Obergrenze mit 0,01 angenommen. Löst man die Summengleichung S(t) (siehe Kapitel 2.7.1.3) auf, so erhält man, nach dem in Kapitel 2.7.1.3 beschriebenen Ablauf, folgende Werte für a und b (b = 0,8 × a):

Vortriebszeit für die Untergrenze:

c = 0,04 (angenommener Wert)

a = 12,16

b = 9,73

Vortriebszeit für die Obergrenze:

c = 0,01 (angenommener Wert)

a = 15,80

b = 12,64

Aus der Zielwertsuche über die Summengleichung ergibt sich für die Vortriebslänge

Aus der Zielwertsuche über die Summengleichung ergibt sich für die Vortriebslänge

von 1.370 m eine Bauzeit von 133 Arbeitstagen.

von 1.370 m eine Bauzeit von 149 Arbeitstagen.

Raingrubentunnel

Die Vortriebsdauer errechnet sich beim Raingrubentunnel des Projektes Perschling zu 187 Arbeitstagen ($2.087 \text{ m} \div 11,19 \text{ m/AT}$). Der Faktor c wird für die Untergrenze mit 0,25 und für die Obergrenze mit 0,1 angenommen. Diese veränderten Werte im Vergleich zum Stierschweifeltunnel werden gewählt, da es sich beim Vortrieb des zweiten Tunnels um Wiedereinarbeitung handelt (Vgl. Wachter, 2003). Löst man die Summengleichung $S(t)$ (siehe Kapitel 2.7.1.3) auf, so erhält man, nach dem in Kapitel 2.7.1.3 beschriebenen Ablauf, folgende Werte für a und b ($b = 0,8 \times a$):

Vortriebszeit für die Untergrenze:

Vortriebszeit für die Obergrenze:

$c = 0,25$ (angenommener Wert)

$c = 0,1$ (angenommener Wert)

$a = 11,35$

$a = 11,66$

$b = 9,08$

$b = 9,33$

Aus der Zielwertsuche über die Summengleichung ergibt sich für die Vortriebslänge von 1.008 m eine Bauzeit von 92 Arbeitstagen.

Aus der Zielwertsuche über die Summengleichung ergibt sich für die Vortriebslänge von 1.008 m eine Bauzeit von 95 Arbeitstagen.

Reiserbergtunnel

Die Vortriebsdauer errechnet sich beim Reiserbergtunnel des Projektes Perschling zu 115 Arbeitstagen ($1.284 \text{ m} \div 11,19 \text{ m/AT}$). Der Faktor c wird für die Untergrenze mit 0,04 und für die Obergrenze mit 0,01 angenommen (Vgl. Raingrubentunnel). Löst man die Summengleichung $S(t)$ (siehe Kapitel 2.7.1.3) auf, so erhält man, nach dem in Kapitel 2.7.1.3 beschriebenen Ablauf, folgende Werte für a und b ($b = 0,8 \times a$):

Vortriebszeit für die Untergrenze:

Vortriebszeit für die Obergrenze:

$c = 0,04$ (angenommener Wert)

$c = 0,01$ (angenommener Wert)

$a = 11,48$

$a = 12,00$

$b = 9,19$

$b = 9,60$

Aus der Zielwertsuche über die Summengleichung ergibt sich für die Vortriebslänge von 622 m eine Bauzeit von 58 Arbeitstagen.

Aus der Zielwertsuche über die Summengleichung ergibt sich für die Vortriebslänge von 622 m eine Bauzeit von 60 Arbeitstagen.

Betrachtung des Mittelwertes der Vortriebsdauer aus der Unter- und Obergrenze

Vortriebszeit aus der Abschätzung der Einarbeitung:

Die Vortriebsdauer beträgt 283 Arbeitstage (133 + 58 + 92) für die Untergrenze und 304 Arbeitstage (149 + 60 + 95) für die Obergrenze. Daraus ergibt sich ein Mittelwert der Vortriebszeit zu:

$$\frac{283 \text{ AT} + 304 \text{ AT}}{2} = 294 \text{ AT}$$

Die Bauzeit in Monaten wird auf halbe Monate aufgerundet:

$$\frac{294 \text{ AT}}{7 \frac{\text{AT}}{\text{Wo}} \times \frac{4,3 \text{ Wo}}{\text{Mo}}} \approx 10,0 \text{ Mo}$$

Lohnkosten – Gewerbliches Personal

Die Größe der Vortriebsmannschaft verändert sich nicht und daher wird der Aufwand im Verhältnis von ursprünglicher zu aktueller Vortriebszeit angepasst.

Ursprünglicher Aufwand: 323.703 h	(siehe Anlage 3)
Ursprüngliche Vortriebszeit: 555 AT	(= 6.212 ÷ 11,19)
Neue Vortriebszeit: 294 AT	(siehe oben)
Neuer Aufwand: = 323.703 h × 294 AT ÷ 555 AT	= 171.475 h

Lohnkosten – Bauleitung

Ursprünglicher Aufwand: 315 MaMo	(siehe Anlage 3)
Ursprüngliche Vortriebszeit: 18 Mo	(= 555 ÷ (7 × 4,3))
Neue Vortriebszeit: 10,0 Mo	(siehe oben)
Neuer Aufwand: = 315 MaMo × 10 Mo ÷ 18 Mo	= 175 MaMo

Gerätekosten

Der große Anteil der Investitionen bleibt unverändert zur ursprünglichen Variante. Die zeitgebundenen Kosten werden aber der geänderten Bauzeit angepasst. Wie zuvor angeführt, beträgt die Vortriebsdauer zehn Monate. Die Gerätekosten belaufen sich auf 70.000 €/Mo (siehe Anlage 3).

Investitionen		=	12.000.000 €
Zeitgebundene Kosten	10, Mo	×	70.000 €/Mo
		=	700.000 €
			12.700.000 €

Stützmittel

Der Aufwand der Stützmittelkosten errechnet sich aus der Tunnellänge von drei Kilometern und dem vorhandenen Umfang des Tunnelquerschnittes (41 m; siehe Anlage 1). Die Einzelkosten für die Stützmittel belaufen sich für die Tunnellänge von drei Kilometern auf 126,5 €/m² (siehe Kapitel 5.1.3.2).

Ausbruch

Der Aufwand der Kosten des Ausbruches errechnet sich aus der Tunnellänge von drei Kilometern und der vorhandenen Querschnittfläche des Tunnelquerschnittes (133 m²; siehe Anlage 1). Die Einzelkosten des Ausbruches bleiben unverändert.

Vor- und Nacharbeiten

Die Kosten für die Vor- und Nacharbeiten bleiben gleich, da der Aufwand nicht von der Tunnellänge abhängig ist.

Zusammenfassung der Kosten

Auf der Grundlage der Angaben im Fragebogen (siehe Anlage 1) und der zugrunde Legung der neu ermittelten Lohn-, Geräte-, Stützmittel- und Ausbruchskosten wird im Folgenden eine Zusammenstellung der Kosten für das fiktive Projekt Perschling angeführt.

			Aufwand		Einzelkosten	=	Kosten
Haupttunnel	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	171.475 h	×	45 €/h	=	7.716.380 €
		Bauleitung	175 MaMo	×	10.000 €/Mo	=	1.750.000 €
	Geräte					=	12.700.000 €
	Stützmittel	(Länge × Umfang)	123.000 m ²	×	126,5 €/m ²	=	15.559.500 €
	Ausbruch	(Länge × Querschnitt)	399.000 m ³	×	5,5 €/m ³	=	2.194.500 €
							39.920.380 €
Vor- & Nacharbeiten	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	100.560 h	×	45 €/h	=	4.525.200 €
		Bauleitung	232 h	×	10.000 €/Mo	=	2.320.000 €
	Geräte					=	3.625.000 €
	Stützmittel					=	252.000 €
	Ausbruch					=	85.000 €
							10.807.200 €
							50.727.580 €

Auswertung zyklischer Vortrieb Wienerwald – Kilometer „Drei“

Berechnung der Vortriebsdauer

Die Vortriebsdauer wird unter Berücksichtigung der Einarbeitung berechnet. Die Lernkurve wird auf die kalkulierte Leistung kalibriert:

Es wird die Summe der Aufwandswerte ($1 \div A(n)$) der Lernkurve berechnet, wie es in Kapitel 2.7.1.2 beschrieben wurde.

Die Abschätzung der Abschlagslänge erfolgt nach einer Vorgangsweise, die auf den Angaben von Hr. DI Kopecky beruht: Im Mittel kann man von drei bis vier Abschlügen mit einer Abschlagslänge von einem bis drei Metern ausgehen. Mit der vorhandenen mittleren Vortriebsleistung von 4,59 m/AT wird die Anzahl der Abschlüge mit zirka 3 (aufgrund des kleineren Querschnittes und damit beengten Platzverhältnissen) angenommen. Daraus ergibt sich:

$$\text{Abschlagslänge} \approx \frac{4,59 \left[\frac{m}{AT} \right]}{3,0 \left[\frac{\text{Abschlüge}}{AT} \right]} = 1,53 \Rightarrow \text{Annahme: } 1,65 \text{ m/Abschlag}$$

Aus dieser Abschätzung berechnet sich die Gesamtanzahl der Abschlüge zu (Die Vortriebslänge ist die Halbe Tunnellänge. Die Eichung erfolgt auf die zwei Hauptvortriebe. Die Nebenvortriebe werden für diese Abschätzung nicht betrachtet.):

$$i = \frac{21.298 \text{ m}}{2 \times 2} \times \frac{1}{1,65 \text{ m/Abs.}} = 3.228 \text{ Abschlüge pro Vortrieb}$$

Für die kürzere Bauzeit ergibt sich die Formel (siehe Kapitel 2.7.1.2) zu:

$$AW = \sum_{n=0}^i \frac{1}{A(n)} = \sum_{n=0}^{3.228} \left(\frac{1}{2,5 + (1 - 2,5) \times e^{-0,1 \times n}} \right) = 1295,58 \text{ h}$$

Vortriebsdauer des ursprünglichen Projektes:

Tunnellänge: 21.298 m

Mittlere Vortriebsgeschwindigkeit: 4,59 m/AT

$$VD = \frac{21.298}{2 \times 2} \times 24 \frac{h}{AT} = 27.841 \text{ h (= 1160 AT)}$$

Die ursprüngliche Vortriebsdauer eines Vortriebes beträgt 27.841 h.

Der Faktor f für die Kalibrierung ergibt sich daher zu:

$$f = \frac{AW}{VD} = \frac{1295,58 \text{ h}}{27.840,52 \text{ h}} = 0,0465$$

Für die Berechnung der Dauer wird die ursprüngliche Kurve mit dem erhaltenen Faktor f durch Division angepasst.

Bei der Untersuchung Tunnellänge „Drei“ werden die drei Kilometer Vortrieb von einer Seite aus aufgeföhren. Daraus ergibt sich eine Vortriebslänge von 3.000 m (mit $i = 3.000 \text{ m} \div 1,65 \text{ m/Abschlag} = 1.819$ Abschlöße) je Vortrieb.

Die Untergrenze der Vortriebsdauer errechnet sich mit den Parametern $\tau = 2,5$ und $c = 0,01$ zu:

$$\sum_{n=0}^i \frac{1}{A(n) \times f \times 24} = \sum_{n=0}^{1.819} \left(\frac{1}{(2,5 + (1 - 2,5) \times e^{-0,1 \times n}) \times f \times 24} \right) = 656 \text{ AT}$$

Für die Obergrenze der Vortriebsdauer ergibt sich mit demselben Ausgangswert $i (= 3.228)$ folgende Formel (mit $\tau = 1,5$ und $c = 0,01$ siehe Kapitel 2.7.1.2):

$$AW = \sum_{n=0}^i \frac{1}{A(n)} = \sum_{n=0}^{3.228} \left(\frac{1}{1,5 + (1 - 1,5) \times e^{-0,01 \times n}} \right) = 2.179,86 \text{ h}$$

Die ursprüngliche Vortriebsdauer beträgt 27.841 h (siehe Untergrenze).

Der Faktor f für die Kalibrierung ergibt sich daher zu:

$$f = \frac{AW}{VD} = \frac{2.179,86}{27.840,52} = 0,0783$$

Für die Berechnung der Dauer wird die ursprüngliche Kurve mit dem erhaltenen Faktor f durch Division angepasst. Daraus ergibt sich für eine Vortriebslänge von 3.000 m (siehe Untergrenze oben) folgende Vortriebsdauer:

$$\sum_{n=0}^i \frac{1}{A(n) \times f \times 24} = \sum_{n=0}^{1.819} \left(\frac{1}{(1,5 + (1 - 1,5) \times e^{-0,01 \times n}) \times 0,09513 \times 24} \right) = 660 \text{ AT}$$

Betrachtungen der mittleren Vortriebszeit aus der Ober- und Untergrenze:

Vortriebszeit aus der Abschätzung der Einarbeitung:

Die Berechnung wird für beide Röhren durchgeführt. In der Zusammenfassung werden beide Varianten angegeben. Es wird aber in den weiteren Betrachtungen nur mehr die Kosten für eine Röhre verwendet. Die Vortriebsdauer für beide Röhren beträgt 1.312 Arbeitstage (= 2×656) für die Untergrenze und 1.320 Arbeitstage (= 2×660) für die Obergrenze. Daraus ergibt sich ein Mittelwert der Vortriebszeit zu:

$$\frac{1.312 AT + 1.320 AT}{2} = 1.316 AT$$

Die Bauzeit in Monaten wird auf halbe Monate aufgerundet:

$$\frac{1.316 AT}{7 \frac{AT}{Wo} \times \frac{4,3 Wo}{Mo}} \approx 44,0 Mo$$

Die Kostenschätzung wird zunächst für beide Röhren durchgeführt. In der Zusammenfassung sind sowohl die Variante für zwei als auch für eine Röhre angegeben.

Lohnkosten – Gewerbliches Personal

Da die Vortriebsmannschaften unverändert bleiben und daher auch der Aufwandswert (€/AT), wird der Aufwand im Verhältnis von ursprünglicher zu aktueller Vortriebszeit reduziert. Die ursprüngliche Vortriebszeit ergibt sich aus der Vortriebslänge dividiert durch die mittlere Vortriebsgeschwindigkeit des Hauptvortriebes.

Ursprünglicher Aufwand: 1.389.888 h (siehe Anlage 4)
 Ursprüngliche Vortriebszeit: 4.640 AT (= 4 × 1.160, siehe oben)
 Neue Vortriebszeit: 1.316 AT (= 2 × 658; siehe oben)
 Neuer Aufwand: = 138.888 h × 1.316 AT ÷ 4.316 AT = 394.201 h

Lohnkosten – Bauleitung

Ursprünglicher Aufwand: 1.308 MaMo (siehe Anlage 4)
 Ursprüngliche Vortriebszeit: 154 Mo (aus 4.640 ÷ (7 × 4,3))
 Neue Vortriebszeit: 44,0 Mo (= 2 × 22; siehe oben)
 Neuer Aufwand: = 1.308 MaMo × 44 Mo ÷ 154 Mo = 374 MaMo

Gerätekosten

Die Gerätekosten setzen sich aus den Investitionen (Anpassung auf 50 % der ursprünglichen Kosten aufgrund der Reduzierung von zwei Hauptvortrieben und einem Nebenvortrieb auf einen Hauptvortrieb) und den zeitgebundenen Kosten zusammen (siehe Fragebogen Wienerwald - Anlage 1). Die Dauer ergibt sich aus der Abschätzung von zuvor. Die Gerätemiete in Euro pro Monat ist dem Fragebogen in Anlage 1 zu entnehmen.

Investitionen		=	2.000.000 €
Zeitgebundene Kosten	44,0 Mo × 77.500 €/Mo	=	3.410.000 €
			5.410.000 €

Stützmittel

Der Aufwand der Stützmittelkosten errechnet sich aus der Tunnellänge von drei Kilometern und dem vorhandenen Umfang des Tunnelquerschnittes (29 m; siehe Anlage 1). Die Einzelkosten für die Stützmittel bleiben im Vergleich zum ursprünglichen Projekt unverändert.

Ausbruch

Der Aufwand der Kosten des Ausbruches errechnet sich aus der Tunnellänge von drei Kilometern und der vorhandenen Querschnittfläche des Tunnelquerschnittes (77 m²; siehe Anlage 1). Die Einzelkosten des Ausbruches bleiben im Vergleich zum ursprünglichen Projekt unverändert.

Zusammenfassung der Kosten

Auf der Grundlage der Angaben im Fragebogen (siehe Anlage 1) und der zugrunde Legung der neu ermittelten Lohn-, Geräte-, Stützmittel- und Ausbruchskosten wird im Folgenden eine Zusammenstellung der Kosten für das fiktive Projekt Wienerwald angeführt.

			Aufwand	Einzelkosten	=	Kosten (2 Röhren)	Kosten (1 Röhre)
Haupttunnel	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	394.201 h	× 45 €/h	=	17.739.045 €	8.869.522 €
		Bauleitung	374 MaMo	× 10.000 €/Mo	=	3.737.143 €	1.868.571 €
	Geräte				=	5.410.000 €	2.705.000 €
	Stützmittel	(Länge × Umfang)	174.000 m ²	× 108,5 €/m ²	=	18.879.000 €	9.439.500 €
	Ausbruch	(Länge × Querschnitt)	462.000 m ³	× 10,6 €/m ³	=	4.897.200 €	2.448.600 €
						50.662.388 €	25.331.194 €
Zusatzangriff	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	0 h	× 45 €/h	=	0 €	0.000 €
		Bauleitung	0 MaMo	× 10.000 €/Mo	=	0 €	0.000 €
	Geräte				=	0 €	0.000 €
	Stützmittel		0 m ²	× 108,5 €/m ²	=	0 €	0.000 €
	Ausbruch		0 m ³	× 10,6 €/m ³	=	0 €	0.000 €
						0 €	0 €
						50.662.388 €	25.331.194 €

Auswertung kontinuierlicher Vortrieb Wienerwald – Kilometer „Drei“

Die notwendigen Vortriebstage lassen sich aus der Einarbeitungskurve, die am ursprünglich kalkulierten Vortriebsverlauf geeicht wird, ermitteln. Es wird zunächst eine Abschätzung über eine Ober- und eine Untergrenze der Kosten berechnet. Danach wird die weitere Kostenschätzung mit einem Mittelwert der Ober- und Untergrenze durchgeführt. Die Kostenschätzung behandelt zunächst zwei Röhren. In der Zusammenfassung sind danach beide Varianten (2 Röhren und eine Röhre angeführt).

Vortriebsdauer – Einarbeitungszeit

Für den kontinuierlichen Vortrieb wird die Einarbeitung nach folgendem Schema durchgeführt:

Über die Formel die in Abschnitt 2.7.1.3 angegeben ist erfolgt die Abschätzung der oberen und unteren Vortriebszeit.

Die Vortriebsdauer errechnet sich beim Projekt Wienerwald zu 600 Arbeitstagen ($10.735 \text{ m} \div 17,89 \text{ m/AT}$). Der Faktor c wird für die Untergrenze mit 0,04 und für die Obergrenze mit 0,01 angenommen. Löst man die Summengleichung $S(t)$ (siehe Kapitel 2.7.1.3) auf, so erhält man, nach dem in Kapitel 2.7.1.3 beschriebenen Ablauf, folgende Werte für a und b ($b = 0,8 \times a$):

Vortriebszeit für die Untergrenze:

$c = 0,04$ (angenommener Wert)

$a = 18,51$

$b = 14,81$

Aus der Zielwertsuche über die Summengleichung ergibt sich für die Vortriebslänge von 3.000 m eine Bauzeit von 183 Arbeitstagen.

Vortriebszeit für die Obergrenze:

$c = 0,01$ (angenommener Wert)

$a = 20,64$

$b = 16,51$

Aus der Zielwertsuche über die Summengleichung ergibt sich für die Vortriebslänge von 3.000 m eine Bauzeit von 217 Arbeitstagen.

Betrachtung des Mittelwertes der Vortriebsdauer aus der Unter- und Obergrenze

Vortriebszeit aus der Abschätzung der Einarbeitung:

Die gesamte Vortriebsdauer beträgt 366 Arbeitstage ($= 2 \times 183$) für die Untergrenze und 434 Arbeitstage ($= 2 \times 217$) für die Obergrenze. Daraus ergibt sich ein Mittelwert der Vortriebszeit zu:

$$\frac{366 \text{ AT} + 434 \text{ AT}}{2} = 400 \text{ AT}$$

Die Bauzeit in Monaten wird auf halbe Monate aufgerundet:

$$\frac{400 \text{ AT}}{7 \frac{\text{AT}}{\text{Wo}} \times 4,3 \frac{\text{Wo}}{\text{Mo}}} \approx 13,5 \text{ Mo}$$

Lohnkosten – Gewerbliches Personal

Die Größe der Vortriebsmannschaft verändert sich nicht und daher wird der Aufwand im Verhältnis von ursprünglicher zu aktueller Vortriebszeit angepasst.

Ursprünglicher Aufwand: 652.800 h (siehe Anlage 4)

Ursprüngliche Vortriebszeit: 1.200 AT (= 2×600 , siehe oben)

Neue Vortriebszeit: 400 AT (= 2×200 , siehe oben)

Neuer Aufwand: = $652.800 \text{ h} \times 400 \text{ AT} \div 1.200 \text{ AT} = 217.600 \text{ h}$

Lohnkosten – Bauleitung

Ursprünglicher Aufwand: 400 MaMo (siehe Anlage 4)
 Ursprüngliche Vortriebszeit: 40 Mo (aus $1.200 \div (7 \times 4,3)$)
 Neue Vortriebszeit: 13,5 Mo (siehe oben)
 Neuer Aufwand: $= 400 \times 13,5 \div 40 = 135$ MaMo

Gerätekosten

Der große Anteil der Investitionen bleibt unverändert zur ursprünglichen Variante. Die zeitgebundenen Kosten werden aber der geänderten Bauzeit angepasst. Wie zuvor angeführt, beträgt die Vortriebsdauer sieben Monate. Die Gerätekosten belaufen sich auf 130.000 €/Mo (siehe Anlage 4). Diese werden halbiert, da die Bauzeit schon zwei Tunnelröhren berücksichtigt (= 65.000 €/Mo.Röhre).

Investitionen		=	20.000.000 €
Zeitgebundene Kosten	13,5 Mo	×	65.000 €/Mo
		=	877.500 €
			20.877.500 €

Stützmittel

Der Aufwand der Stützmittelkosten errechnet sich aus der Tunnellänge von drei Kilometern und dem vorhandenen Umfang des Tunnelquerschnittes (33,6 m; siehe Anlage 1). Die Einzelkosten für die Stützmittel belaufen sich für die Tunnellänge von drei Kilometern auf 126,5 €/m² (siehe Kapitel 5.1.3.2).

Ausbruch

Der Aufwand der Kosten des Ausbruches errechnet sich aus der Tunnellänge von drei Kilometern und der vorhandenen Querschnittfläche des Tunnelquerschnittes (89 m²; siehe Anlage 1). Die Einzelkosten des Ausbruches bleiben im Vergleich zum ursprünglichen Projekt unverändert.

Vor- und Nacharbeiten

Die Kosten für die Vor- und Nacharbeiten bleiben gleich, da der Aufwand nicht von der Tunnellänge abhängig ist.

Zusammenfassung der Kosten

Auf der Grundlage der Angaben im Fragebogen (siehe Anlage 1) und der zugrunde Legung der neu ermittelten Lohn-, Geräte-, Stützmittel- und Ausbruchskosten wird im Folgenden eine Zusammenstellung der Kosten für das fiktive Projekt Wienerwald angeführt.

			Aufwand		Einzelkosten	=	Kosten (2 Röhren)	Kosten (1 Röhre)
Haupttunnel	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	217.600 h	×	45 €/h	=	9.792.000 €	4.896.000 €
		Bauleitung	135 MaMo	×	10.000 €/Mo	=	1.350.000 €	675.000 €
	Geräte					=	20.877.500 €	10.438.750 €
	Stützmittel	(Länge × Umfang)	201.600 m ²	×	126,5 €/m ²	=	25.502.400 €	12.751.200 €
	Ausbruch	(Länge × Querschnitt)	534.000 m ³	×	5,4 €/m ³	=	2.883.600 €	1.441.800 €
							60.405.500 €	30.202.750 €
Vor- & Nacharbeiten	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	67.912 h	×	45 €/h	=	3.056.040 €	1.528.020 €
		Bauleitung	118 MaMo	×	10.000 €/Mo	=	1.180.000 €	590.000 €
	Geräte					=	3.717.500 €	1.858.750 €
	Stützmittel					=	130.000 €	65.000 €
	Ausbruch					=	40.000 €	20.000 €
							8.123.540 €	4.061.770 €
							68.529.040 €	34.264.520 €

Anlage 7: Kostenschätzung der Tunnellänge „Sechs“

Auswertung zyklischer Vortrieb Wienerwald – Kilometer „Sechs“

Die Vortriebslänge ist der Mittelwert aus den beiden Längen der beiden anderen Projekte. Der Mittelwert für diese Bewertung ergibt sich mit den beiden Vortriebslängen von 6.061 m (Perschling) und 6.531 m (Pfänder) zu 6.296 m. Die Kostenschätzung wird zunächst für das ursprüngliche Tunnelsystem (2 Röhren). In der Zusammenfassung sind danach die Kosten für beide Varianten (2 Röhren und 1 Röhre) angegeben (In der Auswertung wird nur die Variante mit einer Röhre betrachtet.).

Vortriebsdauer – Einarbeitungszeit

Aus der Einarbeitung ergeben sich daraus folgende Vortriebszeiten:

Der Vortrieb erfolgt von einer Seite, d.h. jede Röhre wird 6.296 m aufgefahren. Anzahl der Abschlüge: $6.296 \text{ m} \div 1,65 \text{ m/Abschlag} = 3.816$ Abschlüge pro Vortrieb

Aufgrund der unterschiedlichen Lernkurven ergibt sich die längere Vortriebszeit nun aus folgender Formel (Die Ermittlung der Grunddaten ist in Anlage 6 dargestellt):

$$\sum_{n=0}^i \frac{1}{A(n) \times f \times 24} = \sum_{n=0}^{3.816} \left(\frac{1}{(2,5 + (1 - 2,5) \times e^{-0,1 \times n}) \times 0,04654 \times 24} \right) = 1.371 \text{ AT}$$

Für die kürzere Vortriebsdauer ergibt sich folgende Auswertung:

$$\sum_{n=0}^i \frac{1}{A(n) \times f \times 24} = \sum_{n=0}^{3.816} \left(\frac{1}{(1,5 + (1 - 1,5) \times e^{-0,01 \times n}) \times 0,07830 \times 24} \right) = 1.285 \text{ AT}$$

Daraus ergibt sich ein Mittelwert, der auf ganze Tage aufgerundet wird: 1.328 Arbeitstage

$$\frac{1.285 \text{ AT} + 1.371 \text{ AT}}{2} = 1.328 \text{ AT}$$

Die Bauzeit in Monaten wird auf halbe Monate aufgerundet:

$$\frac{1.328 \text{ AT}}{7 \frac{\text{AT}}{\text{Wo}} \times 4,3 \frac{\text{Wo}}{\text{Mo}}} \approx 44,5 \text{ Mo}$$

Lohnkosten – Gewerbliches Personal

Die Lohnkosten werden wiederum über die Reduktion des Aufwandes über die kürzere Vortriebszeit berechnet. Die gesamte Vortriebsdauer setzt sich aus der zweifachen mittleren Vortriebsdauer einer Röhre zusammen ($2 \times 1.328 = 2.656 \text{ AT}$)

Ursprünglicher Aufwand: 1.389.888 h (siehe Anlage 4)
 Ursprüngliche Vortriebszeit: 4.640 AT (siehe Anlage 4)
 Neue Vortriebszeit: 2.656 AT (= 2 × 1328; siehe oben)
 Neuer Aufwand: = 138.888 h × 2.656 AT ÷ 4.656 AT = 795.591 h

Lohnkosten – Bauleitung

Ursprünglicher Aufwand: 1.308 MaMo (siehe Anlage 4)
 Ursprüngliche Vortriebszeit: 153 Mo (aus 4.640 ÷ (7 × 4,3))
 Neue Vortriebszeit: 89,0 Mo (= 2 × 44,5; siehe oben)
 Neuer Aufwand: = 1.308 MaMo × 89 Mo ÷ 153 Mo = 761 MaMo

Gerätekosten

Die Investitionskosten der Geräte werden halbiert, da nur mehr die Hälfte der Hauptvortriebe vorhanden ist, und für die Nebenvortriebe keine Investitionen getätigt werden müssen.

Investitionen			=	2.000.000 €
Zeitgebundene Kosten	89,0 Mo	×	155.000 €/Mo	= 13.795.000 €
				15.795.000 €

Zusatzangriff

Der Zusatzangriff wird in diesem Projekt nicht berücksichtigt.

Zusammenfassung der Kosten

Auf der Grundlage der Angaben im Fragebogen (siehe Anlage 1) und der zugrunde Legung der neu ermittelten Lohn-, Geräte-, Stützmittel- und Ausbruchskosten wird im Folgenden eine Zusammenstellung der Kosten für das fiktive Projekt Wienerwald angeführt.

			Aufwand		Einzelkosten	=	Kosten (2 Röhren)	Kosten (1 Röhre)
Haupttunnel	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	795.591 h	×	45 €/h	=	35.801.598 €	17.900.799 €
		Bauleitung	761 MaMo	×	10.000 €/Mo	=	7.608.627 €	3.804.314 €
	Geräte					=	15.795.000 €	7.897.500 €
	Stützmittel	(Länge × Umfang)	365.168 m ²	×	108,5 €/m ²	=	39.620.728 €	19.810.364 €
	Ausbruch	(Länge × Querschnitt)	969.584 m ³	×	10,6 €/m ³	=	10.277.590 €	5.138.795 €
							109.103.544 €	54.551.772 €
Zusatzangriff	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	0 h	×	45 €/h	=	0 €	0.000 €
		Bauleitung	0 MaMo	×	10.000 €/Mo	=	0 €	0.000 €
	Geräte					=	0 €	0.000 €
	Stützmittel		0 m ²	×	108,5 €/m ²	=	0 €	0.000 €
	Ausbruch		0 m ³	×	10,6 €/m ³	=	0 €	0.000 €
							0 €	0 €
							109.103.544 €	54.551.772 €

Auswertung kontinuierlicher Vortrieb Wienerwald – Kilometer „Sechs“

Die Vortriebslänge ist der Mittelwert aus den beiden Längen der beiden anderen Projekte. Aus den Vortriebslängen von 6.212 m (Perschling) und 6.413 m (Pfänder) ergibt sich ein Mittelwert von 6.312,5 m. Die Kostenschätzung wird zunächst für das ursprüngliche Tunnel-system (2 Röhren). In der Zusammenfassung sind danach die Kosten für beide Varianten (2 Röhren und 1 Röhre) angegeben (In der Auswertung wird nur die Variante mit einer Röhre betrachtet.).

Vortriebszeit – Einarbeitung

Wie bei den übrigen Projekten wird auch hier die Einarbeitungszeit berücksichtigt. Mit den kalibrierten Werten (Vgl. Anlage 4) ergeben sich folgende Lösungen für die beiden Varianten:

Untergrenze:

$$c = 0,04$$

$$a = 18,51$$

$$b = 14,81$$

Für die aktuelle Vortriebslänge von 6.312,5 m erhält man als neue Vortriebszeit 361 Arbeitstage.

Obergrenze:

$$c = 0,01$$

$$a = 20,64$$

$$b = 16,51$$

Für die aktuelle Vortriebslänge von 6.312,5 m erhält man als neue Vortriebszeit 384 Arbeitstage.

Betrachtung des Mittelwertes der Vortriebsdauer aus der Unter- und Obergrenze

Vortriebszeit aus der Abschätzung der Einarbeitung:

Die gesamte Vortriebsdauer beträgt 722 Arbeitstage (= 2 × 361) für die Untergrenze und 768 Arbeitstage (= 2 × 384) für die Obergrenze. Daraus ergibt sich ein Mittelwert der Vortriebsdauer zu:

$$\frac{722 \text{ AT} + 768 \text{ AT}}{2} = 746 \text{ AT}$$

Die Bauzeit in Monaten wird auf halbe Monate aufgerundet:

$$\frac{746 \text{ AT}}{7 \frac{\text{AT}}{\text{Wo}} \times 4,3 \frac{\text{Wo}}{\text{Mo}}} \approx 25,0 \text{ Mo}$$

Lohnkosten – Gewerbliches Personal

Die Größe der Vortriebsmannschaft verändert sich nicht und daher wird der Aufwand im Verhältnis von ursprünglicher zu aktueller Vortriebszeit angepasst.

Ursprünglicher Aufwand: 652.800 h (siehe Anlage 4)
 Ursprüngliche Vortriebszeit: 1.200 AT (siehe Anlage 4)
 Neue Vortriebszeit: 746 AT (= 2 × 373; siehe oben)
 Neuer Aufwand: = 652.800 h × 746 AT ÷ 1.746 AT = 405.824 h

Lohnkosten – Bauleitung

Ursprünglicher Aufwand: 400 MaMo (siehe Anlage 4)
 Ursprüngliche Vortriebszeit: 40 Mo (aus 1.200 ÷ (7 × 4,3))
 Neue Vortriebszeit: 25,0 Mo (= 2 × 12,5; siehe oben)
 Neuer Aufwand: = 400 MaMo × 25 Mo ÷ 40 Mo = 250 MaMo

Gerätekosten

Der große Anteil der Investitionen bleibt unverändert zur ursprünglichen Variante. Die zeitgebundenen Kosten werden aber der geänderten Bauzeit angepasst. Wie zuvor angeführt, beträgt die Vortriebsdauer sieben Monate. Die Gerätekosten belaufen sich auf 130.000 €/Mo (siehe Anlage 4). Diese werden halbiert, da die Bauzeit schon zwei Tunnelröhren berücksichtigt (= 65.000 €/Mo.Röhre).

Investitionen				=	20.000.000 €
Zeitgebundene Kosten	12,5 Mo	×	65.000 €/Mo	=	812.500 €
					20.812.500 €

Stützmittel

Der Aufwand der Stützmittelkosten errechnet sich aus der Tunnellänge von drei Kilometern und dem vorhandenen Umfang des Tunnelquerschnittes (33,6 m; siehe Anlage 1). Die Einzelkosten für die Stützmittel belaufen sich für die Tunnellänge von drei Kilometern auf 109,8 €/m² (siehe Kapitel 5.1.3.2).

Ausbruch

Der Aufwand der Kosten des Ausbruches errechnet sich aus der Tunnellänge von drei Kilometern und der vorhandenen Querschnittfläche des Tunnelquerschnittes (89 m²; siehe Anlage 1). Die Einzelkosten des Ausbruches bleiben im Vergleich zum ursprünglichen Projekt unverändert.

Vor- und Nacharbeiten

Die Kosten für die Vor- und Nacharbeiten bleiben gleich, da der Aufwand nicht von der Tunnellänge abhängig ist.

Zusammenfassung der Kosten

Auf der Grundlage der Angaben im Fragebogen (siehe Anlage 1) und der zugrunde Legung der neu ermittelten Lohn-, Geräte-, Stützmittel- und Ausbruchskosten wird im Folgenden eine Zusammenstellung der Kosten für das fiktive Projekt Wienerwald angeführt.

			Aufwand		Einzelkosten	=	Kosten (2 Röhren)	Kosten (1 Röhre)	
Haupttunnel	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	405.824 h	×	45 €/h	=	18.262.080 €	9.131.040 €	
		Bauleitung	250 MaMo	×	10.000 €/Mo	=	2.500.000 €	1.250.000 €	
		Geräte				=	20.812.500 €	10.406.250 €	
		Stützmittel	(Länge × Umfang)	424.200 m ²	×	109,8 €/m ²	=	46.577.160 €	23.288.580 €
		Ausbruch	(Länge × Querschnitt)	1.123.625 m ³	×	5,4 €/m ³	=	6.067.575 €	3.033.788 €
							94.219.315 €	47.109.658 €	
Vor- & Nacharbeiten	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	67.912 h	×	45 €/h	=	3.056.040 €	1.528.020 €	
		Bauleitung	118 MaMo	×	10.000 €/Mo	=	1.180.000 €	590.000 €	
		Geräte				=	3.717.500 €	1.858.750 €	
		Stützmittel				=	130.000 €	65.000 €	
		Ausbruch				=	40.000 €	20.000 €	
							8.123.540 €	4.061.770 €	
						102.342.855 €	51.171.428 €		

Anlage 8: Kostenschätzung der Tunnellänge „Elf“

Auswertung zyklischer Vortrieb Pfänder – Kilometer „Elf“

Als Vortriebslänge wird die des Projektes Wienerwald angenommen. Für den zyklischen Vortrieb ergibt sich diese zu 10.649 m.

Berechnung der Vortriebsdauer

Die Vortriebsdauer wird unter Berücksichtigung der Einarbeitung berechnet. Die Lernkurve wurde schon in Anlage 6 kalibriert.

Bei der Untersuchung Tunnellänge „Elf“ werden die rund elf Kilometer Vortrieb von zwei Seiten aus aufgeföhren. Die gesamte Vortriebslänge ist wie oben erwähnt 10.649 m (mit $i = 5.324,5 \text{ m} \div 1,50 \text{ m/Abschlag} = 3.550$ Abschlöße) je Vortrieb.

Die Obergrenze der Vortriebsdauer errechnet sich mit den Parametern $\tau = 2,5$ und $c = 0,01$ zu:

$$\sum_{n=0}^i \frac{1}{A(n) \times f \times 24} = \sum_{n=0}^{3.550} \left(\frac{1}{(2,5 + (1 - 2,5) \times e^{-0,1 \times n}) \times 0,0563 \times 24} \right) = 1.055 \text{ AT}$$

Für die Untergrenze der Vortriebsdauer ergibt sich mit demselben Ausgangswert $i (= 3.550;$ siehe oben) folgende Formel (mit $\tau = 1,5$ und $c = 0,1$ siehe Kapitel 2.7.1.2):

$$\sum_{n=0}^i \frac{1}{A(n) \times f \times 24} = \sum_{n=0}^{3.550} \left(\frac{1}{(1,5 + (1 - 1,5) \times e^{-0,01 \times n}) \times 0,09513 \times 24} \right) = 1.049 \text{ AT}$$

Betrachtungen der mittleren Vortriebszeit aus der Ober- und Untergrenze:

Vortriebszeit aus der Abschätzung der Einarbeitung:

Die Vortriebsdauer beträgt 1.049 Arbeitstage für die Untergrenze und 1.055 Arbeitstage für die Obergrenze. Daraus ergibt sich ein Mittelwert der Vortriebszeit zu:

$$\frac{1.049 \text{ AT} + 1.055 \text{ AT}}{2} = 1.052 \text{ AT}$$

Die Bauzeit in Monaten wird auf halbe Monate aufgerundet:

$$\frac{1.052 \text{ AT}}{7 \frac{\text{AT}}{\text{Wo}} \times 4,3 \frac{\text{Wo}}{\text{Mo}}} \approx 35,0 \text{ Mo}$$

Lohnkosten – Gewerbliches Personal

Da die Vortriebsmannschaften unverändert bleiben und daher auch der Aufwandswert (€/AT), wird der Aufwand im Verhältnis von ursprünglicher zu aktueller Vortriebszeit redu-

ziert. Die ursprüngliche Vortriebsdauer ergibt sich aus der Vortriebslänge dividiert durch die mittlere Vortriebsgeschwindigkeit des Hauptvortriebes (siehe Anlage 6).

Ursprünglicher Aufwand: 480.624 h (siehe Anlage 2)
 Ursprüngliche Vortriebszeit: 1.296 AT (siehe Anlage 2)
 Neue Vortriebszeit: 2.104 AT (= 2 × 1052; siehe oben)
 Neuer Aufwand: = 480.624 h × 2.104 AT ÷ 1.296 AT = 780.272 h

Lohnkosten – Bauleitung

Ursprünglicher Aufwand: 753 MaMo (siehe Anlage 2)
 Ursprüngliche Vortriebszeit: 43 Mo (aus 1.296 ÷ (7 × 4,3))
 Neue Vortriebszeit: 70,0 Mo (= 2 × 35; siehe oben)
 Neuer Aufwand: = 753 MaMo × 70 Mo ÷ 43 Mo = 1.226 MaMo

Gerätekosten

Die Gerätekosten setzen sich aus den Investitionen und den zeitgebundenen Kosten zusammen (siehe Fragebogen Pfänder - Anlage 1). Die Berechnung der Dauer siehe oben. Die Gerätemiete in Euro pro Monat ist dem Fragebogen in Anlage 1.

Investitionen		=	2.000.000 €
Zeitgebundene Kosten	70,0 Mo × 160.000 €/Mo	=	11.200.000 €
			13.200.000 €

Stützmittel

Der Aufwand der Stützmittelkosten errechnet sich aus der Tunnellänge von drei Kilometern und dem vorhandenen Umfang des Tunnelquerschnittes (24 m; siehe Anlage 1). Die Einzelkosten für die Stützmittel ändern sich auf 89,5 m² (siehe Kapitel 5.2.1.3.2).

Ausbruch

Der Aufwand der Kosten des Ausbruches errechnet sich aus der Tunnellänge von drei Kilometern und der vorhandenen Querschnittfläche des Tunnelquerschnittes (105 m²; siehe Anlage 1). Die Einzelkosten des Ausbruches bleiben im Vergleich zum ursprünglichen Projekt unverändert.

Zusammenfassung der Kosten

Auf der Grundlage der Angaben im Fragebogen (siehe Anlage 1) und der zugrunde Legung der neu ermittelten Lohn-, Geräte-, Stützmittel- und Ausbruchskosten wird im Folgenden eine Zusammenstellung der Kosten für das fiktive Projekt Pfänder angeführt.

			Aufwand		Einzelkosten	=	Kosten
Haupttunnel	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	780.272 h	×	45 €/h	=	35.112.253 €
		Bauleitung	1.226 MaMo	×	10.000 €/Mo	=	12.258.140 €
	Geräte					=	13.200.000 €
	Stützmittel	(Länge × Umfang)	255.576 m ²	×	89,5 €/m ²	=	22.874.052 €
	Ausbruch	(Länge × Querschnitt)	1.118.145 m ³	×	13,8 €/m ³	=	15.430.401 €
							98.874.846 €
Zusatzangriff	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	0 h	×	45 €/h	=	0 €
		Bauleitung	0 MaMo	×	10.000 €/Mo	=	0 €
	Geräte					=	0 €
	Stützmittel		0 m ²	×	89,5 €/m ²	=	0 €
	Ausbruch		0 m ³	×	13,8 €/m ³	=	0 €
							0 €
							98.874.846 €

Auswertung kontinuierlicher Vortrieb Pfänder – Kilometer „Elf“

Die Vortriebslänge wird vom Projekt Wienerwald (kontinuierlicher Vortrieb) übernommen. Diese ergibt sich damit zu 10.734,5 m. Die notwendigen Vortriebstage lassen sich aus der Einarbeitungskurve, die am ursprünglich kalkulierten Vortriebsverlauf geeicht wird, ermitteln. Es wird zunächst eine Abschätzung über eine Ober- und eine Untergrenze der Vortriebsdauer berechnet. Danach wird die weitere Kalkulation mit einem Mittelwert der Ober- und Untergrenze durchgeführt.

Vortriebsdauer – Einarbeitungszeit

Für den kontinuierlichen Vortrieb wird die Einarbeitung nach dem Schema, das in Anlage 6 verwendet wird, durchgeführt. Die Grundlegenden Berechnungen ebenda dargestellt.

Über die Formel die in Abschnitt 2.7.1.3 angegeben ist erfolgt die Abschätzung der oberen und unteren Vortriebszeit.

Die Auflösung der Summgleichung $S(t)$ (siehe Kapitel 2.7.1.3) mit den übernommenen Faktoren aus Anlage 6, ergibt folgende Vortriebszeiten.

Vortriebszeit für die Obergrenze:

$c = 0,04$ (angenommener Wert)

$a = 17,47$

$b = 13,98$

Aus der Zielwertsuche über die Summgleichung ergibt sich für die Vortriebslänge von 10.734,5 m eine Bauzeit von 635 Arbeitstagen.

Vortriebszeit für die Untergrenze:

$c = 0,01$ (angenommener Wert)

$a = 20,77$

$b = 16,62$

Aus der Zielwertsuche über die Summgleichung ergibt sich für die Vortriebslänge von 10.734,5 m eine Bauzeit von 597 Arbeitstagen.

Betrachtung des Mittelwertes der Vortriebsdauer aus der Unter- und Obergrenze

Vortriebszeit aus der Abschätzung der Einarbeitung:

Die Vortriebsdauer beträgt 597 Arbeitstage für die Untergrenze und 635 Arbeitstage für die Obergrenze. Daraus ergibt sich ein Mittelwert der Vortriebszeit zu:

$$\frac{597 \text{ AT} + 635 \text{ AT}}{2} = 616 \text{ AT}$$

Die Bauzeit in Monaten wird auf halbe Monate aufgerundet:

$$\frac{616 \text{ AT}}{7 \frac{\text{AT}}{\text{Wo}} \times 4,3 \frac{\text{Wo}}{\text{Mo}}} \approx 20,5 \text{ Mo}$$

Lohnkosten – Gewerbliches Personal

Die Größe der Vortriebsmannschaft verändert sich nicht und daher wird der Aufwand im Verhältnis von ursprünglicher zu aktueller Vortriebszeit angepasst.

Ursprünglicher Aufwand: 191.952 h	(siehe Anlage 2)
Ursprüngliche Vortriebszeit: 387 AT	(siehe Anlage 2)
Neue Vortriebszeit: 616 AT	(= 1 × 616; siehe oben)
Neuer Aufwand: = 191.952 h × 616 AT ÷ 387 AT	= 305.536 h

Lohnkosten – Bauleitung

Ursprünglicher Aufwand: 195 MaMo	(siehe Anlage 2)
Ursprüngliche Vortriebszeit: 13 Mo	(aus 387 ÷ (7 × 4,3))
Neue Vortriebszeit: 20,5 Mo	(= 1 × 20,5; siehe oben)
Neuer Aufwand: = 195 MaMo × 20,5 Mo ÷ 13 Mo	= 3.308 MaMo

Gerätekosten

Der große Anteil der Investitionen bleibt unverändert zur ursprünglichen Variante. Die zeitgebundenen Kosten werden aber der geänderten Bauzeit angepasst. Wie zuvor angeführt, beträgt die Vortriebsdauer sieben Monate. Die Gerätekosten belaufen sich auf 70.000 €/Mo (siehe Anlage 2).

Investitionen	=	12.981.000 €
Zeitgebundene Kosten	20,5 Mo × 70.000 €/Mo	= 1.435.000 €
		14.416.000 €

Stützmittel

Der Aufwand der Stützmittelkosten errechnet sich aus der Tunnellänge von drei Kilometern und dem vorhandenen Umfang des Tunnelquerschnittes (37 m; siehe Anlage 1). Die Einzelkosten für die Stützmittel belaufen sich für die Tunnellänge von elf Kilometern auf 97,5 €/m² (siehe Kapitel 5.1.3.2).

Ausbruch

Der Aufwand der Kosten des Ausbruches errechnet sich aus der Tunnellänge von drei Kilometern und der vorhandenen Querschnittfläche des Tunnelquerschnittes (111 m²; siehe Anlage 1). Die Einzelkosten des Ausbruches bleiben im Vergleich zum ursprünglichen Projekt unverändert.

Vor- und Nacharbeiten

Die Kosten für die Vor- und Nacharbeiten bleiben gleich, da der Aufwand nicht von der Tunnellänge abhängig ist.

Zusammenfassung der Kosten

Auf der Grundlage der Angaben im Fragebogen (siehe Anlage 1) und der zugrunde Legung der neu ermittelten Lohn-, Geräte-, Stützmittel- und Ausbruchskosten wird im Folgenden eine Zusammenstellung der Kosten für das fiktive Projekt Pfänder angeführt.

			Aufwand		Einzelkosten	=	Kosten
Haupttunnel	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	305.536 h	×	45 €/h	=	13.749.120 €
		Bauleitung	308 MaMo	×	10.000 €/Mo	=	3.075.000 €
	Geräte					=	14.416.000 €
	Stützmittel	(Länge × Umfang)	397.177 m ²	×	97,5 €/m ²	=	38.724.709 €
	Ausbruch	(Länge × Querschnitt)	1.191.530 m ³	×	5,2 €/m ³	=	6.195.953 €
							76.160.782 €
Vor- & Nacharbeiten	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	75.600 h	×	45 €/h	=	3.402.000 €
		Bauleitung	150 MaMo	×	10.000 €/Mo	=	1.500.000 €
	Geräte					=	4.715.000 €
	Stützmittel					=	401.000 €
	Ausbruch					=	187.000 €
							10.205.000 €
							86.365.782 €

Auswertung zyklischer Vortrieb Perschling – Kilometer „Elf“

Die untersuchte Projektlänge wird vom Projekt Wienerwald übernommen (10.649 m).

Berechnung der Vortriebsdauer

Die Vortriebsdauer wird unter Berücksichtigung der Einarbeitung berechnet. Die Lernkurve wurde schon in Anlage 6 auf die kalkulierte Leistung kalibriert. Die grundlegenden Berechnungen sind dieser Anlage zu entnehmen. Es erfolgt im Weiteren nur mehr eine Berechnung der Vortriebsdauer für die drei Tunnelbauwerke des Projektes Perschling.

Stierschweiffeldtunnel

Bei der Untersuchung Tunnellänge „Elf“ wird der Stierschweiffeldtunnel von zwei Seiten aus aufgefahen. Die Vortriebslänge beträgt 2.324 m (= 1.323 ÷ 6.061 × 10.649) aus der Verlängerung der Tunnellänge auf 10.649 m. Daraus ergibt sich eine Abschlagsanzahl von (mit $i = 2.324 \text{ m} \div 1,35 \text{ m/Abschlag} = 1.722$ Abschlüge).

Die Obergrenze der Vortriebsdauer errechnet sich mit den Parametern $\tau = 2,5$ und $c = 0,01$ zu:

$$\sum_{n=0}^i \frac{1}{A(n) \times f \times 24} = \sum_{n=0}^{1.722} \left(\frac{1}{(2,5 + (1 - 2,5) \times e^{-0,1 \times n}) \times 0,0499 \times 24} \right) = 579 \text{ AT}$$

Für die Untergrenze der Vortriebsdauer ergibt sich mit demselben Ausgangswert $i (= 1.722)$ folgende Formel (mit $\tau = 1,5$ und $c = 0,01$ siehe Kapitel 2.7.1.2):

$$\sum_{n=0}^i \frac{1}{A(n) \times f \times 24} = \sum_{n=0}^{1.722} \left(\frac{1}{(1,5 + (1 - 1,5) \times e^{-0,01 \times n}) \times 0,0858 \times 24} \right) = 571 \text{ AT}$$

Reiserbergtunnel

Bei der Untersuchung Tunnellänge „Elf“ wird der Reiserbergtunnel von einer Seite aus aufgefahen. Die Vortriebslänge beträgt 2.284 m (= 1.300 ÷ 6.061 × 10.649) aus der Verlängerung der Tunnellänge auf 10.649 m. Daraus ergibt sich eine Abschlagsanzahl von (mit $i = 2.284 \text{ m} \div 1,35 \text{ m/Abschlag} = 1.691$ Abschlüge).

Die Obergrenze der Vortriebsdauer errechnet sich mit den Parametern $\tau = 2,5$ und $c = 0,01$ zu:

$$\sum_{n=0}^i \frac{1}{A(n) \times f \times 24} = \sum_{n=0}^{1.691} \left(\frac{1}{(2,5 + (1 - 2,5) \times e^{-0,1 \times n}) \times 0,0499 \times 24} \right) = 569 \text{ AT}$$

Für die Untergrenze der Vortriebsdauer ergibt sich mit demselben Ausgangswert $i (= 1.722)$ folgende Formel (mit $\tau = 1,5$ und $c = 0,01$ siehe Kapitel 2.7.1.2):

$$\sum_{n=0}^i \frac{1}{A(n) \times f \times 24} = \sum_{n=0}^{1.722} \left(\frac{1}{(1,5 + (1 - 1,5) \times e^{-0,01 \times n}) \times 0,0858 \times 24} \right) = 561 \text{ AT}$$

Rainrubentunnel

Bei der Untersuchung Tunnellänge „Elf“ wird der Rainrubentunnel von einer Seite aus aufgeföhren. Die Vortriebslänge betröhgt 3.718 m (= 2.116 ÷ 6.061 × 10.649) aus der Verlängerung der Tunnellänge auf 10.649 m. Daraus ergibt sich eine Abschlagsanzahl von (mit $i = 3.718 \text{ m} \div 1,35 \text{ m/Abschlag} = 2.754$ Abschläge).

Die Obergrenze der Vortriebsdauer errechnet sich mit den Parametern $\tau = 2,5$ und $c = 0,1$ zu:

$$\sum_{n=0}^i \frac{1}{A(n) \times f \times 24} = \sum_{n=0}^{2.754} \left(\frac{1}{(2,5 + (1 - 2,5) \times e^{-0,1 \times n}) \times 0,0499 \times 24} \right) = 924 \text{ AT}$$

Für die Untergrenze der Vortriebsdauer ergibt sich mit demselben Ausgangswert $i (= 2.754)$ folgende Formel (mit $\tau = 1,5$ und $c = 0,01$ siehe Kapitel 2.7.1.2):

$$\sum_{n=0}^i \frac{1}{A(n) \times f \times 24} = \sum_{n=0}^{2.754} \left(\frac{1}{(1,5 + (1 - 1,5) \times e^{-0,01 \times n}) \times 0,0858 \times 24} \right) = 905 \text{ AT}$$

Betrachtungen der mittleren Vortriebszeit aus den Ober- und Untergrenzen:

Vortriebszeit aus der Abschätzung der Einarbeitung:

Die Summe der einzelnen Vortriebsdauern betröhgt 2.608 Arbeitstage ($571 \times 2 + 561 + 905$) für die Untergrenze und 2.651 Arbeitstage ($579 \times 2 + 569 + 924$) für die Obergrenze. Daraus ergibt sich ein Mittelwert der Vortriebszeit (auf ganze Arbeitstage gerundet) zu:

$$\frac{2.608 \text{ AT} + 2.651 \text{ AT}}{2} = 2.630 \text{ AT}$$

Die Bauzeit in Monaten wird auf halbe Monate aufgerundet:

$$\frac{2.630 \text{ AT}}{7 \frac{\text{AT}}{\text{Wo}} \times 4,3 \frac{\text{Wo}}{\text{Mo}}} \approx 87,5 \text{ Mo}$$

Lohnkosten – Gewerbliches Personal

Da die Vortriebsmannschaften unverändert bleiben und daher auch der Aufwandswert (€/AT), wird der Aufwand im Verhältnis von ursprünglicher zu aktueller Vortriebszeit reduziert. Die ursprüngliche Vortriebszeit ergibt sich aus der Vortriebslänge dividiert durch die mittlere Vortriebsgeschwindigkeit des Hauptvortriebes.

Ursprünglicher Aufwand: 460.500 h (siehe Anlage 3)
 Ursprüngliche Vortriebszeit: 1.515 AT (siehe Anlage 3)
 Neue Vortriebszeit: 2.630 AT (= 1 × 2630; siehe oben)
 Neuer Aufwand: = 460.500 h × 2.630 AT ÷ 1.515 AT = 799.416 h

Lohnkosten – Bauleitung

Ursprünglicher Aufwand: 600 MaMo (siehe Anlage 3)
 Ursprüngliche Vortriebszeit: 50 Mo (aus 1.515 ÷ (7 × 4,3))
 Neue Vortriebszeit: 87,5 Mo (= 2 × 87,5; siehe oben)
 Neuer Aufwand: = 600 MaMo × 87,5 Mo ÷ 50 Mo = 1.050 MaMo

Gerätekosten

Die Gerätekosten setzen sich aus den Investitionen und den zeitgebundenen Kosten zusammen (siehe Fragebogen Perschling - Anlage 1). Die Berechnung der Dauer siehe oben. Die Gerätemiete in Euro pro Monat ist dem Fragebogen in Anlage 1 zu entnehmen.

Investitionen			=	0 €
Zeitgebundene Kosten	87,5 Mo	×	160.000 €/Mo	= 14.000.000 €
				14.000.000 €

Stützmittel

Der Aufwand der Stützmittelkosten errechnet sich aus der Tunnellänge von elf Kilometern und dem vorhandenen Umfang des Tunnelquerschnittes (38 m; siehe Anlage 1). Die Einzelkosten für die Stützmittel bleiben im Vergleich zum ursprünglichen Projekt unverändert (102,5 €/m²).

Ausbruch

Der Aufwand der Kosten des Ausbruches errechnet sich aus der Tunnellänge von drei Kilometern und der vorhandenen Querschnittfläche des Tunnelquerschnittes (120 m²; siehe Anlage 1). Die Einzelkosten des Ausbruches bleiben im Vergleich zum ursprünglichen Projekt unverändert.

Zusatzangriff

Für diese Hauptgruppe sind keine Kosten vorhanden.

Zusammenfassung der Kosten

Auf der Grundlage der Angaben im Fragebogen (siehe Anlage 1) und der zugrunde Legung der neu ermittelten Lohn-, Geräte-, Stützmittel- und Ausbruchskosten wird im Folgenden eine Zusammenstellung der Kosten für das fiktive Projekt Perschling angeführt.

			Aufwand		Einzelkosten	=	Kosten
Haupttunnel	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	799.416 h	×	45 €/h	=	35.973.713 €
		Bauleitung	1.050 MaMo	×	10.000 €/Mo	=	10.500.000 €
	Geräte					=	14.000.000 €
	Stützmittel	(Länge × Umfang)	404.662 m ²	×	102,5 €/m ²	=	41.477.855 €
	Ausbruch	(Länge × Querschnitt)	1.277.880 m ³	×	10,6 €/m ³	=	13.545.528 €
							115.497.096 €
Zusatzangriff	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	0 h	×	45 €/h	=	0 €
		Bauleitung	0 MaMo	×	10.000 €/Mo	=	0 €
	Geräte					=	0 €
	Stützmittel		0 m ²	×	102,5 €/m ²	=	0 €
	Ausbruch		0 m ³	×	10,6 €/m ³	=	0 €
							0 €
							115.497.096 €

Auswertung kontinuierlicher Vortrieb Perschling – Kilometer „Elf“

Die untersuchte Tunnellänge ist 10.734,5 m (entspricht der Tunnellänge des ursprünglichen Projektes Wienerwald).

Die notwendigen Vortriebstage lassen sich aus der Einarbeitungskurve, die am ursprünglich kalkulierten Vortriebsverlauf in Anlage sechs geeicht wurde, ermitteln. Es wird zunächst eine Abschätzung über die Ober- und Untergrenzen der Kosten durchgeführt. Danach wird die weitere Kalkulation mit einem Mittelwert der Ober- und Untergrenze durchgeführt.

Vortriebsdauer – Einarbeitungszeit

Die Kalibrierung ist Anlage sechs zu entnehmen.

Über die Formel die in Abschnitt 2.7.1.3 angegeben ist erfolgt die Abschätzung der oberen und unteren Vortriebszeit.

Stierschweiffeldtunnel

Die Auflösung der Summengleichung $S(t)$ (siehe Kapitel 2.7.1.3) für die neue Tunnellänge des Stierschweiffeldtunnels ergibt die Ober- und Untergrenze der Vortriebsdauer. Die neue Vortriebslänge beläuft sich auf 4.902,5 m ($= 2.837 \div 6.212 \times 10.734,5$).

Vortriebszeit für die Obergrenze:

$c = 0,04$ (angenommener Wert)

$a = 12,16$

$b = 9,73$

Aus der Zielwertsuche über die Summengleichung ergibt sich für die Vortriebslänge von 4.902,5 m eine Bauzeit von 423 Arbeitstagen.

Vortriebszeit für die Untergrenze:

$c = 0,01$ (angenommener Wert)

$a = 15,80$

$b = 12,64$

Aus der Zielwertsuche über die Summengleichung ergibt sich für die Vortriebslänge von 4.902,5 m eine Bauzeit von 388 Arbeitstagen.

Raingrubentunnel

Die Auflösung der Summengleichung $S(t)$ (siehe Kapitel 2.7.1.3) für die neue Tunnellänge des Raingrubentunnels ergibt die Ober- und Untergrenze der Vortriebsdauer. Die neue Vortriebslänge beläuft sich auf 3.608 m ($= 2.088 \div 6.212 \times 10.734,5$).

Vortriebszeit für die Obergrenze:

$c = 0,04$ (angenommener Wert)

$a = 12,16$

$b = 9,73$

Aus der Zielwertsuche über die Summengleichung ergibt sich für die Vortriebslänge von 3.608 m eine Bauzeit von 321 Arbeitstagen.

Vortriebszeit für die Untergrenze:

$c = 0,01$ (angenommener Wert)

$a = 15,80$

$b = 12,64$

Aus der Zielwertsuche über die Summengleichung ergibt sich für die Vortriebslänge von 3.608 m eine Bauzeit von 318 Arbeitstagen.

Reiserbergtunnel

Die Auflösung der Summengleichung $S(t)$ (siehe Kapitel 2.7.1.3) für die neue Tunnellänge des Reiserbergtunnels ergibt die Ober- und Untergrenze der Vortriebsdauer. Die neue Vortriebslänge beläuft sich auf 2.224 m ($= 1.287 \div 6.212 \times 10.734,5$).

Vortriebszeit für die Obergrenze:

$c = 0,04$ (angenommener Wert)

$a = 12,16$

$b = 9,73$

Aus der Zielwertsuche über die Summengleichung ergibt sich für die Vortriebslänge von 2.224 m eine Bauzeit von 197 Arbeitstagen.

Vortriebszeit für die Untergrenze:

$c = 0,01$ (angenommener Wert)

$a = 15,80$

$b = 12,64$

Aus der Zielwertsuche über die Summengleichung ergibt sich für die Vortriebslänge von 2.224 m eine Bauzeit von 194 Arbeitstagen.

Betrachtung des Mittelwertes der Vortriebsdauer aus der Unter- und Obergrenze

Vortriebszeit aus der Abschätzung der Einarbeitung:

Die Vortriebsdauer beträgt 900 Arbeitstage (388 + 194 + 318) für die Untergrenze und 941 Arbeitstage (423 + 197 + 321) für die Obergrenze. Daraus ergibt sich ein Mittelwert der Vortriebszeit zu:

$$\frac{900 \text{ AT} + 941 \text{ AT}}{2} = 921 \text{ AT}$$

Die Bauzeit in Monaten wird auf halbe Monate aufgerundet:

$$\frac{921 \text{ AT}}{7 \frac{\text{AT}}{\text{Wo}} \times 4,3 \frac{\text{Wo}}{\text{Mo}}} \approx 31,0 \text{ Mo}$$

Lohnkosten – Gewerbliches Personal

Die Größe der Vortriebsmannschaft verändert sich nicht und daher wird der Aufwand im Verhältnis von ursprünglicher zu aktueller Vortriebszeit angepasst.

Ursprünglicher Aufwand: 323.703 h	(siehe Anlage 3)
Ursprüngliche Vortriebszeit: 555 AT	(siehe Anlage 3)
Neue Vortriebszeit: 921 AT	(= 1 × 921; siehe oben)
Neuer Aufwand: = 323.703 h × 921 AT ÷ 555 AT	= 537.172 h

Lohnkosten – Bauleitung

Ursprünglicher Aufwand: 315 MaMo	(siehe Anlage 3)
Ursprüngliche Vortriebszeit: 18 Mo	(aus 555 ÷ (7 × 4,3))
Neue Vortriebszeit: 31,0 Mo	(= 1 × 31; siehe oben)
Neuer Aufwand: = 315 × 31 ÷ 18 =	543 MaMo

Gerätekosten

Der große Anteil der Investitionen bleibt unverändert zur ursprünglichen Variante. Die zeitgebundenen Kosten werden aber der geänderten Bauzeit angepasst. Wie zuvor angeführt, beträgt die Vortriebsdauer zehn Monate. Die Gerätekosten belaufen sich auf 70.000 €/Mo (siehe Anlage 3).

Investitionen	=	12.000.000 €
Zeitgebundene Kosten	31, Mo × 70.000 €/Mo =	2.170.000 €
		14.170.000 €

Stützmittel

Der Aufwand der Stützmittelkosten errechnet sich aus der Tunnellänge von drei Kilometern und dem vorhandenen Umfang des Tunnelquerschnittes (41 m; siehe Anlage 1). Die Einzel-

kosten für die Stützmittel belaufen sich für die Tunnellänge von elf Kilometern auf 97,5 €/m² (siehe Kapitel 5.1.3.2).

Ausbruch

Der Aufwand der Kosten des Ausbruches errechnet sich aus der Tunnellänge von drei Kilometern und der vorhandenen Querschnittfläche des Tunnelquerschnittes (133 m²; siehe Anlage 1). Die Einzelkosten des Ausbruches bleiben im Vergleich zum ursprünglichen Projekt unverändert.

Vor- und Nacharbeiten

Die Kosten für die Vor- und Nacharbeiten bleiben gleich, da der Aufwand nicht von der Tunnellänge abhängig ist.

Zusammenfassung der Kosten

Auf der Grundlage der Angaben im Fragebogen (siehe Anlage 1) und der zugrunde Legung der neu ermittelten Lohn-, Geräte-, Stützmittel- und Ausbruchskosten wird im Folgenden eine Zusammenstellung der Kosten für das fiktive Projekt Perschling angeführt.

			Aufwand		Einzelkosten	=	Kosten
Haupttunnel	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	537.172 h	×	45 €/h	=	24.172.740 €
		Bauleitung	543 MaMo	×	10.000 €/Mo	=	5.430.000 €
	Geräte					=	14.170.000 €
	Stützmittel	(Länge × Umfang)	440.115 m ²	×	97,5 €/m ²	=	42.911.164 €
	Ausbruch	(Länge × Querschnitt)	1.427.689 m ³	×	5,5 €/m ³	=	7.852.287 €
							94.536.191 €
Vor- & Nacharbeiten	Lohnkosten	Gewerbliches Personal	100.560 h	×	45 €/h	=	4.525.200 €
		Bauleitung	232 MaMo	×	10.000 €/Mo	=	2.320.000 €
	Geräte					=	3.625.000 €
	Stützmittel					=	252.000 €
	Ausbruch					=	85.000 €
							10.807.200 €
							105.343.391 €